

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Automatización del sistema de emergencia de la estación de cable submarino Bribri del Instituto Costarricense de Electricidad y Telecomunicaciones**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

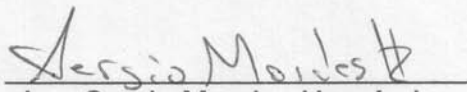
**Luis Guillermo Matarrita Retana**

**Cartago, Enero de 2010**

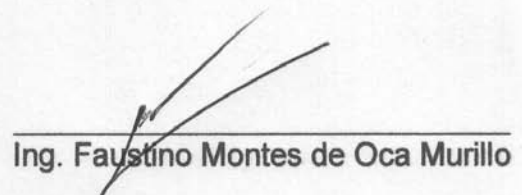
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

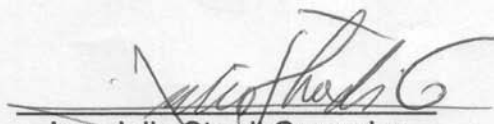
**Miembros del Tribunal**

  
Ing. Sergio Morales Hernández

Profesor lector

  
Ing. Faustino Montes de Oca Murillo

Profesor lector

  
Ing. Julio Stradi Granados  
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 22 de enero de 2010

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 22 de enero de 2010



---

Luis Guillermo Matarrita Retana

Céd: 5-351-478

## RESUMEN

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) brinda a la población costarricense un servicio de telecomunicaciones de alta calidad que está abierto a la búsqueda de fuentes que le permitan mejorar constantemente, por ello en los últimos años los medios de comunicación por redes de información con que cuenta el país han sido fortalecidos con la utilización de enlaces por cable submarino (enlaces de fibra óptica) para permitir el acceso directo a muchas de las redes mundiales de telecomunicaciones y con mayores anchos de banda.

La estación terminal Bribri, localizada en la provincia de Limón, es un sitio estratégico, ya que éste es el punto de conexión de los cables submarinos Maya I y Arcos I con el Sistema Nacional de Telecomunicaciones (SNT) y que permite la interconexión de Costa Rica con el mundo a través del Caribe. Es por ello que esta estación así como sus equipos no pueden permanecer sin alimentación eléctrica, ya que se produciría sobrecarga de tráfico de datos por los enlaces del Pacífico, posible pérdida de información y temporal incomunicación.

Como consecuencia de esta restricción y a causa de los constantes cortes en el fluido eléctrico comercial que se producen en la zona, es que se cuenta con un sistema de abastecimiento eléctrico de emergencia. Sin embargo, el mismo posee ciertas debilidades y deficiencias al no contar con un sistema robusto de automatización. Así, el interés del proyecto se centra en ésta área y pretende mediante un control local y remoto, implementar un sistema que sea capaz de recibir información desde ciertos dispositivos de manera que se pueda tener un panorama preciso del funcionamiento de dicho sistema de emergencia, con el fin de reducir el riesgo de la existencia de fallas y en caso de ocurrir alguna, permitir al personal actuar con prontitud en la resolución de tal avería.

Palabras Claves: Cable Submarino; Fibra Óptica; Automatización; Monitoreo; Control; Planta de Emergencia; Banco de Baterías; Tanques de Combustible; Sensores; Estación Bribri; ICE

## ABSTRACT

The Costa Rican Electricity Institute (ICE) provides to the Costa Rican people a high quality service of telecommunications, the same is open to constant looking forward for new way or technologies that allow it getting better. That's why in the last years the data media of transportation for the information network of the country have been improved with the employ of submarine cable (fiber optic links) which permits the direct access to many of the international networks of telecommunications.

The Bribri terminal station, located in the province of Limon, it's a very important place because this is the point where converge the connection between the submarines cables Maya I and Arcos I with the National System of Telecommunications (SNT) and permit the interconnection of Costa Rica with the world throw the Caribe. For these reason, the station and its equipment can not be without electricity because this will produce the data overload throw the Pacific links, possible lose of information and a temporary cut of communication.

Consequently with this restriction and the often commercial electricity cuts produce in the zone, the station has an emergency system of electric supply. However, it has some witness and deficiencies for not possess a complete automation system. Thus, the interest of the project will be focus in this area, and pretend using a local and remote control, implement a system capable of receive information from some devices with the objective to have a view of the right function of the emergency system and reduce the risk of failures and in case a malfunction occurs, allow the personal to act quickly solving the fault.

Keywords: Submarine Cable; Fiber Optic; Automation; Monitoring; Control; Emergency Plant; Batteries Bank; Gas Container; Sensors; Bribri Station; ICE.

## DEDICATORIA

*Este trabajo de graduación te lo dedico a ti, mi Dios Padre Celestial Todo Poderoso, ya que gracias a ti es que al final de este largo camino por fin llegué a la meta por la cual tanto luché, gracias por las veces que me caí y tú me levantaste, por las veces que me sentí débil y me diste fortaleza, por las veces que enfermé y tú me sanaste, por los momentos tristes y aquellos de felicidad. Gracias Señor por las muchas veces que me sentí solo y me reconfortaste con tu compañía. Gracias por los momentos en que la luz del Espíritu Santo me iluminó para poder estudiar... Gracias por todo Señor...*

*A ti Virgencita de los Ángeles, también te dedico este triunfo, ya que cada inicio y fin de semestre me recibiste en tu casa, escuchaste mis oraciones e intercediste por mí. Gracias porque nunca me fallaste, y gracias por las noches frías que me abrigaste....*

*A mis padres, María de los Ángeles Retana Mora y Guillermo Matarrita Matarrita, este logro es compartido con ustedes, ya que juntos formamos un equipo desde el inicio de este reto hasta que finalmente alcanzamos la meta. Gracias papá y mamá, a ustedes les dedico este tan importante logro de mi vida, muchas gracias por sus consejos, sus oraciones, sus velitas, la ayuda que me dieron y por las veces en que antepusieron sus necesidades para hacerle frente a las mías. Los amo con toda el alma...*

*Este triunfo también se lo dedico a mi hermano Luvansky Matarrita Retana, gracias hermano por toda tu ayuda, que Dios te bendiga siempre. A Flor López Hernández, gracias porque fuiste mi gran compañera en este camino, gracias por tu apoyo incondicional y por las palabras de aliento que me brindaste cuando más lo necesité, a ti también dedico este triunfo, gracias y que Dios te bendiga...*

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer muy especialmente a todas las personas que de una u otra forma estuvieron involucradas en este proceso y que me permitieron crecer y ser mejor en lo personal, como estudiante y como un futuro profesional, ya que cada persona que se conoce nos deja una enseñanza que nos ayuda a conformar experiencia para hacerle frente a la vida....

Quiero agradecer a mis profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica, gracias por la excelente formación profesional y conocimientos que nos transmitieron, que Dios les bendiga y les permita seguir realizando esta tan importante labor de forjar grandes profesionales para el país.

También quiero agradecer muy especialmente a mi tía y a mi abuelita, Blanca Flor Retana Mora y Ramona Mora Salazar. Gracias tía por haberme abierto las puertas de su hogar y por haberme acogido como un hijo más...

Gracias a Doña Isabel Navarro y Rolando Davanzo, y gracias a todos sus hijos, hijas, nietos y nietas, ustedes me tomaron como un miembro más de su familia y me ayudaron a poder alcanzar la meta de ser profesional, que Dios los bendiga.

Un agradecimiento especial al Ing. Julio Stradi Granados por haberme dado la oportunidad de realizar mi proyecto de graduación en el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Gracias al Ing. Óscar Cárdenas Sequeira, al Lic. Lidier Calderón Hidalgo, al Ing. Ronny Gómez Zelada y en general a todo el personal del Proceso de Transporte (DTOM-Transporte) por haber hecho de mi estadía en el ICE lo mejor posible, gracias por toda su ayuda, muchas bendiciones a todos.

Por último quiero agradecer a Cristian Guillén, Federico Brenes, José Luis Córdoba, Deiby Guzmán, Franklin Rodríguez y Dagoberto Araya, gracias por toda su ayuda y colaboración en la realización de mi proyecto. Y gracias a todos mis amigos y amigas que me apoyaron en todo momento.

## **OBTENCIÓN DEL SEGUNDO LUGAR EN EL CONCURSO DE IDEAS INNOVADORAS EVOLUCIÓN 2009**

Honor a quien honor merece: El proyecto de “Automatización del sistema de emergencia de la estación de cable submarino Bribri del Instituto Costarricense de Electricidad y Telecomunicaciones” fue presentado por el Ing. Julio Stradi Granados y por el Ing. Ronny Gómez Zelada para su participación en el concurso interno a nivel del ICE de “Ideas Innovadoras Evolución 2009”, proyecto que fue premiado con el segundo lugar del concurso, entre 25 proyectos participantes...



## ÍNDICE GENERAL

<b>Capítulo 1: Introducción</b> .....	15
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	16
1.2 Solución Seleccionada.....	19
<b>Capítulo 2: Meta y Objetivos</b> .....	24
2.1 Meta.....	24
2.2 Objetivo general.....	24
2.3 Objetivos específicos.....	24
2.3.1 Objetivos de hardware.....	26
2.3.2 Objetivos de software.....	28
2.3.3 Objetivos de documentación.....	29
2.3.4 Objetivos de implementación.....	29
<b>Capítulo 3: Marco teórico</b> .....	30
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar.....	32
3.2 Antecedentes Bibliográficos.....	36
3.2.1 Automatización.....	36
3.2.2 Controlador lógico programable (PLC).....	37
3.2.3 Lenguaje de escalera.....	37
3.2.4 Lenguaje de lista.....	39
3.2.5 Protocolo Modbus.....	40
3.2.5.1 Variante Modbus RTU.....	44
3.2.5.2 Variante Modbus TCP/IP.....	46
3.2.6 Conceptos de programación utilizados para el proyecto.....	47
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.....	48
3.3.1 Principio de Arquímedes para el cálculo del volumen de un fluido....	48
<b>Capítulo 4: Procedimiento Metodológico</b> .....	49
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	49
4.2 Obtención y análisis de información.....	51
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	53
4.4 Implementación de la solución.....	55

4.5	Reevaluación y rediseño.....	58
<b>Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.....</b>		<b>60</b>
5.1	Análisis de soluciones y selección final .....	60
5.2	Descripción del hardware.....	63
5.2.1	Interfaz de comunicación de hardware: PLC Twido TWDLCDE40DRF.....	67
5.2.2	Módulo de expansión de I/O analógicas TWDAMI8HT .....	68
5.2.3	Módulo de medición de tensión y corriente en los bancos de baterías.....	69
5.2.4	Módulo de medición del nivel de combustible de los tanques.....	71
5.2.5	Módulo de medición de los parámetros eléctricos de la planta .....	72
5.2.6	Módulo de control de acceso a la estación.....	75
5.2.7	Módulo de medición de humedad.....	76
5.2.8	Red de sensores de planta y transferencia .....	77
5.2.9	Lógica de control del sistema .....	79
5.2.9.1	Lógica de accionamientos .....	80
5.2.9.2	Sistema de alarmas .....	85
5.2.10	Diseño de la red de comunicación.....	86
5.3	Descripción del software .....	87
5.3.1	Programación del PLC TWDLCDE40DRF .....	89
5.3.1.1	Rutina de lectura y almacenamiento de datos .....	89
5.3.1.2	Rutina de encendido de planta y puesta en marcha de un proceso completo de arranque de planta y transferencia .....	91
5.3.1.3	Rutina de apagado de planta y finalización de un proceso completo de arranque de planta y transferencia .....	92
5.3.1.4	Rutina de lectura de datos por protocolo Modbus RTU .....	94
5.3.1.5	Rutina para la gestión de alarmas .....	96
5.3.2	Servicio de comunicación Modbus TCP/IP para la atención del PLC97	
5.3.3	Base de datos .....	100
5.3.4	Funciones de procesamiento de datos.....	103
5.3.4.1	Rutina de validación y procesamiento de datos.....	103
5.3.4.2	Conversión de datos en formato IEEE 754 a decimal.....	106

5.3.4.3	Cálculo de la cantidad de combustible de los tanques .....	107
5.3.4.4	Cálculo de la tensión, corriente y potencia de los bancos de baterías.....	109
5.3.5	Implementación de la página web .....	110
5.3.5.1	Verificación de permisos.....	111
5.3.5.2	Lógica del monitoreo.....	113
5.3.5.3	Rutina de encendido y apagado de planta e iniciación y finalización de un proceso de arranque de planta y transferencia.....	115
5.3.5.4	Registros Históricos.....	117
5.3.5.5	Administración de Alarmas .....	118
<b>Capítulo 6:</b>	<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>120</b>
<b>Capítulo 7:</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>129</b>
7.1	Conclusiones .....	129
7.2	Recomendaciones .....	131
<b>Bibliografía</b>	.....	<b>132</b>
<b>Apéndices y Anexos</b>	.....	<b>134</b>
A	Apéndices .....	134
A.1	Glosario, abreviaturas y simbología.....	134
A.2	Manual de usuario.....	139
B	Anexos.....	169
B.1	Hoja de datos: PLC TWDLCDE40DRF de Schneider Electric.....	169
B.2	Alimentación Eléctrica PLC TWDLCDE40DRF .....	173
B.3	Instalación del puerto TWDNAC485T y la tarjeta TWDAMI8HT al PLC TWDLCDE40DRF .....	174
B.4	Hoja de datos: Analizador de energía LCA-C de SACI.....	178
B.5	Estándar IEEE754 .....	187
B.6	Hoja de datos: Ultra Slimpak G408.001.....	189
B.7	Convertidor CD-CD SD-100 Series .....	191
B.8	Medidor de nivel de agua: Finder 72.01 .....	192
B.9	Sensor de presión sumergible: Huba Control 68.....	194

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.1</b>	Edificio de la estación terminal Bribí. ....	16
<b>Figura 1.1.2</b>	Diagrama de bloques general del sistema de alimentación de emergencia de la planta.....	17
<b>Figura 1.1.3</b>	Vista lateral izquierda del generador de la planta de emergencia...	18
<b>Figura 1.1.4</b>	Vista lateral derecha del generador de la planta de emergencia. ...	18
<b>Figura 1.1.5</b>	Placa de especificaciones del generador.....	19
<b>Figura 1.1.6</b>	Etapas de transferencia de energía entre generador y baterías.....	19
<b>Figura 1.1.7</b>	Banco de baterías para equipo de Cable Arcos.....	19
<b>Figura 1.1.8</b>	Banco de baterías para equipo de Cable Maya. ....	19
<b>Figura 1.2.1</b>	Esquema general de bloques del enfoque de la solución. ....	20
<b>Figura 3.1</b>	Sistema de conexión del cable submarino Arcos I.....	31
<b>Figura 3.1.1</b>	Diagrama de mejoras al sistema de emergencia de la estación Bribí. ....	33
<b>Figura 3.2.4.1</b>	Ejemplo de un programa en lenguaje de lista. ....	39
<b>Figura 3.2.5.1</b>	Ejemplo de una arquitectura de red Modbus.....	42
<b>Figura 3.2.5.2</b>	Trama general Modbus. ....	42
<b>Figura 3.2.5.3</b>	Esquema de comunicación de una transacción modbus. ....	43
<b>Figura 3.2.5.1.1</b>	Secuencia de bits para Modbus RTU, con verificación de paridad.....	45
<b>Figura 3.2.5.1.2</b>	Secuencia de bits para Modbus RTU, sin verificación de paridad. ....	46
<b>Figura 3.2.5.2.1</b>	Encapsulado de un mensaje modbus en una trama TCP. ....	47
<b>Figura 3.3.1.1</b>	Cálculo de la diferencia de presión entre dos puntos A y B cualesquiera del fluido. ....	48
<b>Figura 5.1.1</b>	Diagrama de bloques de primer nivel correspondiente a la solución con la unidad central de proceso en el PLC.....	61
<b>Figura 5.2.1</b>	Diagrama específico de bloques de la estructura e interconexión del hardware que constituye el sistema implementado.....	64
<b>Figura 5.2.2</b>	Diagrama de conexión física de los equipos empleados en el sistema.....	66

<b>Figura 5.2.1.1</b>	PLC Twido TWDLCDE40DRF.....	68
<b>Figura 5.2.2.1</b>	Diagrama de conexión del módulo de I/O analógicas TWDAMI8HT .....	69
<b>Figura 5.2.3.1</b>	Diagrama de medición de la tensión de los bancos de baterías haciendo uso del convertidor ultra slimpak G408-001. ....	70
<b>Figura 5.2.3.2</b>	Diagrama de medición de la corriente de los bancos de baterías haciendo uso del convertidor ultra slimpak G408-001. ....	71
<b>Figura 5.2.4.1</b>	Sensor de presión sumergible 681 de Huba Control.....	72
<b>Figura 5.2.5.1</b>	Analizador de energía LCA-C con puerto de comunicación serie RS485. ....	73
<b>Figura 5.2.5.2</b>	Diagrama de conexión del analizador de energía LCA-C para las señales de tensión. ....	74
<b>Figura 5.2.5.3</b>	Diagrama de conexión del analizador de energía LCA-C para las señales de corriente.....	74
<b>Figura 5.2.6.1</b>	Sensor magnético de 24V CD utilizado para el control de acceso a través de las 5 puertas principales de la estación.....	76
<b>Figura 5.2.7.1</b>	Diagrama de conexión del sensor de humedad Finder 72.01.....	77
<b>Figura 5.2.9.1</b>	Lógica de control local del sistema.....	79
<b>Figura 5.2.9.1.1</b>	Lógica de relés utilizados para el encendido y apagado de la planta. ....	81
<b>Figura 5.2.9.1.2</b>	Interruptor que controla el encendido y apagado únicamente de la planta de emergencia.....	82
<b>Figura 5.2.9.1.3</b>	Lógica de relés utilizados para iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía.....	83
<b>Figura 5.2.9.1.4</b>	Ubicación de la lógica de relés utilizados para iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía. ....	84
<b>Figura 5.2.9.1.5</b>	Detalle de la ubicación de la lógica de relés utilizados para iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía.....	84
<b>Figura 5.2.9.1.6</b>	Relé RSB1A160BD de telemecanique utilizado para el desarrollo de los dos tipos de lógica de accionamiento.....	85
<b>Figura 5.2.10.1</b>	Configuración de la red de comunicación del sistema. ....	87

<b>Figura 5.3.1</b>	Diagrama que muestra los servicios que brinda la computadora que ejecuta la función de servidor, así como su interrelación.....	88
<b>Figura 5.3.1.1.1</b>	Diagrama de flujo para la lectura y almacenamiento de datos en el PLC TWDL CDE40DRF. ....	90
<b>Figura 5.3.1.2.1</b>	Diagrama de flujo para ejecutar el encendido de planta, así como iniciar un proceso completo de arranque de planta y transferencia. ....	91
<b>Figura 5.3.1.3.1</b>	Diagrama de flujo para ejecutar el apagado de planta, así como finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia. ....	93
<b>Figura 5.3.1.4.1</b>	Diagrama de flujo para la lectura de las mediciones del analizador de energía LCA-C a través del protocolo Modbus RTU.....	95
<b>Figura 5.3.1.5.1</b>	Rutina de generación de alarma. ....	96
<b>Figura 5.3.1.5.2</b>	Rutina para desactivar una alarma.....	97
<b>Figura 5.3.2.1</b>	Diagrama de flujo de la lectura de datos del PLC por protocolo Modbus TCP/IP.....	99
<b>Figura 5.3.3.1</b>	Diagrama de tablas de la base de datos.....	102
<b>Figura 5.3.4.1.1</b>	Diagrama de flujo del algoritmo de validación e inserción de información en base de datos.....	105
<b>Figura 5.3.4.2.1</b>	Diagrama de flujo del algoritmo para convertir valores en formato IEEE 754 a valores en formato decimal. ....	107
<b>Figura 5.3.5.1.1</b>	Diagrama de flujo para de la rutina de verificación de permisos de usuario .....	112
<b>Figura 5.3.5.1.2</b>	Diagrama de flujo para de la rutina de verificación de perfiles de usuario. ....	113
<b>Figura 5.3.5.2.1</b>	Algoritmo genérico implementado para realizar el monitoreo en tiempo real. ....	114
<b>Figura 5.3.5.3.1</b>	Diagrama de flujo de la rutina que se encarga de encender o apagar la planta de emergencia o de iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia.....	116
<b>Figura 5.3.5.4.1</b>	Algoritmo desarrollado para el manejo de los registros históricos del sistema.....	118
<b>Figura 5.3.5.5.1</b>	Rutina de generación de alarmas.....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.2.1</b> Aspectos generales evaluativos del sistema de automatización a implementar en la estación terminal Bribí.....	23
<b>Tabla 3.2.3.1</b> Elementos gráficos del lenguaje en escalera.....	38
<b>Tabla 3.2.5.1</b> Definición de los códigos de función Modbus.....	44
<b>Tabla 4.2.1</b> Equipos relacionados con el desarrollo del proyecto que se encuentran en las instalaciones de la estación Bribí.....	52
<b>Tabla 4.3.1</b> Lista de componentes a emplear en la implementación del sistema	54
<b>Tabla 5.2.5.1</b> Calibración y configuración del analizador de energía SACI LCA-C.....	75
<b>Tabla 5.2.8.1</b> Señales digitales tomadas de la red de sensores de los equipos principales que manejan los eventos de accionamientos de procesos.....	78
<b>Tabla 5.3.1.4.1</b> Conformación de tablas para las solicitudes estándar Modbus 03 y 04.....	95

## Capítulo 1: Introducción

El mercado de las telecomunicaciones pertenece a un ámbito cambiante y altamente competitivo que se mueve al ritmo de los avances en la tecnología, por ello el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) al brindar el servicio de telecomunicaciones a la población costarricense y debido a la revolución tecnológica de las últimas décadas, invirtió en el uso de enlaces por cable submarino para el fortalecimiento de los medios de comunicación de las redes de información del país. Actualmente se cuenta con cable Maya y cable Arcos, los cuales son básicamente enlaces por fibra óptica.

La estación terminal Bribri, localizada en el cerro Garrón, en Puerto Limón, es un punto estratégico para los propósitos del ICE, ya que ahí converge la conexión de los cables submarinos Maya I y Arcos I con el Sistema Nacional de Telecomunicaciones (SNT), de aquí que a través de ella se permite la comunicación del país con el mundo a través del Caribe. La estación es pequeña, y cuenta con un personal conformado por 4 técnicos que supervisan el proceso.

Debido a su importancia, en la estación se cuenta con un sistema de emergencia encargado de mantener con electricidad las instalaciones y los equipos en caso de un corte del fluido eléctrico comercial, para ello se cuenta con una planta (generador trifásico), la cual alimenta las instalaciones como segunda opción de suplemento eléctrico, además de un banco de baterías con capacidad de operar en forma continua por un período de aproximadamente 12 horas y que abastece los equipos de corriente directa de la estación.

El proyecto tiene como finalidad diseñar e implementar un sistema que sea capaz de mantener un monitoreo y control en tiempo real y de manera local y remota para minimizar el riesgo de que se produzca algún fallo en el funcionamiento de cualquiera de los componentes principales del sistema de emergencia. Para ello se busca una solución que subsane las debilidades y deficiencias actuales a través de la automatización de los aspectos que intervienen en su operación.



## 1.1 Problema existente e importancia de su solución

Como se mencionó anteriormente, la estación terminal Bribri es de suma importancia porque a través de ella se conecta a Costa Rica con las redes internacionales de telecomunicaciones. Sin embargo, como producto de un corte en el fluido eléctrico comercial podría causarse la desconexión temporal de Costa Rica con el mundo a través del Caribe, y consecuentemente generar la sobrecarga de tráfico de datos por los enlaces submarinos del Pacífico con posibles pérdidas de información, lo cual tiene repercusiones económicas.



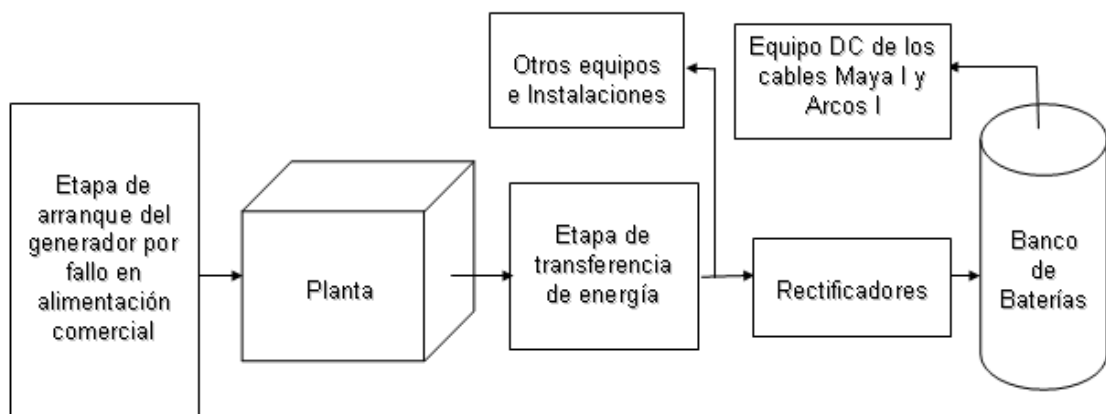
**Figura 1.1.1** Edificio de la estación terminal Bribri.

Por estas razones, es que en la estación terminal Bribri se cuenta con un sistema de alimentación eléctrica de emergencia compuesto principalmente por la lógica de control de arranque de planta y transferencia, la planta o generador, el sistema de transferencia, los rectificadores, los bancos de baterías para Maya y Arcos que suplen de energía a los equipos más importantes del proceso de comunicación y los tanques de combustible interno y externo que abastecen la planta. Sin embargo, pese a que todo el proceso de interconexión y comunicación entre los cables submarinos y el Sistema Nacional de Telecomunicaciones (SNT) se

encuentra automatizado, el sistema de alimentación de emergencia carece de esta ventaja.

Por su parte, la alimentación eléctrica comercial en Puerto Limón, específicamente en las cercanías de Cerro Garrón, sufre constantemente de cortes de duración variable, causando que la planta de emergencia tenga que entrar en funcionamiento. Pero ocasionalmente este funcionamiento no es correcto, ya que o no arranca la planta o la transferencia de energía entre el generador y las instalaciones y equipos, además del banco de baterías no se da en su totalidad, causando que el fallo produzca la incomunicación a través del Caribe luego que la energía del banco de baterías se agota.

Tampoco existe un sistema de monitoreo que permita determinar inmediatamente la causa del porqué no arrancó la planta o el motivo de falla en alguno de los puntos de la transferencia de energía para tomar las acciones correspondientes. En la figura 1.1.2 se observa un diagrama de bloques que muestra el camino que debe recorrer la energía que suple la planta. A partir de él se determina que los puntos críticos en los cuales se trabajará serán: la etapa de arranque de planta, la planta, la lógica de la transferencia de energía y los bancos de baterías.



**Figura 1.1.2** Diagrama de bloques general del sistema de alimentación de emergencia de la planta.

En caso de que se produzca una falla en la transferencia de energía, o en la generación (a causa de una descalibración en los niveles de tensión o frecuencia, o debido a un desperfecto mecánico de la planta), los técnicos locales atienden la avería hasta el momento en que ésta se detecta, lo cual generalmente es transcurridas varias horas desde el momento en que se produjo el desperfecto.

De ser una falla grave se alerta a los encargados de la estación, los cuales laboran en las oficinas del ICE en San Pedro, San José, para que movilicen al personal adecuado hasta Puerto Limón para atender la emergencia, teniendo muchas veces la problemática de difícil acceso a causa de daños en las vías o de movimientos sociales que impiden el paso hacia Puerto Limón, por lo que la falta de un sistema de monitoreo y control remoto vía web para esta planta de emergencia es una necesidad imperante para evitar pérdida de tiempo en la atención del error producido y localizado.

Otra posible causa de falla para el correcto funcionamiento del generador, es el agotamiento del combustible que lo abastece, y al no contar con un sistema de monitoreo del nivel de combustible en el tanque de abastecimiento exterior el cual es de 7000 litros y en el tanque de abastecimiento interior de 400 litros, esto podría constituir un foco considerable de error en el suplemento eléctrico de la planta de emergencia a las instalaciones y equipos.



**Figura 1.1.3** Vista lateral izquierda del generador de la planta de emergencia.



**Figura 1.1.4** Vista lateral derecha del generador de la planta de emergencia.

FREQUENCY		60 HZ			
SERVICE RATING	STANDBY		PRIME		
PHASE	1PH	3PH	1PH	3PH	
RATED KW	83.8	125.0	0.0	0.0	
POWER FACTOR	1.0	0.8	0.0	0.0	
RATED KVA	83.8	156.3	0.0	0.0	
BATTERY	VOLTS	AMPS		AMPS	
12 VDC	110/ 190			475	
	110/ 220	380.9		410.2	
	115/ 200			451.2	
ROTATING	115/ 230	364.3		392.4	
BREED	120/ 200			433.0	

**Figura 1.1.5** Placa de especificaciones del generador.



**Figura 1.1.7** Banco de baterías para equipo de Cable Arcos.



**Figura 1.1.6** Etapa de transferencia de energía entre generador y baterías.



**Figura 1.1.8** Banco de baterías para equipo de Cable Maya.

Frente a esta problemática nace el proyecto, del cual se espera que mediante un sistema completo de monitoreo y control local y remoto permita tener un panorama preciso del funcionamiento de dicho sistema de emergencia, con el fin de reducir el riesgo de la existencia de fallas y en caso de ocurrir alguna, permitir al personal actuar con prontitud en la solución del malfuncionamiento.

## 1.2 Solución Seleccionada

Restricciones o requerimientos de la empresa:

- Dotar al sistema con la facilidad de ser accedido a través de la Internet y la red interna del ICE de forma segura.

- Reingeniería para que el sistema a diseñar se acople al existente sistema de emergencia sin necesidad de cambios extremos.
- Utilizar como herramienta en la implementación, el dispositivo lógico programable (PLC) TWDLCDE40DRF.
- Emplear el analizador de energía SACI LCA-C para la medición de los parámetros eléctricos de la planta.
- Diseño de la página web mediante Struts y la programación en general con lenguaje Java para acoplarse al estándar del ICE.
- Incluir un protocolo de seguridad antes de accionar la planta de forma remota.
- Que el monitoreo sean en tiempo real y que permita llevar un registro histórico de los datos adquiridos.
- Gestión de alarmas en caso de una avería.

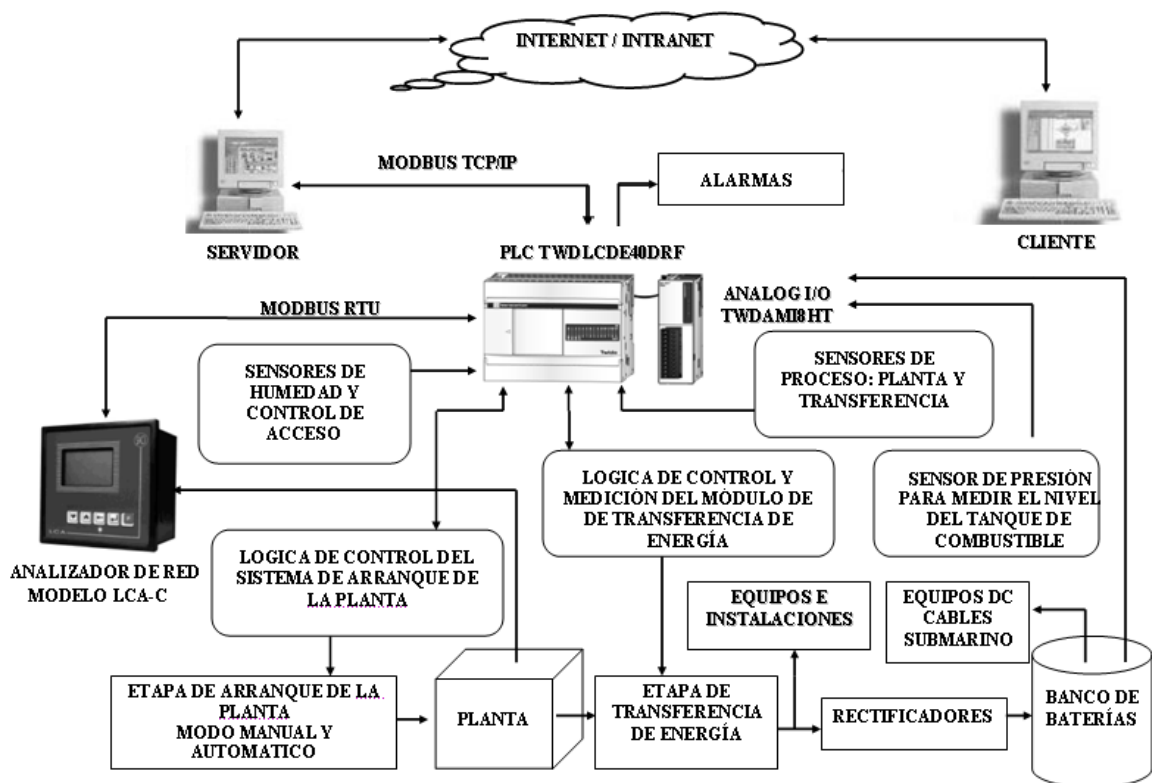


Figura 1.2.1 Esquema general de bloques del enfoque de la solución.

Para la automatización del sistema de emergencia de la estación de cable submarino Bribri se parte de un esquema general que contempla cada uno de los módulos que formarán parte del diseño, este diagrama se observa en la figura 1.2.1. En él se muestra que el PLC TWDLCDE40DRF funciona como interfaz de comunicación para interconectar los componentes de hardware con el servidor, el cual brinda los servicios de atención dedicada para el autómatas<sup>1</sup>, base de datos y http. Esta comunicación se realiza por medio del protocolo industrial Modbus<sup>2</sup>, el cual funciona bajo el principio de maestro-esclavo, la variante utilizada es Modbus TCP/IP, donde el servidor funge como maestro y el PLC como esclavo.

El dispositivo PLC a su vez recibe información desde ciertos dispositivos seleccionados adecuadamente, entre ellos podemos mencionar el analizador de energía LCA-C el cual es usado para medir los niveles de tensión y frecuencia brindados por la planta (generador), la comunicación entre este componente y el PLC se lleva a cabo por medio del protocolo Modbus RTU. También se da la adquisición de datos desde sensores que permiten determinar la existencia de humedad, medir los niveles de combustible contenidos en los tanques interior y exterior, además de controlar el acceso a la estación a través de las 5 puertas principales. La tensión, corriente y potencia de los bancos de baterías de Maya y de Arcos también son medidos.

El autómatas también se encarga de gobernar el funcionamiento de la lógica diseñada para el accionamiento de la planta, además de la lógica que controla un proceso completo de arranque de planta y de transferencia de energía entre el generador y las instalaciones, equipo y el banco de baterías, ambas de forma local y remota. En este punto y por medio de sensores se contempla cada uno de

---

<sup>1</sup> Término genérico empleado en lenguaje español para referirse a los dispositivos lógicos programables o PLC según su significado en inglés (Programmable Logic Controller).

<sup>2</sup> Protocolo industrial que opera bajo el principio de maestro-esclavo y es empleado para el manejo de redes de dispositivos. Es público, de fácil implementación y presenta dos variantes: para comunicación ethernet, Modbus TCP/IP y para comunicación serie, Modbus RTU.

las variantes que intervienen para que ambos procesos operen de forma correcta y en caso de que alguno falle poder determinar la causa.

Todos estos dispositivos estarán ubicados en la estación y a través del servidor se almacenan y procesan los datos medidos por el PLC para luego enviar esta información a un computador remoto ubicado en cualquier parte del mundo con conexión a Internet o dentro de la red interna del ICE. Esta información se muestra a través de una página web siempre y cuando el cliente remoto así lo requiera y tenga los permisos necesarios como los perfiles de usuario adecuados para el empleo del sistema, ya que se implementó una aplicación cliente-servidor segura. Al ser la comunicación bidireccional también se acatan las órdenes de control desde el computador remoto y se realizan las acciones correspondientes.

Por último, con el procesamiento de la información se determina si los datos son significativos, se realizan las funciones respectivas como activar o desactivar alarmas, almacenamiento de fechas de eventos y mediciones para fines estadísticos, encendido y apagado de la planta o accionamiento y finalización de un proceso completo de arranque de planta y transferencia por medio del envío de comandos de control definidos, desde el servidor al PLC, el cual se encarga de comunicárselos a los dispositivos necesarios para ejecutar el proceso respectivo.

A partir de estos aspectos se comienza con la implementación del sistema de automatización, el cual pretende mejorar con el uso de la tecnología y la ingeniería, el sistema de alimentación eléctrica de emergencia de una estación sumamente importante para el proceso de telecomunicaciones del país. Los detalles de esta implementación se mostrarán en el capítulo 5 de este documento. En la tabla 1.2.1 se muestran los aspectos a tomar en cuenta para evaluar la funcionalidad de la solución implementada.

**Tabla 1.2.1** Aspectos generales evaluativos del sistema de automatización a implementar en la estación terminal Bribrí.

<b>Parámetro</b>	<b>Característica del Sistema</b>
Funcionalidad tanto local y remota del accionamiento de la planta de emergencia, así como de un proceso completo de puesta en marcha de la planta y transferencia de energía	Presenta un 100% de efectividad ante la acción de control de encendido y apagado de forma local y remota
Seguimiento de protocolo del proceso de encendido y apagado de la planta de emergencia según el sistema actual, además de la implementación de un protocolo de seguridad ante accionamientos remotos para resguardar de cualquier peligro al personal	Cumple
Tiempo de respuesta del sistema diseñado ante pruebas de puesta en marcha de la planta de forma local y remota	< 20 segundos
Tiempo de respuesta del sistema diseñado ante pruebas de accionamiento de planta y transferencia de energía de forma local y remota	< 65 segundos
Confiabilidad en los parámetros eléctricos medidos y presentados en la página web tanto de la planta como del banco de baterías	El valor mostrado en la página web será el mismo valor que el medido directamente en los equipos correspondientes con un error < al 5%
Presentación de los valores de las mediciones del nivel de combustible en la página web	El valor presentado corresponde al calculado con la ecuación respectiva a partir de la medición de los sensores con un error < al 5%
Monitoreo local y remoto confiable, seguro y en tiempo real	El monitoreo en tiempo real está de acuerdo con las mediciones de cada uno de los sensores y equipos instalados
Sistema de descripción de posibles fallas tanto de la planta como del módulo de transferencia	Verificación del cableado y operabilidad de la red de sensores de la planta y del sistema de transferencia dentro del sistema implementado.
Sistema de alarmas	Se activa la correspondiente a la emergencia con un tiempo de respuesta < 5 segundos y la misma puede ser desactivada desde la página web



## **Capítulo 2: Meta y Objetivos**

### **2.1 Meta**

Desarrollar un sistema que permita a los encargados de la estación Bribri responder de manera correcta y breve ante un evento presentado en el funcionamiento del sistema de emergencia.

Indicador: El tiempo de respuesta del sistema ante algún evento presentado en cualquiera de los módulos que lo componen debe ser menor o igual a 20 segundos, según las especificaciones técnicas del funcionamiento actual.

### **2.2 Objetivo general**

Desarrollar un sistema que permita efectuar un control y monitoreo del sistema de emergencia de la estación terminal Bribri y sus parámetros asociados, así como del encendido y apagado de forma local y remota de la planta.

Indicador: Cumplir con cada uno de los aspectos establecidos en la Tabla 1.2.1.

### **2.3 Objetivos específicos**

1. Analizar el funcionamiento del sistema de emergencia actual y de los dispositivos que lo controlan.

Indicador: Un informe detallado acerca de los parámetros técnicos que se consideraron para la conservación de los módulos o componentes ya existentes, así como de los que se descartaron para utilizar en el diseño y la propuesta de sus sustitutos.

2. Desarrollar un sistema que siga un protocolo similar al actual de encendido y apagado de la planta de emergencia.

Indicador: El sistema debe responder con una efectividad del 100% ante al menos 15 pruebas de encendido y apagado de la planta, haciendo uso del PLC de forma local y remota, mediante la respectiva acción de control.

3. Aplicar reingeniería a la lógica de control del módulo de la transferencia de la energía que brinda el generador a las instalaciones, equipo y banco de baterías para permitir ejecutar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía desde el sistema a implementar.

Indicador: El sistema debe responder con una efectividad del 100% ante al menos 15 pruebas de arranque de planta y transferencia de energía, así como de su finalización, haciendo uso del PLC de forma local y remota, mediante la respectiva acción de control.

4. Implementar un sistema de medición que permita el monitoreo de los parámetros eléctricos de la planta de emergencia y los bancos de baterías.

Indicador: El sistema de medición permitirá el monitoreo de los parámetros eléctricos de tensiones de fase, corrientes de fase, potencia activa, frecuencia y factor de potencia para la planta de emergencia. Para los bancos de baterías las mediciones corresponderán a tensión, corriente y potencia. Todas las mediciones tendrán un error menor al 5% del valor esperado.

5. Desarrollar un sistema de medición que permita el monitoreo del nivel de combustible de los tanques de abastecimiento interior y exterior.

Indicador: Las mediciones de la cantidad de combustible de los tanques pondrán ser monitoreadas con un error menor al 5% del valor real.

6. Desarrollar un sistema de seguridad que contemple la medición de niveles de agua peligrosos para la integridad de los equipos ubicados en el primer piso de la estación.

Indicador: El sistema será capaz de detectar y alertar mediante la gestión de alarmas local y remota, la existencia de un nivel de agua no permitido en el cuarto de equipos y en el cuarto de planta de emergencia y transferencia.

7. Desarrollar un sistema de control de acceso que permita determinar las aperturas anómalas de alguna de las principales puertas interiores de la estación.

Indicador: El sistema permitirá monitorear en tiempo real la ocurrencia de un evento de apertura de alguna de las 5 principales puertas interiores de la estación.

8. Implementar las rutinas de programación necesarias para el funcionamiento correcto de los protocolos de comunicación entre el PLC y los diferentes dispositivos que conforman el sistema.

Indicador: Las acciones de control que pueden realizarse en el sistema deben ser funcionalmente las mismas tanto local como remotamente y de acuerdo al comportamiento esperado.

9. Desplegar a través de una página web los valores medidos por los equipos instalados en el sistema, de forma tal que pueda supervisarse el nivel de combustible contenido en los tanques, los parámetros eléctricos de la planta y los bancos de baterías, la existencia de humedad y el control de acceso a la estación.

Indicador: Los valores mostrados en la aplicación en contraste con los medidos directamente en los equipos y sensores deben de ser los mismos con una tolerancia menor al 5% del valor esperado y con un error del 0% para las mediciones digitales.

### **2.3.1 Objetivos de hardware**

1. Analizar el funcionamiento del sistema de emergencia actual y de los dispositivos que lo controlan.

Indicador: Un informe detallado acerca de los parámetros técnicos que se consideraron para la conservación de los módulos o componentes ya existentes, así como de los que se descartaron para utilizar en el diseño y la propuesta de sus sustitutos.

2. Aplicar reingeniería a la lógica de control del módulo de la transferencia de la energía que brinda el generador a las instalaciones, equipo y banco de baterías para permitir ejecutar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía desde el sistema a implementar.

Indicador: El sistema debe responder con una efectividad del 100% ante al menos 15 pruebas de arranque de planta y transferencia de energía, así como de su finalización, haciendo uso del PLC de forma local y remota, mediante la respectiva acción de control.

3. Implementar un sistema de medición que permita el monitoreo de los parámetros eléctricos de la planta de emergencia y los bancos de baterías.

Indicador: El sistema de medición permitirá el monitoreo de los parámetros eléctricos de tensiones de fase, corrientes de fase, potencia activa, frecuencia y factor de potencia para la planta de emergencia. Para los bancos de baterías las mediciones corresponderán a tensión, corriente y potencia. Todas las mediciones tendrán un error menor al 5% del valor esperado.

4. Desarrollar un sistema de medición que permita el monitoreo del nivel de combustible de los tanques de abastecimiento interior y exterior.

Indicador: Las mediciones de la cantidad de combustible de los tanques pondrán ser monitoreadas con un error menor al 5% del valor real.

5. Desarrollar un sistema de seguridad que contemple la medición de niveles de agua peligrosos para la integridad de los equipos ubicados en el primer piso de la estación.

Indicador: El sistema será capaz de detectar y alertar mediante la gestión de alarmas local y remota, la existencia de un nivel de agua no permitido en el cuarto de equipos y en el cuarto de planta de emergencia y transferencia.

6. Desarrollar un sistema de control de acceso que permita determinar las aperturas anómalas de alguna de las principales puertas interiores de la estación.

Indicador: El sistema permitirá monitorear en tiempo real la ocurrencia de un evento de apertura de alguna de las 5 principales puertas interiores de la estación.

### **2.3.2 Objetivos de software**

1. Desarrollar un sistema que siga un protocolo similar al actual de encendido y apagado de la planta de emergencia.

Indicador: El sistema debe responder con una efectividad del 100% ante al menos 15 pruebas de encendido y apagado de la planta, haciendo uso del PLC de forma local y remota, mediante la respectiva acción de control.

2. Implementar las rutinas de programación necesarias para el funcionamiento correcto de los protocolos de comunicación entre el PLC y los diferentes dispositivos que conforman el sistema.

Indicador: Las acciones de control que pueden realizarse en el sistema deben ser funcionalmente las mismas tanto local como remotamente y de acuerdo al comportamiento esperado.

3. Desplegar a través de una página web los valores medidos por los equipos instalados en el sistema, de forma tal que pueda supervisarse el nivel de combustible contenido en los tanques, los parámetros eléctricos de la planta y el banco de baterías, la existencia de humedad y el control de acceso a la estación.

Indicador: Los valores mostrados en la aplicación en contraste con los medidos directamente en los equipos y sensores deben de ser los mismos con una tolerancia menor al 5% del valor esperado y con un error del 0% para las mediciones digitales.

### **2.3.3 Objetivos de documentación**

1. Desarrollar un manual de usuario donde se explique de forma clara y sencilla la forma de instalar y operar el sistema implementado de tal manera que no existan dudas de su funcionamiento.

Indicador: Impresión de un documento que detalle cada uno de los pasos necesarios para hacer uso de las funciones con que cuenta el sistema desarrollado.

### **2.3.4 Objetivos de implementación**

1. Instalar a manera de prototipo el sistema desarrollado para la realización de las pruebas respectivas y presentación final de su funcionalidad.

Indicador: Instalar el sistema a manera de prototipo en un entorno de red y probar que cada una de sus funciones opere correctamente.

### Capítulo 3: Marco teórico

El Instituto Costarricense de Electricidad y Telecomunicaciones (ICE), creado bajo el decreto de ley No.449 del 8 de abril de 1949, se constituye hoy día como un grupo sólido de empresas estatales conocido como “Grupo ICE”, el cual está conformado por el ICE como cabeza, Radiográfica Costarricense S.A (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A (CNFL), las cuales son activas colaboradoras para el desarrollo de proyectos de modernización.

A sus inicios el ICE tenía como objetivo primordial brindar el servicio de electricidad al país, haciendo para ello un uso sostenible de las fuentes productoras de energía existentes en el territorio. Pero a partir de año 1963 se le otorgó al ICE la responsabilidad del “establecimiento, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones telefónicas, radiotelegráficas y radiotelefónicas en el territorio nacional. Tres años más tarde, instaló las primeras centrales telefónicas automáticas y, a partir de entonces, las telecomunicaciones iniciaron su desarrollo” tomado de referencia bibliográfica [4].

En la década de 1990 el ICE inició su participación en proyectos de comunicación a través de cable submarino, de esta forma firmó una serie de acuerdos que le permitieron la utilización de los cables submarinos “Columbus II” al cual se conecta por medio de la Red Digital de Microondas de Centroamérica y de un enlace de fibra óptica en México, y el “Panamericano” a cual se conecta en la ciudad de Panamá, por medio de la red Centroamericana. Estos cables le permitieron al ICE tener una red con conexión internacional confiable y redundante.

Luego para el año 1998<sup>3</sup> firmó otros acuerdos que le permitieron hacer uso del cable submarino “Columbus III” con el cual tiene conexión en la estación de la Florida a través del Panamericano. Con estos acuerdos suscritos también se permitió el empleo del cable submarino “Maya I”, éste permite una conectividad

---

<sup>3</sup> Ver referencia bibliográfica [10].

directa, es decir, conectividad punto-punto con Estados Unidos, México, Centro América, Panamá y Colombia; y en forma indirecta, por medio de la red mundial de cables submarinos, permite a Costa Rica tener conectividad con Europa, Asia y África.

Por su parte, cable Arcos I interconecta 15 países en la región del Caribe: Estados Unidos, Bahamas, Turks y Caicos, República Dominicana, Puerto Rico, Curacao, Venezuela, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guatemala, Belice y México.

Tanto cable Maya como cable Arcos son interconectados al Sistema Nacional de Telecomunicaciones (SNT) desde Limón hasta San José por medio de la estación terminal Bribri, para lo cual se construyó un enlace de fibra óptica con topología de anillo físico que genera una restauración automática del tráfico en caso de que se produzca una falla.



**Figura 3.1** Sistema de conexión del cable submarino Arcos I<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Imagen tomada de referencia bibliográfica [10], pag. 62.



### 3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

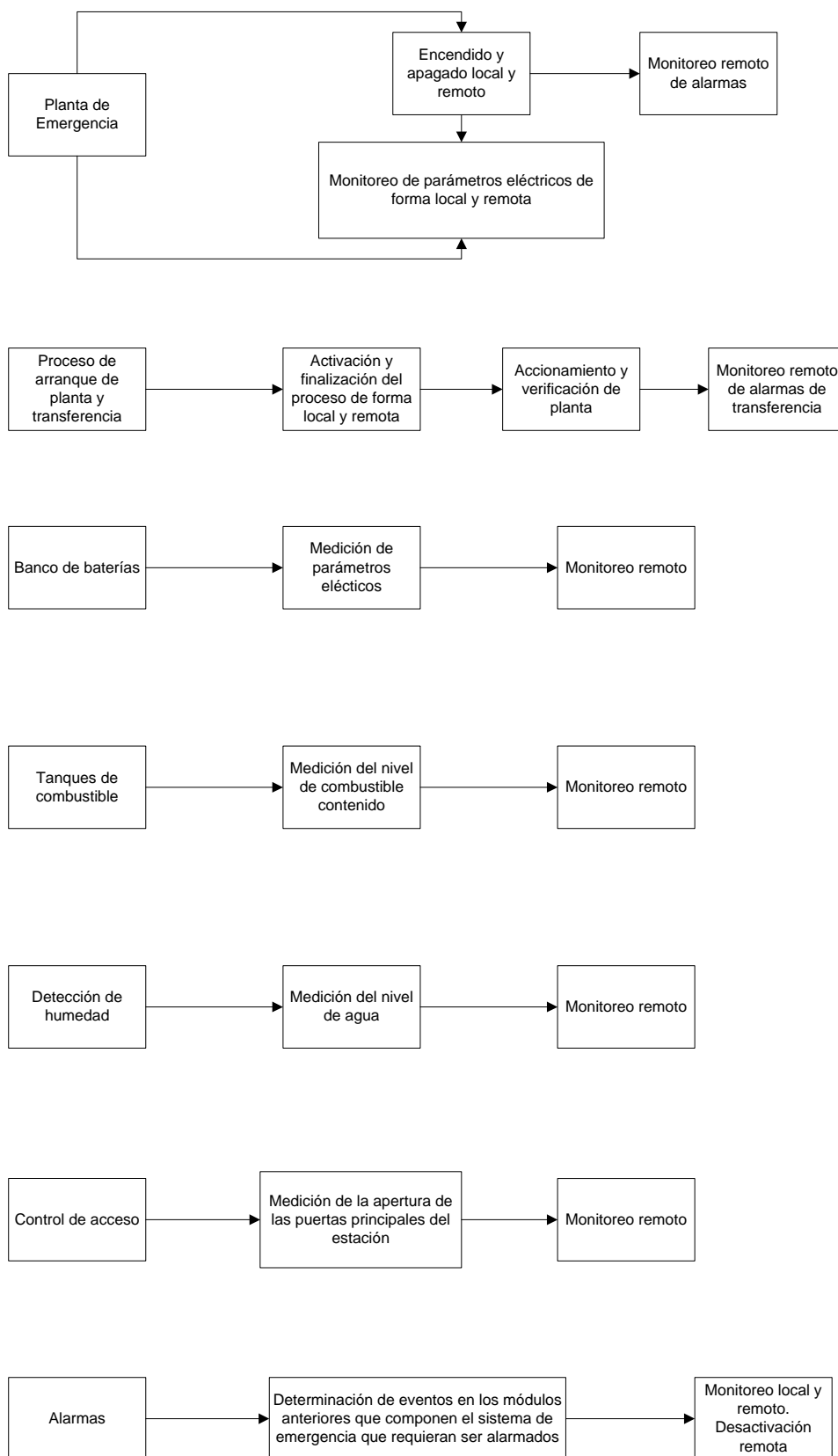
Con el empleo del diseño en ingeniería se pretende crear un sistema automatizado que permita administrar (monitorear y controlar) de una mejor manera la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento eléctrico de emergencia de la estación terminal de cable submarino Bribí.

La estación Bribí al ser el punto de conexión del SNT con los cables submarinos Maya y Arcos, no puede quedar desabastecida de corriente eléctrica, ya que el proceso de comunicación internacional de Costa Rica se vería interrumpido. Con este propósito, la estación cuenta con un sistema completo de alimentación eléctrica de emergencia que permite suplir las instalaciones y los equipos, sin embargo este sistema carece de un sistema de monitoreo y control local y remoto que permita supervisar los puntos críticos del sistema así como ejecutar procesos de mantenimiento preventivo.

Con base en el diagrama mostrado en la figura 3.1.1, a continuación se detallan los pasos a seguir para mejorar el sistema de emergencia.

- **Proceso:** El sistema de emergencia posee una planta, que básicamente es un generador trifásico que se activa únicamente ante cortes de energía eléctrica y ante el accionamiento de un ejercitador semanal que opera una única vez el lunes por la mañana por un tiempo de aproximadamente 10 minutos. En caso de una falla en el encendido, la planta cuenta con un sistema de alarmas locales que indican la causa del malfuncionamiento.

**Mejora:** Diseño de un lógica de control local y remota que permita encender y apagar la planta para mantenimientos preventivos, es decir, además del proceso de encendido y apagado, el sistema podrá medir y mostrar los parámetros eléctricos de la planta de manera local y remota. Además el sistema remoto será capaz de mostrar las alarmas de la planta para determinar la causa de un fallo, en caso que este se produzca.



**Figura 3.1.1** Diagrama de mejoras al sistema de emergencia de la estación Bribri.

- **Proceso:** El proceso de respuesta a cortes eléctricos comerciales está regulado por un sistema automático controlado por un PLC TSX37 de telemacanique. Este sistema se encarga de la detección de un corte a través de un sensor, una vez que el corte se produce el PLC envía la señal de control que arranca la planta, transcurrido 1 minuto, el PLC verifica que los niveles de tensión y frecuencia brindados por la planta estén dentro de un rango de 190V y 230V, 60Hz respectivamente para que se de la transferencia de energía entre la planta y las instalaciones, equipos y banco de baterías. Para que este proceso opere el sistema tiene que estar ajustado

**Mejora:** Diseñar una lógica de control que permita ejecutar de forma local y remota un proceso arranque de planta y transferencia de energía para corroborar que el proceso opera correctamente, para ello el sistema será capaz de simular cortes de fluido eléctrico. El sistema remoto además tendrá la capacidad de indicarle al usuario si el proceso falló a causa de una mala calibración en la tensión o frecuencia del generador, o porque el sistema no se encontraba en modo automático, o por el contrario si el proceso funcionó correctamente.

- **Monitoreo bancos de baterías:** El sistema de emergencia también cuenta con un banco de baterías que en caso de fallar la planta, sule al equipo con que opera el proceso de transferencia de datos a través de los cables submarinos. Este banco tiene una capacidad de operar durante 12 horas aproximadamente. Existe un banco de baterías para el equipo de Maya y otro para el equipo de Arcos. Ambos deben de suplir una tensión de -48V.

**Mejora:** Realizar mediciones de tensión, corriente y potencia en los dos bancos de baterías y mostrar estos parámetros en el sistema remoto.

- **Monitoreo de los tanques de combustible:** La planta de emergencia (generador) para su funcionamiento utiliza combustible (diesel). Para esto

cuenta con un tanque de abastecimiento interior o inmediato de 400 litros, y un tanque de reserva exterior de 7000 litros que se encarga de mantener lleno el tanque de 400 litros.

**Mejora:** Utilizar un componente electrónico que permita determinar la cantidad de combustible que se encuentra almacenado en los tanques y mostrarlo a través del sistema remoto.

- **Detección de humedad:** Con el fin de proteger los equipos del sistema de emergencia ante posibles filtraciones de agua que puedan dañar su integridad y funcionamiento, se pretende incorporar a través de componentes electrónicos la detección del nivel de humedad presente en el cuarto de los equipos y el cuarto de planta y transferencia. De esta manera el sistema remoto será capaz de mostrar si se presenta o no humedad en algún cuarto determinado
- **Control de acceso:** La gestión interna de seguridad del ICE tiene instalado actualmente un sistema de control de acceso marca Andover 120/240 AC 50-U en las puertas principales de las instalaciones, sin embargo el sistema es de administración exclusiva de este departamento.

**Mejora:** Diseñar un sistema que permita determinar si una puerta se encuentra abierta, el momento de su apertura y mostrar esta información por medio del sistema remoto.

- **Sistema de alarmas:** El sistema de alarmas con que cuenta el sistema es limitado, únicamente se tienen las alarmas que forman parte del diseño de la planta, y las del sistema de transferencia, las cuales son locales.

**Mejora:** Diseñar un sistema de alarmas a nivel local que permita identificar el módulo correspondiente que presenta un evento que requiere ser alertado. El sistema remoto por su parte tendrá la ubicación y causa

específica de la alarma producida y permitirá la desactivación de las mismas, una vez que la emergencia fue atendida.

## 3.2 Antecedentes Bibliográficos

### 3.2.1 Automatización

La automatización<sup>5</sup> es un sistema que permite la transferencia de tareas de producción, ejecución de procesos, supervisión, toma de datos, entre otras, que habitualmente son realizadas por seres humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Los sistemas de automatización se componen principalmente por dos unidades: la unidad de control y la unidad operativa.

**Unidad de control:** En esta unidad se encuentra el sistema operativo. Suele estar conformada por un dispositivo lógico programable, por lo general se emplean autómatas o PLC's, aunque también pueden emplearse microcontroladores para el cumplimiento de este fin. La unidad de control tiene que estar en la capacidad de comunicarse con cada uno de los dispositivos periféricos que componen el sistema.

**Unidad Operativa:** La unidad operativa está compuesta por una serie de elementos que actúan directamente en el equipo o componentes físicos que se utilizan en el proceso que se quiere mejorar. Tiene la capacidad de recibir órdenes de la unidad de control y ejecutar exactamente la acción que le fue comunicada, como mover una banda transportadora, arrancar un motor, etc.

Dentro de los objetivos de la automatización se encuentran mejorar la productividad así como su calidad, reducir costos de operación y producción, mejorar condiciones de trabajo, incrementar la seguridad, acortar distancias geográficas, flexibilizar los procesos, mejorar la respuesta a algún evento, entre otros.

---

<sup>5</sup> Ver referencia bibliográfica [13].

### **3.2.2 Controlador lógico programable (PLC)**

Los PLC o controladores lógicos programables o autómatas fueron inventados en respuesta a las necesidades de la industria automotriz americana para remplazar los sistemas basados en lógicas de relés<sup>6</sup>. Actualmente se les considera como computadores dispuestos a operar bajo condiciones severas como polvo, humedad, frío, calor. Poseen una organización determinada de entradas y salidas, sin embargo su estructura permite la adaptación de módulos que permiten aumentar sus características.

Los PLC son empleados para funciones como: creación de sistemas secuenciales de relé, sistemas de control de movimiento, control de procesos, control de sistemas de distribución y redes. Esto debido a sus capacidades de procesamiento, comunicación y manejo de almacenamiento de datos.

Para la programación de PLC's se utiliza actualmente lenguaje de escalera o lenguaje de lista, además de una gama de programas dedicados hechos por sus desarrolladores para facilitar al cliente el uso del dispositivo.

El autómata empleado en este proyecto, es el PLC marca TWIDO modelo TWDLCDE40DRF de Schneider Electric, el cual presenta entre sus características: 2 puertos serie con protocolo RS 485 o protocolo Modbus RTU, Puerto Ethernet 10Mbps/100Mbps, 24 entradas digitales de 0 a 24V DC, 14 salidas de relee de hasta 1A de corriente y conexión de 7 módulos de ampliación.

### **3.2.3 Lenguaje de escalera**









El lenguaje de escalera también llamado lenguaje ladder o de contacto, es un lenguaje de programación gráfico muy utilizado para la programación de los controladores lógicos programables o PLC, su lógica de programación está

---

<sup>6</sup> Un relé o contactor es un interruptor automático controlado eléctricamente.

basada en las reglas de los circuitos de conmutación y permite la representación de funciones binarias o álgebra de Boole mediante la asociación de contactos a variables lógicas tanto de entrada como de salida. Los contactos pueden ser normalmente abiertos (NO) o normalmente cerrados (NC), esto permite asociar un cero binario a un contacto abierto y un uno binario a un contacto cerrado. En la tabla 3.2.3.1 se presentan algunos símbolos empleados para la programación en lenguaje de escalera.

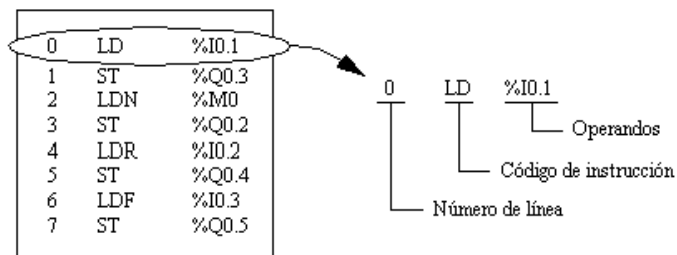
**Tabla 3.2.3.1** Elementos gráficos del lenguaje en escalera.

Nombre	Elemento gráfico	Instrucción	Función
Contacto normalmente abierto		LD	Establece contacto cuando el objeto de bit de control está en estado 1.
Contacto normalmente cerrado		LDN	Establece contacto cuando el objeto de bit de control está en estado 0.
Contacto para detectar un flanco ascendente		LDR	Flanco ascendente: detecta el cambio de 0 a 1 del objeto de bit de control.
Contacto para detectar un flanco descendente		LDF	Flanco descendente: detecta el cambio de 1 a 0 del objeto de bit de control.
Bobina directa		ST	El objeto de bit asociado toma el valor del resultado del área de comprobación.
Bobina inversa		STN	El objeto de bit asociado toma el valor del resultado en negativo del área de comprobación.
Establecer bobina		S	El objeto de bit asociado se establece en 1 cuando el resultado del área de comprobación es 1.
Restablecer bobina		R	El objeto de bit asociado se establece en 0 cuando el resultado del área de comprobación es 1.

### 3.2.4 Lenguaje de lista

Un programa escrito en lenguaje de lista está formado por una serie de instrucciones que el autómata ejecuta de forma secuencial. Cada instrucción de lista está representada por una línea de programa y tiene tres componentes:

- Número de línea.
- Código de instrucción.
- Operandos.



**Figura 3.2.4.1** Ejemplo de un programa en lenguaje de lista.

Los números de línea se generan automáticamente al introducir una instrucción. Las líneas vacías y las líneas de comentario no tienen números de línea.

El código de instrucción es un símbolo para un operador que identifica la operación que se va a realizar utilizando los operandos. Los operadores típicos especifican operaciones numéricas y booleanas. Por ejemplo, en el programa de la figura 3.2.4.1, LD es la abreviatura del código de instrucción para una instrucción LOAD. La instrucción LOAD coloca (carga) el valor del operando %I0.1 en un registro interno llamado el acumulador.

Hay dos tipos de instrucciones básicas:



**Instrucciones de prueba:** Estas instrucciones configuran o comprueban las condiciones necesarias para realizar una acción. Por ejemplo, LOAD (LD) y AND.

**Instrucciones de acción:** Estas instrucciones realizan acciones como resultado de las condiciones configuradas. Por ejemplo, instrucciones de asignación como STORE (ST) y RESET (R).

Un operando es un número, dirección o símbolo que representa un valor que puede manipular un programa en una instrucción. Por ejemplo, en el programa de la figura 3.2.4.1, el operando %I0.1 es una dirección que tiene asignado el valor de una entrada del autómata. Una instrucción puede tener de cero a tres operandos dependiendo del tipo de código de instrucción.

Los operandos pueden representar los siguientes elementos:

- Entradas y salidas del autómata, como sensores, botones y relés.
- Funciones de sistema predefinidas, como temporizadores y contadores
- Operaciones aritméticas, numéricas y de comparación.
- Variables internas del autómata, como bits y palabras.

### 3.2.5 Protocolo Modbus

El protocolo Modbus<sup>7</sup> fue desarrollado por Modicom en 1979 para trabajar con su línea de controladores lógicos programables o PLCs. Años más tarde fue adoptado como un estándar en la industria para la comunicación en redes de dispositivos debido a que es un protocolo público y de fácil implementación. Opera en la capa 7 del modelo OSI, por tanto es un protocolo de aplicación, el cual está basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente servidor.

En una red que trabaja con el protocolo Modbus se puede tener una o varias unidades que hacen la función de maestro, sin embargo lo común es tener una

---

<sup>7</sup> Ver referencia bibliográfica [5].

única unidad de control que ejecute esta tarea. Los demás dispositivos que conforman la red poseen cada uno una única dirección o identificador para que el maestro pueda establecer comunicación con ellos. La comunicación se hace por medio de una serie de códigos o comandos definidos en el protocolo, este comando es enviado a manera de broadcast<sup>8</sup> y encapsulado en una trama de datos que además contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden, por tanto sólo este la ejecuta y los demás periféricos que reciben la trama la ignoran.

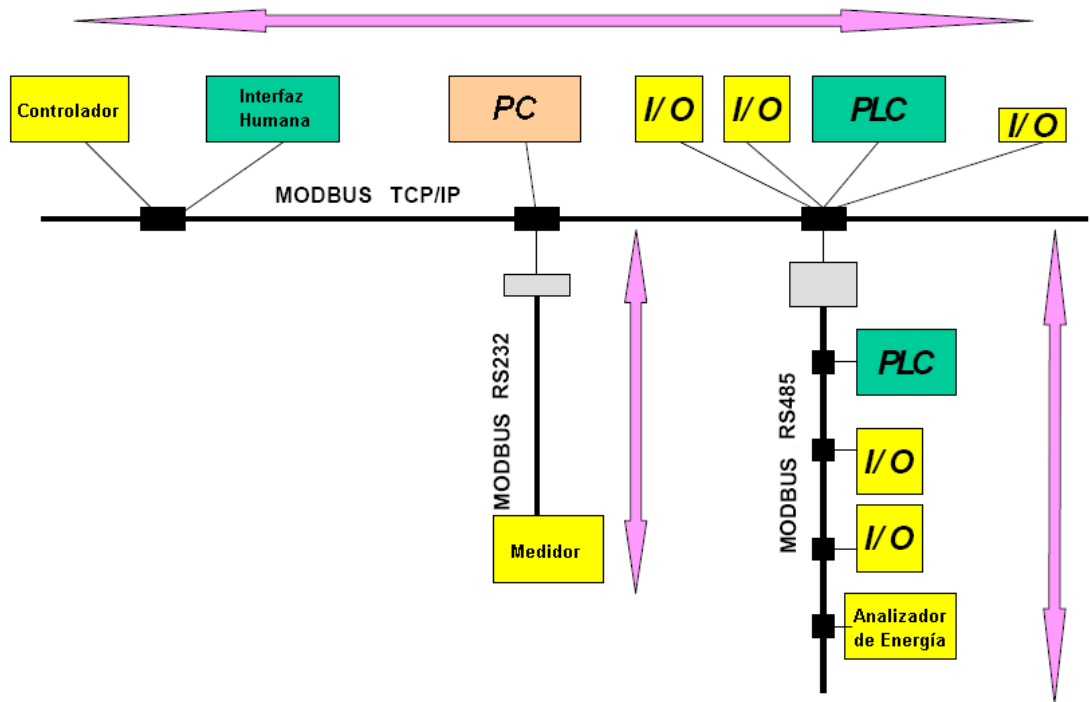
El protocolo modbus actualmente se encuentra implementado para ser usado en:

- TCP/IP sobre Ethertnet.
- Transmisiones seriales asíncronas para cable RS232 o RS485.

Las cuales son de interés para el proyecto en desarrollo, sin embargo es soportado para otros tipos de medios como fibra, radio, redes token. En la figura 3.2.5.1 se muestra una implementación de red Modbus, en la cual se utilizan las variantes por TCP/IP, comunicaciones seriales RS232 y RS485.

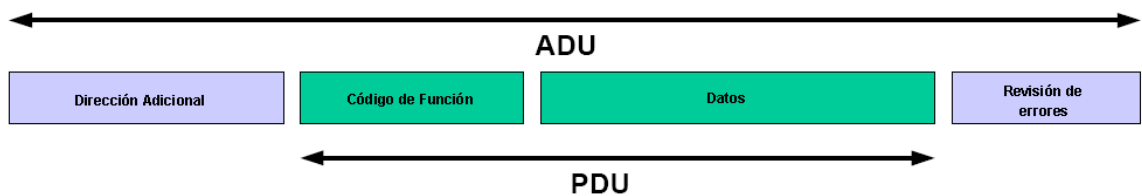
---

<sup>8</sup> El mensaje que contiene el comando que quiere ejecutarse es enviado a todos los dispositivos de la red.



**Figura 3.2.5.1** Ejemplo de una arquitectura de red Modbus.

El protocolo Modbus emplea para el intercambio de mensajes una unidad de información de protocolo (PDU<sup>9</sup>) como la mostrada en la figura 3.2.5.2. Pero dependiendo de la variante específica del protocolo utilizado, ya sea TCP/IP o RTU, a la PDU se le agrega unos campos de información extra para encapsularse dentro de la trama requerida por la variación, a la encapsulación del mensaje final se le conoce como unidad de información de aplicación (ADU<sup>10</sup>).

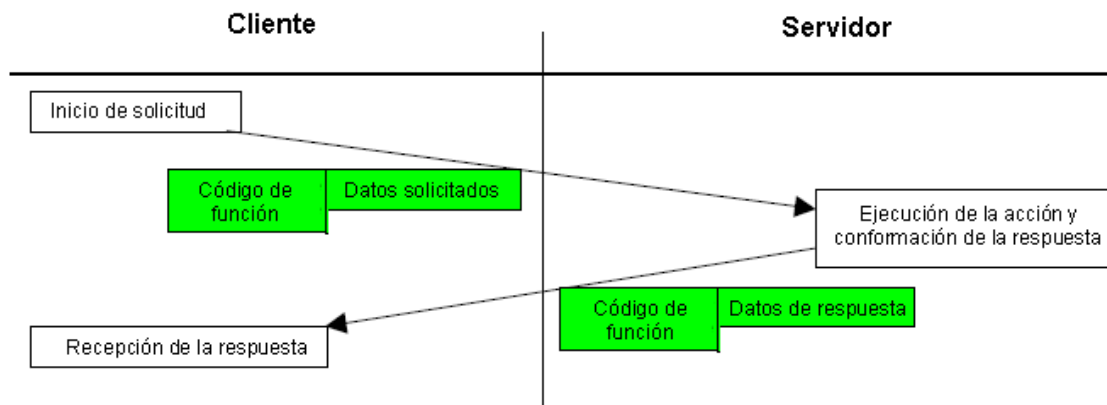


**Figura 3.2.5.2** Trama general Modbus.

<sup>9</sup> Siglas utilizadas por su significado en inglés Protocol Data Unit (PDU).

<sup>10</sup> Siglas utilizadas por su significado en inglés Application Data Unit (ADU).

La PDU es construida por el cliente que inicia la transacción Modbus. El código de función indica al servidor que tipo de acción efectuar, el protocolo Modbus luego se encarga de construir con un formato adecuado la solicitud del cliente para enviarla al servidor. El código de función es codificado en un byte. Los códigos aceptados por el protocolo van de 1 a 255 decimal, los códigos del rango de 128 a 255 está reservado para el tratamiento de excepciones. El código 0 no es válido. El campo de datos que forma parte de la trama lleva información adicional que el servidor o esclavo utiliza para tomar la acción correspondiente al código de función, puede incluir información como direcciones de registros, el número de registros a tratar o la cantidad de datos de la transacción. En ocasiones este campo carece de información ya que basta únicamente con el código de función para realizar una acción. De no producirse un error, la trama formada por el servidor y enviada al cliente lleva la información solicitada y los códigos de verificación de que la transacción fue efectuada, de no ser así se envía el código de error correspondiente, en la figura 3.2.5.3 se ilustra el proceso de comunicación de una transacción modbus.



**Figura 3.2.5.3** Esquema de comunicación de una transacción modbus.

Los códigos de función principales del protocolo modbus, así como el tipo de registro sobre el que se toma la acción correspondiente se muestran en la tabla 3.2.5.1.

**Tabla 3.2.5.1** Definición de los códigos de función Modbus.

<b>Función</b>	<b>Código</b>	<b>Tipo Registro</b>	<b>Longitud de Registro</b>	<b>Tipo de Acción en registro</b>
Leer entradas discretas	02	Entradas discretas físicas	1 bit	Sólo lectura
Leer salidas	01	Bits internos o salidas físicas		Lectura/Escritura
Escribir salida	05			
Escribir salidas	15			
Leer registro de entrada	04	Registros físicos de entrada	16 bits	Sólo lectura
Leer registros internos	03	Registros internos o registros físicos de salidas		Lectura/Escritura
Escribir registro	06			
Escribir registros	16			

### 3.2.5.1 Variante Modbus RTU

El protocolo Modbus sobre una línea serial<sup>11</sup> opera de igual manera bajo el esquema maestro esclavo, sin embargo para esta variación el protocolo se ubica en la capa 2 del modelo OSI, es decir en la capa de enlace de datos. En este tipo de variación existe un único master que comanda a los demás esclavos de la red, los cuales no pueden comunicarse entre ellos, y únicamente transmiten datos si es así solicitado por el maestro.

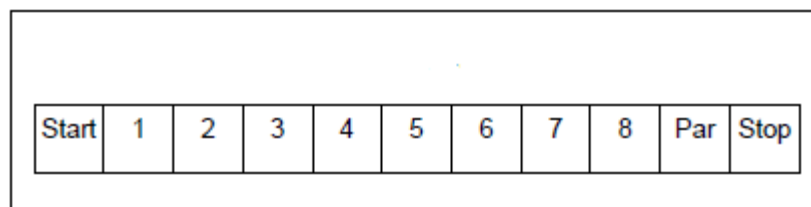
Esta variación del protocolo emplea en el nivel físico diferentes tipos de cable o interfaces de conexión (RS485, RS232), para el protocolo RS485 emplea el cable TIA/EIA-485 y es muy común utilizarlo en conexión de dos vías, aunque también

<sup>11</sup> Ver referencia bibliográfica [11].

puede utilizarse una interfaz de cuatro cables. Para el protocolo RS232 se emplea el tipo de cable TIA/EIA-232-E, y es importante dejar en claro que este tipo de comunicación serial es utilizado únicamente para distancias cortas de comunicación (menores a 20 metros).

En una red de conexión serial a un mismo bus se tiene un master y un máximo de 247 esclavos, lo cuales deben tener un único identificador o dirección en el rango de 1 a 247. El maestro por su parte no requiere de un identificador. La dirección 0 está reservada como la dirección para el envío de mensajes por broadcast.

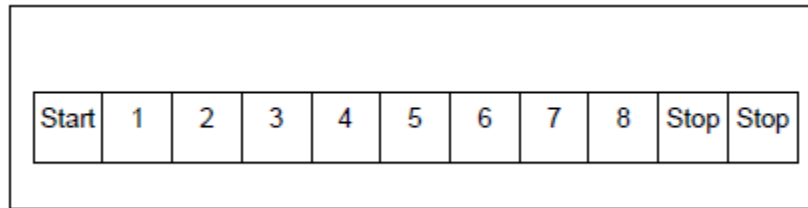
El tipo o modo RTU<sup>12</sup>, codifica cada byte de información en dos caracteres hexadecimales de 4 bits, lo cual permite un mayor desempeño en la transmisión. Cada mensaje se transmite de manera continua con la secuencia mostrada en la figura 3.2.5.1.1. La cual presenta 1 bit de inicio, 8 bits de datos (los bits menos significativos son enviados primero), 1 bit de paridad y un bit de parada, y en caso de no utilizarse la paridad se envía 2 bit de parada, como se presenta en la figura 3.2.5.1.2. La comunicación de mensajes a través de una línea serial puede realizarse a 300 baudios, 2400 baudios, 9600 baudios, 19200 baudios.



**Figura 3.2.5.1.1** Secuencia de bits para Modbus RTU, con verificación de paridad.

---

<sup>12</sup> Unidad terminal remota, sus siglas se derivan de su significado en inglés (Remote Terminal Unit).



**Figura 3.2.5.1.2** Secuencia de bits para Modbus RTU, sin verificación de paridad.

### 3.2.5.2 Variante Modbus TCP/IP

Esta variación del protocolo<sup>13</sup> Modbus lo que hace es simplemente encapsular la variación Modbus RTU en una interfaz TCP que correo sobre ethernet. En la estructura el mensaje modbus es el protocolo de aplicación Modbus el que define las reglas para la organización e interpretación de los datos independientemente del medio de transmisión. TCP/IP que se refiere al protocolo que controla la transmisión de datos en redes ethernet y el protocolo de Internet respectivamente, provee únicamente el medio de transmisión para los mensajes modbus.

TCP/IP permite que bloques de datos binarios sean intercambiados entre computadoras y es un estándar que permite las comunicaciones por web. TCP tiene como función principal garantizar la entrega de paquetes en forma segura y correcta, mientras que IP se asegura que los paquetes de datos son correctamente diseccionados y enrutados, por tanto ambos protocolos se combinan como protocolos de transporte y no definen el significado ni la forma de interpretar los datos.

El protocolo Modbus se realiza entre computadores haciendo uso del puerto reservado 502, a este puerto llegan las tramas de datos las cuales poseen una estructura como la mostrada en la figura 3.2.5.2.1.

<sup>13</sup> Ver referencia bibliográfica [1].



**Figura 3.2.5.2.1** Encapsulado de un mensaje modbus en una trama TCP.

### 3.2.6 Conceptos de programación utilizados para el proyecto

**Java<sup>14</sup>:** Es un lenguaje de programación muy utilizado para el desarrollo de aplicaciones web y escritorio, está orientado a objetos. Fue desarrollado por Sun Microsystems en los años 90. Parte de su sintaxis es tomada de C y C++. Es un lenguaje compilado.

**Struts<sup>15</sup>:** Es una herramienta de soporte para la implementación de aplicaciones web que utiliza la plataforma J2EE (Java 2, Enterprise Edition). Struts permite reducir el tiempo de desarrollo web ya que simplifica la programación html mediante comandos o instrucciones de fácil uso y que ejecutan un equivalente de código html pero con orientación al lenguaje java. Su uso es libre y es compatible con todas las plataformas de java.

**Glassfish<sup>16</sup>:** Es un servidor de aplicaciones desarrollado por Sun Microsystems, permite ejecutar aplicaciones que siguen las especificaciones de las tecnologías Java EE. Es gratuito y de código libre.

**Bases de datos<sup>17</sup>:** Es un esquema de almacenamiento de datos, guardados de forma sistemática para ser usados posteriormente, ya sea para ser consultados,

<sup>14</sup> Tomado de referencia bibliográfica [15].

<sup>15</sup> Tomado de referencia bibliográfica [12].

<sup>16</sup> Tomado de referencia bibliográfica [14].



actualizados, o simplemente eliminados. Para el proyecto en cuestión la base de datos se hizo utilizando MySQL, el cual es un sistema de gestión de base de datos, relacional, multihilo y multiusuario.

### 3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.

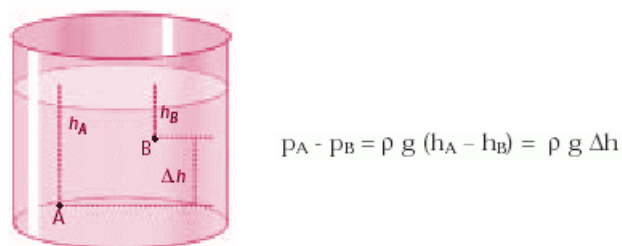
#### 3.3.1 Principio de Arquímedes para el cálculo del volumen de un fluido<sup>18</sup>

**Principio:** “Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desalojado”

Con base en este principio se plantea la medición de la presión hidrostática, que es la presión que experimenta un cuerpo sumergido en un fluido, debido al peso del fluido en reposo. La presión hidrostática se calcula como:

$$P = \rho gh \quad (3.1)$$

Donde p es la presión hidrostática,  $\rho$  la densidad del fluido, g la aceleración de la gravedad y h la altura de la superficie del fluido. Es decir, la presión hidrostática es independiente del líquido, y sólo es función de la altura que se considere.



**Figura 3.3.1.1** Cálculo de la diferencia de presión entre dos puntos A y B cualesquiera del fluido.

<sup>17</sup> Tomado de referencia bibliográfica [16].

<sup>18</sup> Tomado de referencia bibliográfica [3].

## **Capítulo 4: Procedimiento Metodológico**

En este capítulo se describe el procedimiento seguido para llegar a la solución del problema planteado, las etapas de este procedimiento se basaron en los pasos contemplados por el método de ingeniería.

### **4.1 Reconocimiento y definición del problema**

En una reunión efectuada en las oficinas del ICE en San Pedro, específicamente en la casa de Transporte (DTOM-Transporte) con el Ing. Julio Stradi Granados, Ing. Oscar Cárdenas Sequeira y el Lic. Lidier Calderón Hidalgo se plantearon las necesidades del proyecto, haciendo para ello un enfoque a la problemática presentada. Se dejó de manifiesto que debido a la importancia que tiene la estación Bribri, era necesario idear un sistema que les permitiera a los encargados de la planta, administrar desde el punto de vista de control y monitoreo los aspectos que se consideraban posibles puntos de falla del sistema en general.

El primer punto requerido e indispensable era que éste sistema debía poder ser accedido de manera remota, y que este sitio remoto pudiese encontrarse en cualquier parte del mundo, para evitar cualquier tipo de limitación para el uso del mismo. Este enfoque remoto se hizo principalmente porque, debido a las condiciones geográficas de la provincia de Limón, ésta se ve año tras año perjudicada por grandes inundaciones que impiden el paso hasta la estación. Además, en el pasado el acceso también se ha visto limitado a causa de otros fenómenos de la naturaleza (terremotos y huracanes), además de movimientos sociales que bloqueaban el paso.

De acuerdo a la recopilación de los hechos, las veces que la sistema de emergencia falló, se concluyó que en repetidas ocasiones la transferencia de energía entre la planta e instalaciones y equipos no pudo ser efectuada debido a que la planta o generador se descalibraba en cuanto a los niveles de tensión y

frecuencia brindados, por lo que el tener un mecanismo de encendido de la planta de forma local y remota que permitiera a la vez medir sus parámetros eléctricos y determinar que la transferencia fuese efectuada, era un requisito indispensable.

Otro inconveniente presentado, era que en ocasiones la planta simplemente no arrancó, o dejó de funcionar debido a que el combustible se agotó. A causa de esto el personal de electromecánica tenía que hacer revisiones semanales y con un método poco ágil, determinar el nivel de combustible contenido en los tanques exterior e interior. Por tanto se pedía implementar un método que permitiera monitorear la cantidad de combustible disponible en los tanques y así poder proceder de manera eficaz en el llenado de los mismos ante su posible agotamiento.

Ahora bien, por cuestiones de seguridad y protección a los equipos, se quería poder medir a través del sistema, la tensión de los 2 bancos de baterías, tensión que debía estar en aproximadamente -48V CD. También y debido a la situación de las inundaciones, se pretendía poder medir el nivel de humedad de los principales cuartos de equipo, para así poder tomar las acciones respectivas e impedir las filtraciones de agua a los equipos ya que si esto sucediera su funcionamiento podría verse afectado o dañarlos completamente.

Otro aspecto importante, era llevar un control de acceso a la estación, ya que la misma ha sido víctima de intentos de robo, por lo que poder determinar la apertura de las puertas principales de la estación permitiría atender un hecho de éstos en el acto.

Posteriormente se realizó una gira exploratoria a la estación para analizar detalladamente la problemática, analizar la ubicación de los equipos, conversar con el personal de la estación para corroborar que ningún detalle quedara sin contemplar, revisar especificaciones técnicas, ver la operación normal de los procedimientos, y así poder tener una idea más clara del problema que se iba a

solucionar, este estudio se hizo con el encargado de la estación, el señor Franklin Rodríguez.

#### **4.2 Obtención y análisis de información**

Una vez que se tuvo claro el problema que había que resolver, se realizó en primera instancia una investigación por Internet para recolectar información acerca del proceso que se lleva a cabo en la estación Bribri, es decir, la conexión de cable Maya y cable Arcos con el SNT, además se hizo una evaluación de las características técnicas del PLC Twido modelo TWDLCDE40DRF de Schneider Electric, así como del analizador de energía LCA-C de SACI, ya que estos equipos fueron sugeridos por el personal del ICE para formar parte de la solución. Debido a que ambos dispositivos operan con el protocolo Modbus, se recurrió también a hacer un estudio específico del mismo, para ello se recurrió al documento encontrado en la referencia bibliográfica [5].

Por medio del Ing. Oscar Cárdenas Sequeira se adquirió un documento que planteaba el perfil que debería adquirir el proyecto. Este perfil fue obtenido de acuerdo a un estudio que se realizó en la Dirección Técnica de Operación y Mantenimiento (DTOM) y que más tarde fue aprobado por la gerencia general. A través de este documento se pudo encontrar parte de las características de los equipos sobre los cuales se iba a trabajar, así como otros aspectos a automatizar que en un principio no fueron planteados, sin embargo, debido al tiempo establecido para efectuar el proyecto de graduación, éstos aspectos únicamente se contemplaron para diseñar una solución que fuese escalable para en un futuro poder adaptar éstos módulos al sistema. Por tanto se mantuvo constancia de acuerdo a los objetivos planteados en el proyecto. El documento en cuestión se encuentra en la referencia bibliográfica [7].

Finalizada la parte investigativa del proyecto se coordinó una segunda gira a la estación Bribri en compañía del Ing. Ronny Gómez Zelada, el cual había iniciado los trabajos de automatización en esta estación con anterioridad. Ya una vez en la estación se contactó a uno de los profesionales de electromecánica del área de

Limón, encargado de dar mantenimiento al sistema de emergencia de la estación Bribí, el señor Deybi Guzmán Arias el cual realizó una explicación magistral del funcionamiento de la planta de emergencia y del sistema automático de transferencia de energía, además de las opciones de cableado con que se puede realizar la interconexión del sistema implementado en este proyecto con el ya existente. En esta gira también se tomaron datos de los equipos que tienen relación con el proyecto, datos que se muestran en la tabla 4.2.1 y se fotocopió además la documentación referente al sistema automático de transferencia, para emplearse en el diseño de la solución.

**Tabla 4.2.1** Equipos relacionados con el desarrollo del proyecto que se encuentran en las instalaciones de la estación Bribí.

<b>Tipo de Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Modelo de equipo que se emplea</b>	<b>Tipo de Comunicación</b>
Planta de Emergencia	1	ONAN, DGEA-33129	No tiene
Modulo de transferencia automática	1	PLC Telemacanique TSX37 NANO	No tienen
Rectificador DC	1	Lorain 1231A2	No tiene
Rectificador DC	1	Siemens Power Suply Ks5005	No tiene
Medidores de nivel de agua	0	---	---
Tanques de combustible	2	---	No tiene
Puertas internas	5	Lector magnético de aperturas,	Posee, pero no puede ser utilizada

Por otra parte, es importante señalar que la decisión de emplear un sensor de presión para las mediciones de la cantidad de combustible de los tanques se hizo gracias al aporte de Ing. Daniel Prado al Ing. Ronny Gómez Zelada, el cual recomendó emplear este método debido a que ya había sido utilizado en otros proyectos desarrollados en el ICE con características de medición de volumen de fluidos y había funcionado correctamente.

### **4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución**

Con base en la información recopilada mediante la investigación, sugerencia de profesionales del ICE, estudio de los procesos y características técnicas de los equipos de la estación se hizo una investigación con la herramienta Internet para definir los componentes necesarios que complementarían la solución, para ello se tomó en cuenta que las mediciones analógicas tanto de tensión como de corriente sería comunicadas al dispositivo PLC a través de un transductor que convirtiera éstos parámetros en una escala de 4-20mA, ya que al analizar los módulos de ampliación del mismo, se tomó la decisión de emplear la tarjeta I/O TWDAMI8HT, la cual opera con un rango de 0-10V o de 4-20mA, y se optó por las mediciones de corriente debido a que en ambientes industriales se prefieren a causa de que son menos influenciados por el ruido eléctrico. En cuanto a las mediciones digitales, se decidió que éstas debían operar con 0 y 24V, los cuales son valores utilizados en la industria y además permitirían realizar una conexión directa al PLC sin tener que utilizar componentes intermediarios.

En cuanto a las características de alimentación de los equipos, se siguió con el estándar industrial y se procuró que todos estuviesen diseñados para utilizar una tensión de 24V DC, ya que para garantizar la operabilidad del sistema a diseñar aun ante cortes eléctricos comerciales, éste debía tomar la alimentación eléctrica de los bancos de baterías presentes en la estación, los cuales brindan una tensión DC de -48V, por lo que además se propuso la utilización de un convertidor DC-DC con una relación de 2 a 1, con el propósito de bajar esta tensión a +24V.

Para los accionamientos de la planta y proceso de transferencia de energía se tomó la decisión de utilizar relés, los cuales serían incluidos como modificación al sistema contenido en el módulo de la transferencia de energía, de forma tal que se pudiese cumplir con el objetivo de encender y apagar la planta de forma local y remota, así como de poder ejecutar un proceso de arranque de planta y transferencia de la misma manera. Esta reingeniería se hizo con base al estudio de los diagramas eléctricos del sistema automático con PLC TSX37 y con la explicación de funcionamiento hecha por Deybi Guzmán Arias.

Finalmente la lista de los componentes que se utilizarían se puede apreciar en la tabla 4.3.1. Su interconexión que es la síntesis de la solución se puede ver en figura 5.2.1 del capítulo siguiente.

**Tabla 4.3.1** Lista de componentes a emplear en la implementación del sistema

Dispositivo	Modelo	Cantidad	Descripción
PLC	TWDLCDE40DRF	1	Base compacta, 24VCD, 24 entradas digitales de 24V, 14 salidas de relé de 2A y dos salidas de transistor de 1A a 24V, puerto ethernet integrado, 7 módulos de expansión
Tarjeta de I/O Analógicas	TWDAMI8HT	1	Tarjeta de 8 entradas analógicas, de 0-10V o 4-20ma, 10 bits
Puerto serie	TWDNAC485T	1	Puerto RS485 para comunicación modbus RTU
Cable Serie	XSDRIN-01	1	Cable de programación para el dispositivo PLC
Analizador de energía	LCA-C	1	Medidor de parámetros eléctricos en sistemas de 3 fases y un neutro
Transformadores de Corriente	Revalco 600/5	1	Tranformador de corriente con relación de transformación 600/5A
Convertidor universal	Slimpack G408-001	4	Convertidor de 0-100V a 4-20mA
Shunts	Revalco 0-1V	2	Resistencia para mediciones de corrientes de 0 – 1000 <sup>a</sup>
Convertidor DC-DC	Astrodyne SC-100	1	Convertidor de 48V a24V
Sensor de presión	681 de Huba Control	2	Sensor sumergible para mediciones de diferencias de presión
Sensor de nivel de agua	Finder 72.01	2	Relé de 24V con dos sondas para mediciones de nivel de agua
Relés	RSB1A160BD	8	Relé de 4 contactos, 2 NC y 2 NO
Cable directo	UTP CAT 5E	2	Conector para el PLC y Servidor a la red

Para la parte del software y por requerimientos del ICE el desarrollo de los programas necesarios debía ser implementado con Java, para la página Web se utilizaría Struts. En cuanto a la comunicación entre el PLC y el servidor, la cual debía ser efectuada por Modbus TCP/IP se manejaron dos opciones de librerías gratuitas jamod y jmodbus, las cuales están disponibles en los sitios de Internet presentados en las referencias bibliográficas [8] y [9] respectivamente. Ambas fueron incluidas en la solución.

Como síntesis se emplearía el PLC como interfaz de comunicación entre los dispositivos periféricos de control y medición, el PLC comunicaría los datos medidos almacenados a un servidor a través del protocolo Modbus TCP/IP. En dicho servidor se programarían los servicios para la comunicación a través del protocolo Modbus, se almacenarían los datos en una base de datos elaborada con MySQL y se presentarían los datos por medio de un servicio http a través de un página web diseñada a la medida. Esta solución se determinó por ser la de más bajo presupuesto, escalable, modular, flexible y de fácil manutención.

#### **4.4 Implementación de la solución**

Para la implementación de la solución fue necesario como primer paso la aprobación de Ing. Julio Stradi Granados y del Ing. Ronny Gómez Zelada de la lista de componentes a utilizar, luego como segundo paso se presentaron a las autoridades del ICE encargadas de la compra de materiales tres cotizaciones hechas a casa comerciales (SIESA, AASA, DITELSA) para la compra de los componentes.

Durante el período de compra se comenzó con los aspectos de programación, la cual se hizo en su totalidad con el IDE Netbeans 6.7.1, se realizaron las pruebas de la librería jmodbus y la programación de las rutinas necesarias para su funcionamiento, esto con el fin de dotar al servidor de servicios de la capacidad de comunicación con el PLC, ya que este era un pilar fundamental de la implementación. Luego de que se tuvo la certeza del funcionamiento de dicha



librería, así como de que las rutinas programadas se acoplaban correctamente, se procedió con la pruebas de comunicación con el PLC, para ello se hizo un pequeño programa que imprimiera en pantalla los valores leídos de este dispositivo, el cual previamente fue cargado con datos manualmente. Dichas pruebas resultaron exitosas. La comunicación se hizo a través del puerto 502.

Es importante mencionar acá que en principio el PLC se pretendía programar y manejar con el software TwidoSoft, sin embargo esta opción se descartó debido a que se encontró un mejor software para los propósitos del proyecto, el software TwidoSuite, el cual permite efectuar simulaciones de funcionamiento al PLC, gestionar tablas de animación para ver la variación de los registros, entre otras ventajas. Con este software se inició con la programación de la secuencias de instrucciones que gobernarían el funcionamiento del PLC, dichas rutinas se probaron y depuraron mediante la herramienta de simulación.

Luego se procedió con el diseño de la base de datos, para ello se construyeron las tablas de forma relacional y de manera que los datos leídos desde el PLC pudiesen ser clasificados y almacenados de forma sencilla para que las consultas de los mismo fuesen fáciles de realizar. Seguidamente se programó la base de datos en MySQL y con la utilización del software MySQL Query Browser se hicieron las pruebas de inserción, consulta y actualización de datos.

Posteriormente se acopló de forma dinámica mediante la programación en Java, la lectura de datos desde el PLC por medio de las rutinas hechas con jmodbus con las rutinas programadas para la inserción de estos datos en la base de datos. Las pruebas de inserción se hicieron con otra prueba, es decir, se consultaron los datos insertados mediante rutinas programadas de consulta, y los datos fueron verificados mediante un programa que se encargaba de imprimir la información consultada en la consola de Netbeans. Ya con esta interacción de ambos servicios, la cual se hacía a través del puerto 3306, se finalizó con la programación del modelo de tres capas seguido para el manejo de la base de datos.

Llegados los componentes se hicieron las pruebas eléctricas necesarias a cada uno para verificar su correcta funcionalidad, luego de este procedimiento los componentes fueron conectados al PLC y se hicieron pruebas de medición, resolución y operación a través de circuitos sencillos hechos en protoboard. De esta forma se comprobó que la selección de componentes fue acertada.

Finalmente se hizo el diseño completo de la página web y se programó cada una de las funcionalidades que desde la misma se podían realizar, es decir las diferentes opciones de control y monitoreo. Para el monitoreo se hizo necesario la interacción de la página web con la base de datos, esto fue posible mediante la interconexión del servidor http y dicha base a través del puerto 3306 usando las rutinas de manejo de base de datos previamente programadas.

Acá se hizo una variación al diseño, ya que al inicio se pretendía enviar las señales de control para encender y apagar la planta o para iniciar y finalizar un proceso de arranque de planta y transferencia desde el servidor http y mediante el puerto 1001 comunicar estos comandos al servicio de comunicación Modbus TCP/IP para que este las transfiriera finalmente al PLC, sin embargo la programación era mayormente complicada y se decidió crear otro servicio de comunicación Modbus TCP/IP en el programa de manejo de la página web, por lo que las señales de control para estos procesos ahora sería enviadas directamente al PLC a través del puerto 502.

El último paso de la implementación fue la comunicación del analizador de energía LCA-C con el PLC por medio del protocolo Modbus RTU, el cual se hizo mediante la conexión de dos vías a los puertos RS485 de ambos dispositivos, para esta comunicación se utilizó la instrucción EXCH2 del PLC y los datos fueron capturados en los registros designados. La verificación de los datos transferidos se hizo mediante las tablas de animación, con mediciones directas a la línea de tensión y a través de las lecturas de la pantalla LCD del dispositivo. Estos tres métodos de verificación arrojaron resultados positivos, ya que los valores eran

prácticamente los mismos. Las mediciones de corriente se efectuaron con el transformador revalco de 600/5A, el cual fue adquirido para pruebas, sin embargo en el diseño final se utilizaron los transformadores siemens modelo 4NF04 31-2JJ20 de 100/5A, disponibles en la estación Bribri.

Sin embargo a la hora de presentar estos datos en la página web, la integridad de la información no era constante. Este acontecimiento impulso a un análisis del punto de falla, el cual se detectó en el servidor de comunicación Modbus TCP/IP para la consulta de datos al PLC, por tanto esto requirió de otro cambio en la solución, se quitó la librería jmodbus y se sustituyó por la librería jamod y el problema fue resuelto.

Para la presentación del proyecto como un todo funcional éste se instaló en el entorno de red del edificio de la casa de Transporte (DTOM-Transporte) y se expuso a los encargados del proyecto, el Ing. Julio Stradi Granados, el Ing. Oscar Cárdenas Sequeira y el Ing. Ronny Gómez Zelada. Además se implementó un Manual de Usuario para el correcto uso del sistema, manual que puede ser consultado en el Anexo A.2. También el proyecto fue inscrito en un concurso interno del ICE de ideas innovadoras donde obtuvo el segundo lugar. Y en convenio con el personal del ICE se acordó que a finales del mes de enero del 2010 el proyecto se presentaría en el entorno real para el que fue diseñado, es decir situado en las instalaciones de la estación Bribri donde sería presentado y expuesto, y se capacitaría a los usuarios del mismo.

#### **4.5 Reevaluación y rediseño**

Desde un punto de vista escalable, el proyecto podría ser aplicado a otros sistemas de emergencia similares, para ello habría que realizar modificaciones a la base de datos, ya que se tendría que agregar una tabla que permita identificar que las mediciones pertenecen a una u otra estación, es decir, se tendrían que etiquetar los PLCs disponibles a nivel de software para la multiplexación de los datos, para esto también se tendría que agregar una vista más a la página web

que permita elegir la estación que el usuario desea administrar y con esto hacer posible que el sistema sea capaz de realizar las conexiones a nivel de IP al PLC correcto.

A las rutinas de inserción y consulta habría que agregarles éste nuevo parámetro identificador de PLC o estación, de forma tal que los datos puedan ser correctamente presentados al momento del monitoreo de una estación específica.

En el caso de la lectura de los datos si se quisiera medir más parámetros o agregar nuevos módulo por PLC, tendría que tomarse en cuenta que la librería de jamod, por ser código libre y gratuito tiene una restricción de uso, es decir, permite hacer únicamente lecturas de 180 registros y direccionados de 0 a 179, por tanto si el número de registros sobrepasase este número se tendría que sustituir ésta librería por otra posiblemente propietaria y con licencia. Actualmente el sistema utiliza 80 registros de los 180 disponibles para leer por jamod y de los 3000 que posee el PLC. Esta limitación no debe mal interpretarse y sumar la totalidad de los registros que conformarían la red de PLCs, la misma aplica por PLC individualmente, ya que los datos serían multiplexados y para el módulo de lectura de datos a través del protocolo Modbus TCP/IP esto sería transparente y si las lecturas se hicieran desde por ejemplo 100 PLCs, para éste módulo sólo se estaría leyendo uno.

En cuanto al hardware disponible actualmente, desde la perspectiva del PLC éste está saturado en cuanto a las entradas digitales, ya que se utilizan 23 de 24 disponibles, de las entradas analógicas que posee la tarjeta TWDAMI8HT se están utilizando 6 de 8. Sin embargo la ventaja de este PLC es que se le pueden adaptar hasta 7 módulos de expansión más.

## **Capítulo 5: Descripción detallada de la solución**

En este capítulo se presenta de forma clara y específica cada uno de los pasos seguidos para el diseño y la implementación del proyecto de automatización del sistema de emergencia de la estación Bribri. Para esto se tomaron en cuenta los requerimientos por parte del ICE presentados en el capítulo 1, sección 1.2. A partir de estos parámetros se comenzó con el estudio y evaluación de las posibles soluciones, de forma tal que el sistema a desarrollar fuese de bajo costo, escalable, modular y con una estructura sólida, abierta a modificaciones y de fácil mantenimiento. Esto sin perder la idea de proveer un sistema amigable con el usuario final.

### **5.1 Análisis de soluciones y selección final**

Como se mencionó anteriormente, un requisito de la implementación era utilizar como herramienta el PLC TWDLCDE40DRF de Schneider Electric, por lo que después de estudiar la hoja de datos de este dispositivo<sup>19</sup>, se definió que éste constituiría la interfaz de comunicación entre los dispositivos periféricos empleados para las mediciones y adquisición de datos, así como la unidad encargada de enviar los comandos de control para la ejecución de un proceso específico, como por ejemplo el encendido y apagado de la planta.

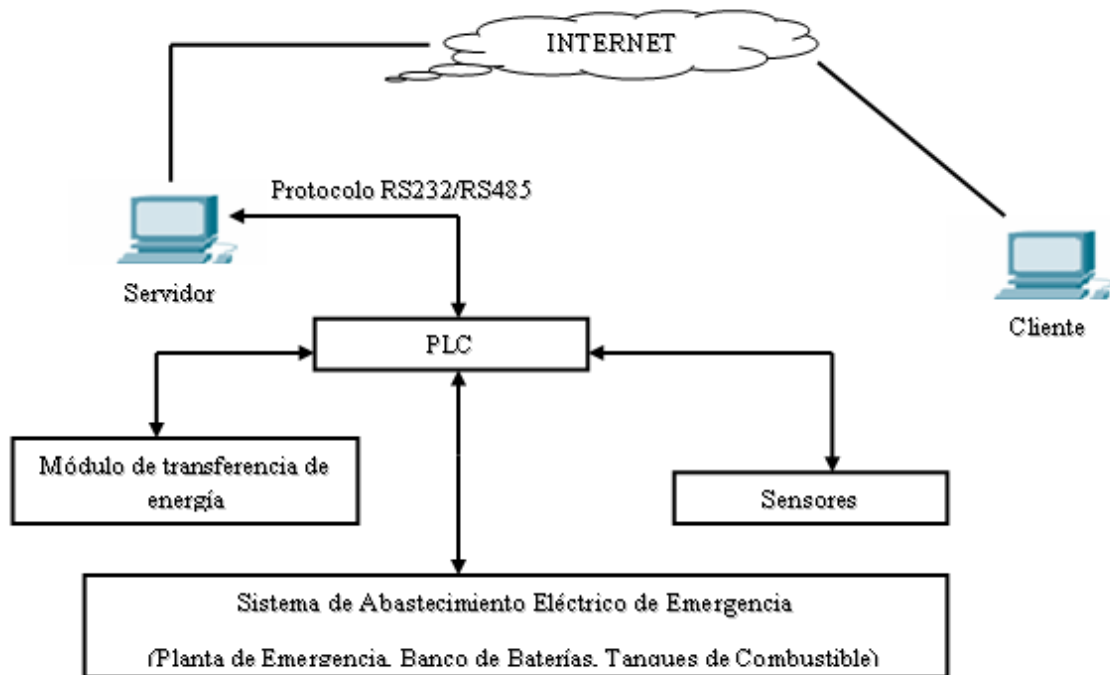
A partir de este momento nacieron una serie de preguntas: ¿cómo y dónde realizar el procesamiento de los datos?, ¿cómo comunicar la información almacenada en los registros del PLC al computador remoto?, ¿son suficientes los 3000 registros que posee el PLC para llevar un registro histórico de los datos?, ¿cómo presentar los datos en una página web?, ¿cómo comunicar un comando de control que ejecute un proceso a nivel de hardware desde la página web?. Con estas interrogantes en mente se procedió a evaluar las posibilidades existentes para dar respuesta a cada una de ellas.

---

<sup>19</sup> Ver Anexo B.1.

Después de un exhaustivo análisis se pensó en tres posibles soluciones:

1. Realizar el procesamiento de datos en el mismo PLC, para luego comunicar esos datos ya procesados a través del puerto serie a la PC, almacenarlos y una vez en la PC cargar la información desde ahí a la página web. En la figura 5.1.1 se muestra un esquema de primer nivel de esta solución.



**Figura 5.1.1** Diagrama de bloques de primer nivel correspondiente a la solución con la unidad central de proceso en el PLC.

Sin embargo esta opción se descartó por dos razones, la primera debido a que el procesamiento de los datos requería de validación de la información, es decir, comunicar únicamente los datos considerados significativos, luego los datos había que convertirlos a formatos legibles para que llegaran a la PC listos para ser presentados, los comandos de control para iniciar un proceso debían de ser interpretados y verificados para su ejecución, por lo que la forma de programación del PLC no permitía la flexibilidad requerida para el nivel de complejidad de este tipo de procesamiento, además de que la subdivisión en módulos deseada no era posible alcanzarla.

La segunda razón fue que debido a que la comunicación entre el PLC y la PC que haría la función de servidor se llevaría a cabo por medio del puerto serie necesariamente se requería de un computador dedicado en la estación, es decir, no daba la posibilidad de que el servidor se ubicase geográficamente en cualquier parte del mundo.

2. La segunda opción evaluada fue la de utilizar un sistema SCADA compatible con el PLC, esto permitiría que el programa se encargara del procesamiento de los datos, de la comunicación entre el PLC y la PC donde se instalara el programa, del almacenamiento de información histórica, entre otras funciones. Dentro de las opciones se consideró el SCADA InTouch<sup>®</sup> de Wonderware<sup>®</sup>. Esta opción era muy atractiva ya que por lo general las compañías dedicadas a la automatización emplean dentro de sus diseños este tipo de tecnología. Sin embargo la opción se descartó debido a que al tratarse de programas completos, para la utilización de los mismos se requiere comprar la licencia, las cuales tienen un valor económico muy elevado, lo cual generaba un precipitado aumento en los costos del proyecto.
3. Finalmente, se llegó a la escogencia de la solución más acertada. El procesamiento de datos se realizaría en el PC servidor, los datos se comunicarían de manera bidireccional entre el PLC y el servidor haciendo uso del protocolo industrial Modbus TCP/IP, los datos históricos se almacenarían en el mismo PC servidor, una vez los datos almacenados ahí, estos podrían ser accedidos y presentados por medio de la página web a través de un servicio http.

Los comandos de control serían interpretados por el mismo servidor y comunicados al PLC de manera transparente, es decir, listos para ser ejecutados. Con esta solución, en su mayor parte programada, se cumpliría con las características de bajo costo, escalabilidad, modularidad, de estructura sólida y abierta a modificaciones y de fácil manutención y por supuesto

amigable con el usuario final ya que sería una solución desarrollada totalmente “a la medida”.

## 5.2 Descripción del hardware

Para la construcción del circuito se emplearon una serie de equipos seleccionados cuidadosamente según se requería y tomando como referencia el diagrama presentado en la figura 5.2.1. En este diagrama se muestra un convertidor DC-DC<sup>20</sup>, el cual fue necesario debido a que se utilizarían los mismos bancos de baterías ubicados en la estación Bribri para suministrar la alimentación eléctrica al sistema desarrollado. Como los equipos trabajan con el estándar industrial de 24V CD, y al brindar los bancos de baterías una tensión fija de 48V fue necesario bajar esta tensión a 24V CD, lo cual se logró con este convertidor de relación 2 a 1. Se hizo uso de la tensión de los bancos de baterías para garantizar la operabilidad del sistema ante la ausencia de corriente eléctrica comercial.

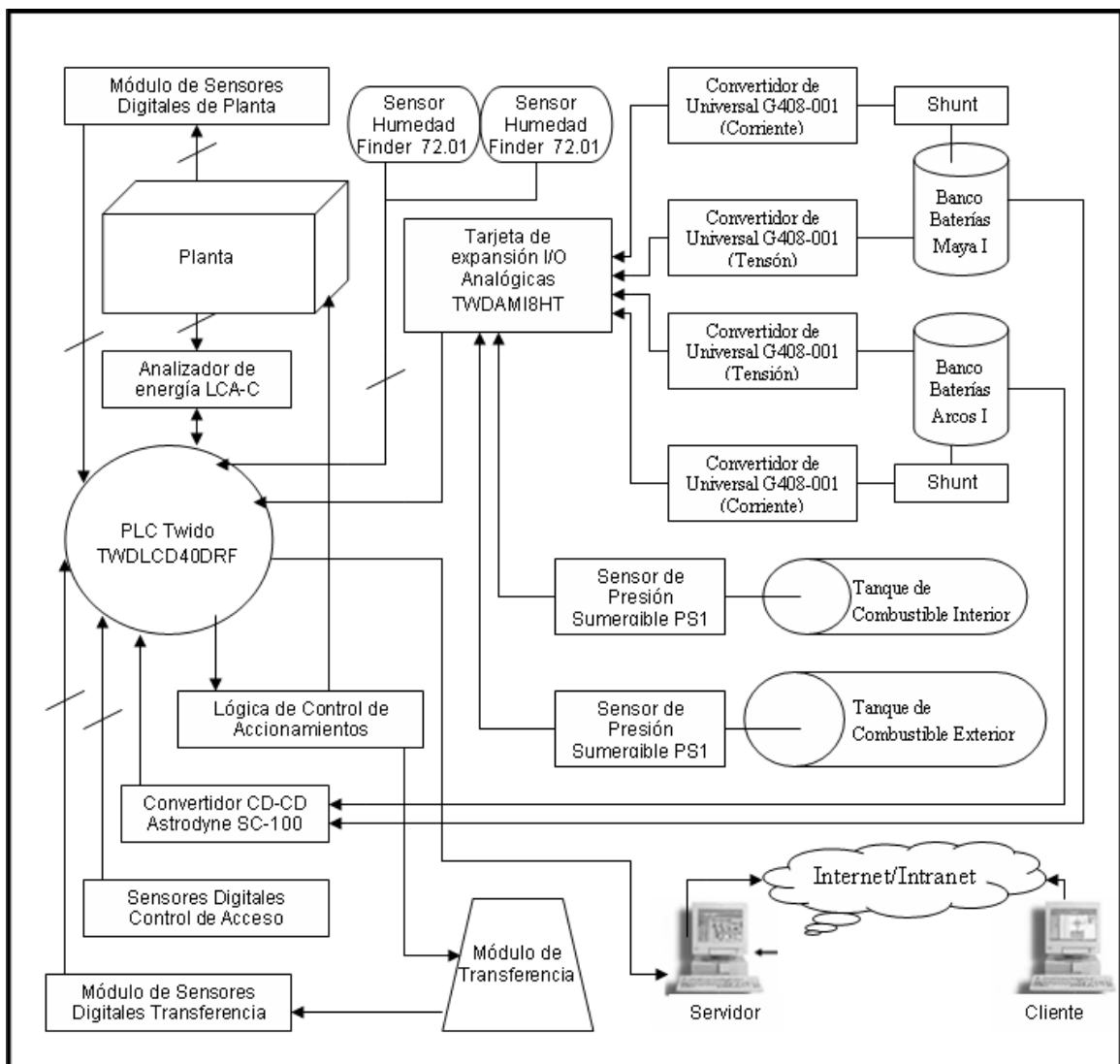
Una vez resuelto el problema de alimentación, se procedió con la clasificación de las señales que se requerían medir, las cuales principalmente eran de dos tipos: analógicas y digitales. Las señales digitales como es sabido se representan por medio de dos dígitos 1 y 0, donde para este caso un 1 es representado con 24V y un 0 con 0V. Estas señales son conectadas directamente a cualquiera de las 24 entradas digitales del PLC para su respectiva medición. En cuanto a las señales analógicas, fue necesario emplear una tarjeta de expansión para el PLC, ya que éste por sí mismo carece de entradas o salidas analógicas. La tarjeta que se usó fue la TWDAMI8HT para I/O analógicas, esta tarjeta al igual que el PLC son de la línea Twido de Schneider Electric®.

---

<sup>20</sup> Convertidor de corriente directa a corriente directa, por ello las siglas CD-CD, sin embargo es muy común referirse a estos dispositivos como convertidores DC-DC por su descripción en inglés Direct Current – Direct Current Converter.



Dicha tarjeta opera con un rango a la entrada de 0-10V o de 4-20mA, el cual posteriormente es convertido a un valor digital de 10 bits. En este diseño se utilizó el rango de 4-20mA ya que es muy común utilizar estos valores como un estándar industrial debido a que las mediciones de corriente son menos propensas a ser influenciadas por ruido eléctrico. De esta forma una medición de 20mA (máximo valor de la escala) será leída desde el PLC como 1023 mientras que 4mA (mínimo valor de la escala) será interpretado como 0.



**Figura 5.2.1** Diagrama específico de bloques de la estructura e interconexión del hardware que constituye el sistema implementado.

Dentro de las mediciones analógicas tenemos 6 diferentes: corriente y tensión del banco de baterías Maya I, corriente y tensión del banco de baterías Arcos I, y nivel de presión (utilizada para el cálculo indirecto de la cantidad de combustible contenido en los tanques de combustible) de ambos sensores sumergidos en el tanque interior y exterior. Para el caso de las mediciones de presión, la salida de los dos sensores es conectada de forma directa a la tarjeta TWDAMI8HT, sin embargo para las mediciones de corriente y tensión de los bancos de baterías se requirió del uso de convertidores universales slimpak G408-001, los cuales toman los valores de tensión de los bancos de baterías y los convierten a una escala de 4-20mA para poder enviar esas señales a la tarjeta de entradas analógicas. Para las mediciones de corriente se hizo necesario además de los convertidores universales emplear shunt, los cuales son resistencias de baja resistividad y que permiten medir corrientes muy altas como por ejemplo 1000A de manera indirecta a través de una relación lineal de tensión.

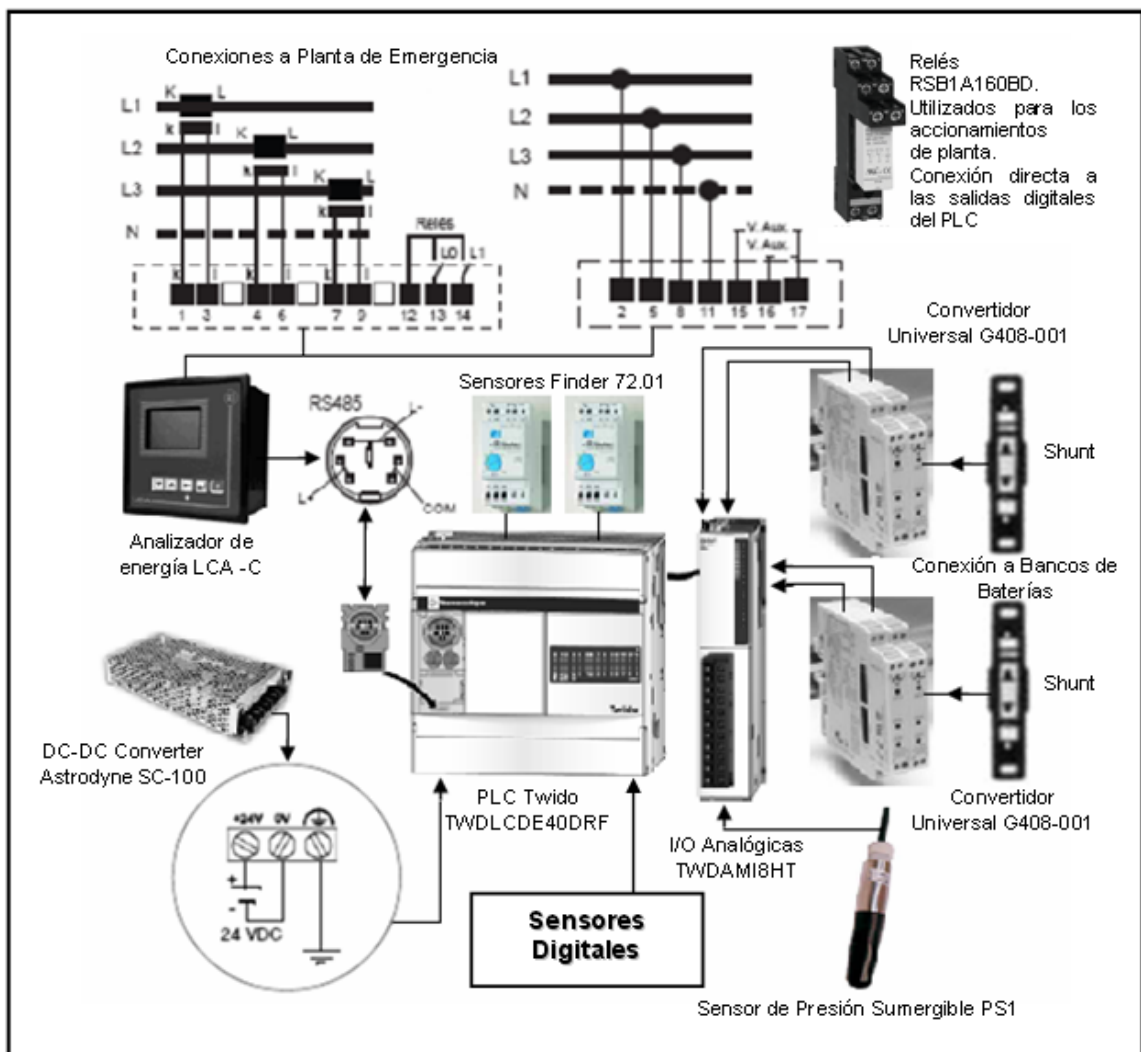
Para las mediciones de humedad, se emplearon las sondas o sensores Finder 72.01, los cuales al entrar en contacto con humedad envían una señal de 24V. En caso de que no exista humedad, éstos tienen una salida constante de 0V. Para el caso del control de acceso, éste se implementó en las 5 principales puertas de la estación. Para ello se emplearon sensores magnéticos, los cuales permiten que al estar la puerta cerrada se tenga una salida de 0V, pero al abrirse la puerta, se induce una tensión de 24V.

En cuanto a la medición de los parámetros eléctricos de la planta, se utilizó el analizador de energía SACI LCA-C, el cual es un dispositivo que permite obtener mediciones de corriente y tensión de fase y de línea, potencia activa, reactiva y aparente total y por fases, frecuencia, factor de potencia, entre otras de manera muy precisa.

En cuanto a los procesos de accionamiento, se construyó una lógica de control haciendo uso de sensores digitales tanto de la planta como de la transferencia de energía, los cuales permiten saber el estado de ambos módulos y determinar en

caso de que se produzca un error la causa del mismo. En cuanto al accionamiento de la planta y puesta en marcha de un proceso de arranque de planta y transferencia se utilizaron relés telemecanique RSB1A160BD.

En la figura 5.2.2 se muestra la conexión física de los dispositivos a los cuales se hizo mención anteriormente. En las siguientes secciones se explica en detalle cada uno de los principales módulos que componen el sistema.



**Figura 5.2.2** Diagrama de conexión física de los equipos empleados en el sistema.

### **5.2.1 Interfaz de comunicación de hardware: PLC Twido TWDLCE40DRF**

El dispositivo PLC utilizado se muestra en la figura 5.2.1.1, éste pertenece a la línea Twido de Schneider Electric®, específicamente se trabaja con el modelo TWDLCE40DRF, el cual se acopla a la perfección a las características del diseño, ya que permite concentrar en él cada una de las variables medidas y cumple con la función de interfaz entre el computador que realiza la función de servidor y los dispositivos periféricos utilizados.

Entre sus características presenta 2 puertos serie, de los cuales 1 se emplea específicamente para su programación y el otro para comunicarse con el analizador de energía LCA-C a través del protocolo Modbus RTU y poder tomar las mediciones correspondientes a los parámetros eléctricos de la planta. El puerto ethernet de 10Mbps/100Mbps se utiliza para comunicarse con el PC servidor y transmitir la información almacenadas en sus registros, los cuales son palabras de 16 bits o memory words (MW), donde se guarda el resultado de cada una de las mediciones. Esta comunicación es bidireccional y se lleva a cabo a través del protocolo Modbus TCP/IP, para lo cual se emplean los códigos 03 para la lectura de grupos de registros y el código 16 para su escritura. Es importante señalar que la lectura de los registros o muestreo se efectúa cada 500ms, lo cual permite manejar la perspectiva de un sistema funcional en tiempo real. La escritura por otro lado, sólo se realiza para comenzar o terminar un proceso, como por ejemplo el encendido o apagado de planta.

Las 24 entradas digitales de 0 a 24V DC, permiten medir la red de sensores de la planta y la transferencia, llevar el control de acceso a través de las 5 puertas de la estación, medir la humedad a través de los dos sensores finder 72.01, además de recibir las señales de control local del encendido y apagado de la planta, de iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía. Permite también recibir la señal que indica al sistema remoto si la planta se encuentra en mantenimiento.

Por su parte, de las 14 salidas de releo se utilizan las necesarias para activar los releos que activan la ejecución de un proceso una vez recibida la señal de control específica. También permite enviar las señales que conforman el protocolo de seguridad antes de dar inicio al proceso, así como de las señales que activan las alarmas según la emergencia.



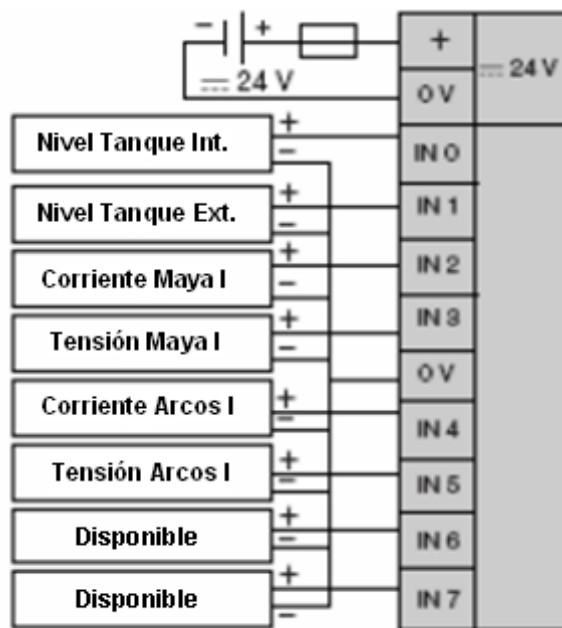
**Figura 5.2.1.1** PLC Twido TWDLCE40DRF.

### **5.2.2 Módulo de expansión de I/O analógicas TWDAMI8HT**

Tal y como se muestra en la figura 5.2.2.1 el módulo de entradas analógicas posee 8 entradas configurables para mediciones de tensión en una escala que varía de 0 a 10V, o mediciones de corriente con una escala que va de 4 a 20mA. De estas 8 entradas, 2 están sin uso y las otras 6 son utilizadas para las mediciones de tensión y corriente de los bancos de baterías que alimentan los equipos con que operan los cables submarinos Maya I y Arcos I respectivamente. Este módulo también mide los niveles de combustible contenidos en los tanques primario y secundario que abastecen la planta de emergencia.

El módulo opera de la siguiente manera, se ha escogido trabajar con señales de corriente de 4 a 20mA debido a que en un ambiente industrial las señales de corriente son menos accesibles a verse perjudicadas por la inducción de ruido eléctrico, lo cual genera que los datos de las mediciones sean confiables y precisos. Estas mediciones de corriente llegan al módulo TWDAMI8HT, donde

haciendo uso de un ADC<sup>21</sup> con resolución de 10bits, se digitaliza la señal. Es decir, la señal se almacena en el módulo en el registro correspondiente a la medición en formato de 10 bits, donde un valor de 20mA será leído como 1023 y un valor de 4mA como 0, estos valores constituyen el máximo y mínimo posible Posteriormente esos registros son transferidos a los registros respectivos del PLC donde son almacenados hasta el siguiente muestreo. Los valores almacenados ya en el PLC son comunicados al servidor para ser luego procesados.



**Figura 5.2.2.1** Diagrama de conexión del módulo de I/O analógicas TWDAMI8HT

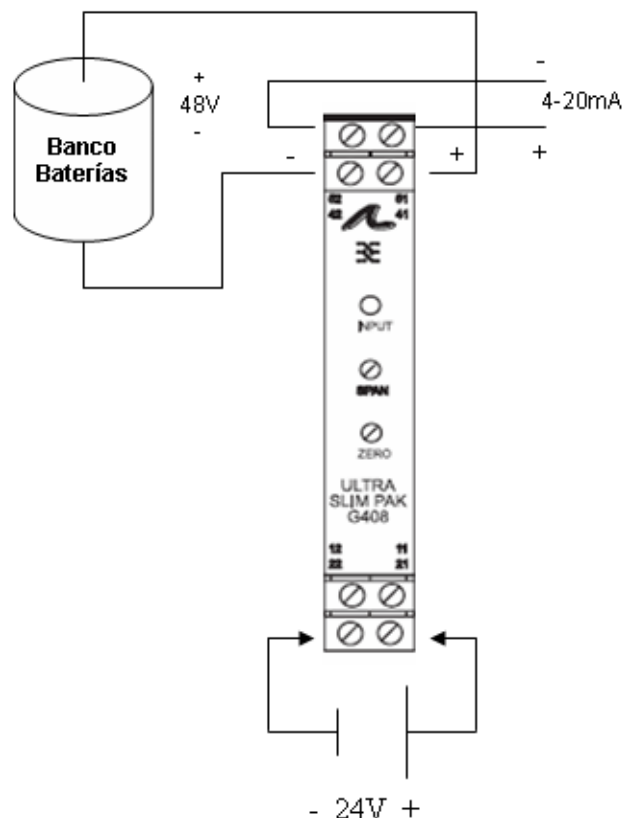
### 5.2.3 Módulo de medición de tensión y corriente en los bancos de baterías

Las mediciones de corriente y tensión de los bancos de baterías se hacen a través de un convertidor universal ultra slimpak G408-001. Este convertidor permite convertir una señal de tensión o corriente a una escala de 4-20mA y de esta forma poder acoplar dicha señal con la tarjeta de entradas analógicas

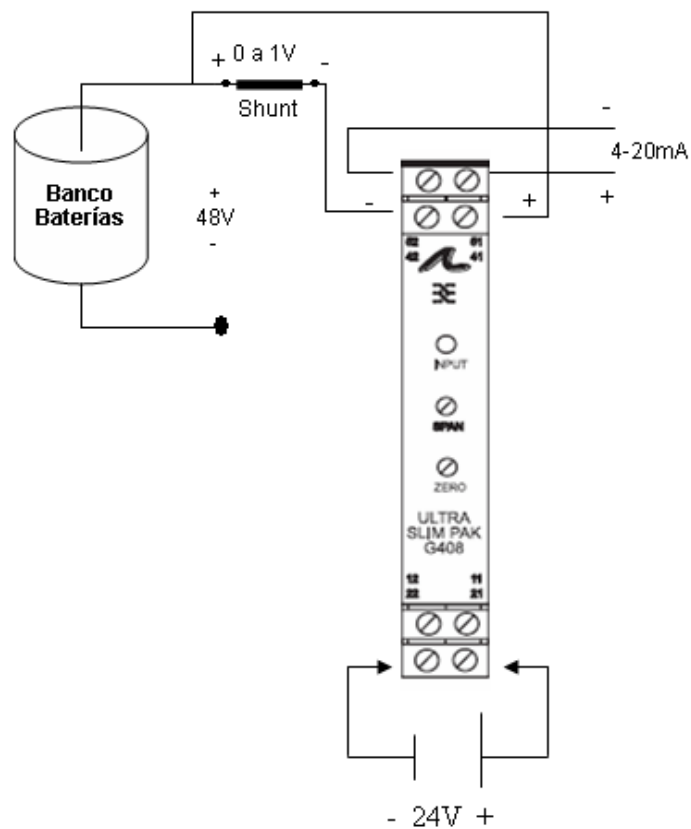
<sup>21</sup> Convertidor de analógico a digital. Las siglas ADC se deben a su significado en inglés Analogic to Digital Converter

TWDAMI8HT. La forma de calibrar este dispositivo de acuerdo a la señal que se quiere convertir se puede ver en la hoja de datos del Anexo B.6.

Las mediciones de tensión se realizan directamente con el convertidor tal y como se observa en la figura 5.2.3.1. Sin embargo las mediciones de corriente requieren de un componente más, éste es el shunt. Al tratarse de corrientes muy elevadas, como por ejemplo 300A o 1000A, se requiere utilizar los dispositivos shunt, los cuales son resistencias con poca resistividad (sus valores de resistencia si sitúan en el orden de mili ohmios, mΩ) que permiten realizar una medición indirecta de la corriente. Así por ejemplo, en la figura 5.2.3.2 se muestra una medición de corriente donde se emplea un shunt de 1000A/1V, es decir, al pasar 1000A por el shunt este brinda una tensión de 1V, tensión que luego es convertida a una escala de 4-20mA por el ultra slimpak G408-001 y acoplada con la tarjeta de entradas analógicas.



**Figura 5.2.3.1** Diagrama de medición de la tensión de los bancos de baterías haciendo uso del convertidor ultra slimpak G408-001.



**Figura 5.2.3.2** Diagrama de medición de la corriente de los bancos de baterías haciendo uso del convertidor ultra slimpak G408-001.

#### 5.2.4 Módulo de medición del nivel de combustible de los tanques

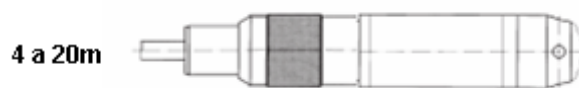
Las mediciones del nivel o cantidad de combustible contenido en los tanques interior y exterior se hicieron de manera indirecta, ya que se emplearon dos sensores de presión sumergibles 681 de Huba Control, uno para cada contenedor, ver figura 5.2.4.1. El sensor se coloca en el fondo del tanque y a través de una sonda de plástico mide la presión atmosférica, la cual posteriormente usa para calcular la diferencia de presiones existente con respecto a la medida en el fondo del taque. Esta diferencia de presiones es convertida de manera proporcional a una señal eléctrica de 4 a 20mA, lo cual permite inyectar esta señal de forma directa a la tarjeta de entradas analógicas TWDAMI8HT.



Una vez obtenido el valor de corriente, éste se utiliza para el cálculo de la altura del combustible contenidos en el tanque a través del principio de Arquímedes por medio de la ecuación 3.1. En esta ecuación  $P$  es la presión en el fondo del contenedor en  $[N/m^2]$ ,  $P_o$  es la presión atmosférica en  $[N/m^2]$ ,  $g$  es la fuerza de gravedad en  $[m/s^2]$ ,  $\rho$  la densidad del fluido en  $[kg/m^3]$  y  $h$  su altura en  $[m]$ .

En la sección 5.3.4.3 se presenta de manera explícita la utilización de esta ecuación en el algoritmo implementado para el cálculo del nivel de combustible a partir de la diferencia de presiones.

Es importante señalar que este sensor fue escogido para ser usado en el desarrollo del proyecto a causa de que el departamento de electromecánica del ICE ya había utilizado estos sensores en diferentes proyectos con un excelente resultado.



**Figura 5.2.4.1** Sensor de presión sumergible 681 de Huba Control.

### **5.2.5 Módulo de medición de los parámetros eléctricos de la planta**

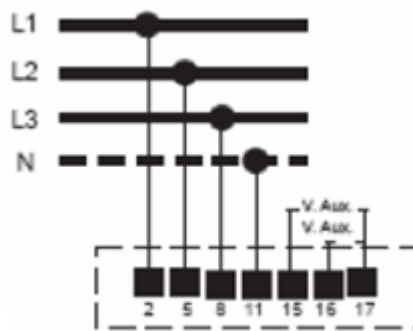
Para obtener las mediciones de los parámetros eléctricos de la planta de emergencia se hizo uso de un analizador de energía modelo LCA-C de SACI como el mostrado en la figura 5.2.5.1, el cual permite obtener mediciones muy precisas ya que su porcentaje de error por medición varía en un rango de 0,3% a 0,5%. Además este equipo es muy completo porque de manera sencilla y confiable permite obtener información con respecto a los valores de corriente y tensión de fase y de línea, potencia activa, reactiva y aparente por fase y total, factor de potencia total y por fases, frecuencia y distorsión armónica THD.



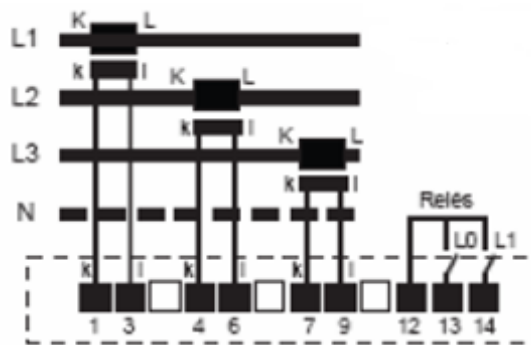
**Figura 5.2.5.1** Analizador de energía LCA-C con puerto de comunicación serie RS485.

Para el enfoque del proyecto las variables medidas son corriente y tensión de las 3 fases de la planta, consumo de potencia activa total, frecuencia y factor de potencia. Para poder realizar estas mediciones, es necesario conectar el equipo de manera correcta a las fases de la planta, ya que este dispositivo recibe las señales de corriente y tensión de las líneas eléctricas con el fin de medir y calcular haciendo uso de su procesador de 16 bits y su ADC de 10 bits, los parámetros principales de red.

Las señales de tensión se obtienen conectando el dispositivo como se ilustra en la figura 5.2.5.2, mientras que las señales de corriente se obtienen a través de la conexión mostrada en la figura 5.2.5.3. Es necesario resaltar que para las mediciones de corriente se necesitan transformadores de corriente con relación  $X/5A$ , para el caso del diseño planteado se utilizan los transformadores de corriente siemens modelo 4NF04 31-2JJ20, los cuales tienen una relación de  $1000/5A$ , su dimensión se escogió de esta manera a causa de que el consumo actual de la estación tomando en cuenta instalaciones y equipos es de aproximadamente 454 amperios.



**Figura 5.2.5.2** Diagrama de conexión del analizador de energía LCA-C para las señales de tensión.



**Figura 5.2.5.3** Diagrama de conexión del analizador de energía LCA-C para las señales de corriente.

Una vez que las mediciones son digitalizadas, éstas se almacenan en los registros correspondientes para cada parámetro, y una vez ahí son leídas por el PLC a través del protocolo Modbus RTU por medio del código 03. La forma de calibración y programación de este equipo se muestra en la tabla 5.2.5.1.

Para el monitoreo local de los parámetros eléctricos de la planta, el dispositivo cuenta con una pantalla LCD donde se muestran cada una de las mediciones posibles de realizar con este equipo.

**Tabla 5.2.5.1** Calibración y configuración del analizador de energía SACI LCA-C

Secuencia	Acción	Descripción del Parámetro	Valor
1	Ingresar contraseña por defecto	PASS	0001
2	Definir valor de tensión primaria en décimas de voltio	U Pr	480
3	Definir valor de corriente primaria en amperios	I Pr	1000
4	Definir valor de la referencia de energía en Wh	EnEr	10000
5	Identidad del Equipo	IdEn	2
6	Velocidad de comunicación	bAud	19200
7	Modo de funcionamiento de los relés	Mode	0
8	Cambiar el valor de la contraseña	PASS	Xxxx

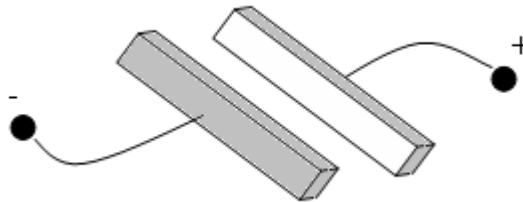
### 5.2.6 Módulo de control de acceso a la estación

Para llevar un control del acceso a la estación Bribrí a través de las 5 principales puertas, se emplearon sensores de contacto magnético con salida de 24V CD instalados ya en la estación, el tipo de sensor se puede observar en la figura 5.2.6.1. Su principio de operación es digital, es decir que al estar determinada puerta cerrada (ambos extremos del dispositivo en contacto), el sensor presenta en su salida una tensión de 0V, por otro lado al abrirse la puerta el contacto magnético se rompe y se induce en la salida del sensor una señal de 24V, lo cual permite constituir la lógica digital equivalente, un 1 se representa con 24V y significa que la puerta se abrió, un cero se representa con 0V y determina que la puerta está cerrada. Estas señales digitales, son conectadas directamente al PLC para su tratamiento.

Las puertas atendidas en el sistema son:

- La puerta de acceso principal a la estación Bribrí.
- La puerta del cuarto de control.

- La puerta del cuarto de rectificadores.
- La puerta de acceso a los equipos.
- La puerta del cuarto de transferencia.

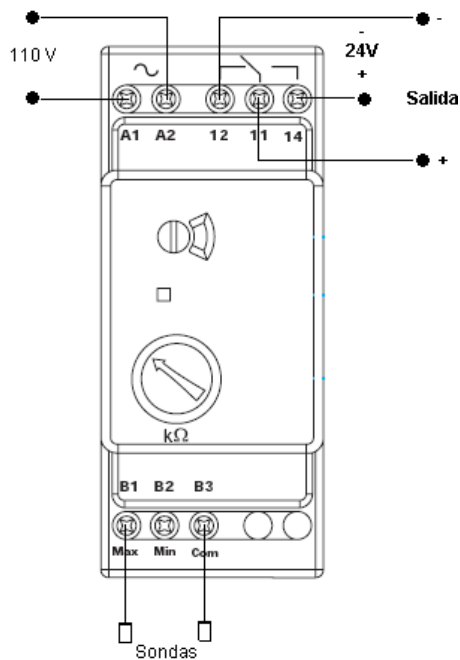


**Figura 5.2.6.1** Sensor magnético de 24V CD utilizado para el control de acceso a través de las 5 puertas principales de la estación.

### 5.2.7 Módulo de medición de humedad

Como prevención ante amenazas de filtraciones graves de agua a los equipos, se implementó la medición de humedad en los puntos determinantes de las instalaciones de la estación. Esto se llevó a cabo haciendo uso de sensores o medidores de nivel de agua Finder 72.01, el cual se muestra en la figura 5.2.7.1. Éstos se alimentan con corriente alterna a una tensión de 110V y operan de forma digital con 24V, es decir, un 1 que indica presencia de humedad se representa a través de una tensión eléctrica de 24V mientras que el cero que manifiesta la ausencia de humedad se traduce a una señal de tensión de 0V.

El principio de operación de estos sensores se base en la fijación de dos sondas al nivel adecuado por sobre encima del suelo o piso del área que se quiere proteger de humedad. Al existir contacto de agua con cualquiera de las dos sondas el sensor se activa abriendo un relé que se encuentra en estado normalmente cerrado, es decir proporcionando una salida constante de 0V, lo cual genera que a la salida se tenga una señal de 24V DC, señal que se conecta en forma directa al PLC para su procesamiento.



**Figura 5.2.7.1** Diagrama de conexión del sensor de humedad Finder 72.01.

### 5.2.8 Red de sensores de planta y transferencia

El proceso actual que controla la activación automática de la planta ante cortes en el fluido eléctrico comercial se encuentra automatizado a través de un PLC de Telemacanique modelo TSX37, dentro de este sistema hay ciertas señales digitales de 0 y 24V que se usan de manera local, como por ejemplo alarmas, señales de control para activar un proceso y la lógica de mando. La planta por otro lado contiene en su diseño señales de alarmas que indican el motivo de la causa en caso de un fallo en su funcionamiento.

Por tanto aprovechando la existencia de estas señales, éstas fueron integradas al diseño del proyecto para manejar la información que ellas brindan no sólo de manera local, sino también de forma remota. En la tabla 5.2.8.1 se muestra una descripción detallada de las señales utilizadas.

**Tabla 5.2.8.1** Señales digitales tomadas de la red de sensores de los equipos principales que manejan los eventos de accionamientos de procesos.

<b>Módulo</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Siglas</b>
<b>Planta de Emergencia</b>	Alarma	Baja presión de aceite	BPA
	Alarma	Alta temperatura de motor	TEM
	Alarma	Exceso de velocidad	VEL
	Alarma	Exceso de arranque	EA
	Alarma	Voltaje generador anormal	VGA
<b>Transferencia de energía</b>	Alarma	Falla en voltaje de emergencia	EV
	Alarma	Falla en frecuencia de emergencia	EF
<b>Lógica De Control</b>	Señal de control	Modo automático en planta de emergencia	AUTO
	Señal de control	Corte de fluido eléctrico comercial	NV
	Señal de control	Indicador de transferencia realizada	T_DONE

Así por ejemplo si el proceso que quiere iniciarse de forma remota es arrancar la planta, las señales mostradas en esta tabla correspondientes al módulo de planta de emergencia son consultadas para garantizar su correcta ejecución. Estas señales resumen los motivos por los cuales la planta no puede operar, es decir, las causas posibles por las cuales pudo no haber arrancado.

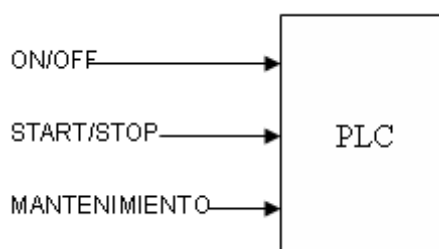
Si se trata de un proceso completo de arranque de planta y transferencia, tanto las señales del módulo de planta de emergencia como del módulo de transferencia de energía deben ser verificadas. Por ejemplo, es posible que la planta fuese arrancada, sin embargo puede que la transferencia no se haya dado a causa de que los niveles de tensión y frecuencia brindados por la planta no

sean los correctos. Para que la transferencia se ejecute la tensión brindada debe estar dentro del rango de 190 a 230V y la frecuencia debe ser de 60Hz.

Las señales de lógica de control también brindan información importante, primero y para que cualquier tipo de proceso funcione el interruptor de la transferencia debe encontrarse en modo automático, de no ser así, el sistema simplemente no opera. La señal NV es la que indica al sistema automatizado con el PLC TSX37 que la planta debe accionarse porque ha ocurrido un corte en el fluido eléctrico comercial. La señal de T\_DONE al activarse indica que la transferencia fue realizada correctamente.

### 5.2.9 Lógica de control del sistema

La lógica de control del sistema a nivel de hardware se compone por las señales mostradas en la figura 5.2.9.1. Estas señales son digitales de manera que su conexión es directa al dispositivo PLC, su operación es a base de pulsos de 24V, es decir, su estado por defecto es de 0V pero al presionar el botón se envía un pulso de 24V que inicia la ejecución del proceso específico. La señal ON/OFF se maneja con un único botón el cual permite encender o apagar la planta dependiendo de su estado actual. La señal Start/Stop al igual que la anterior se maneja con un único botón el cual permite iniciar o terminar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía, según el estado actual.



**Figura 5.2.9.1** Lógica de control local del sistema.



La señal de mantenimiento se maneja con un interruptor, es utilizada exclusivamente para indicar al sistema remoto que la planta está siendo atendida por un técnico, de forma tal que no puede iniciarse la ejecución de un proceso para salvaguardar la integridad del personal que trabaja en la planta. Una vez que la planta ha sido atendida, el interruptor debe regresar a su estado por defecto. Así 0V indica que la planta no está siendo atendida mientras que 24V indica que la planta está en mantenimiento.

### **5.2.9.1 Lógica de accionamientos**

El poder tener un mecanismo de encendido y apagado de la planta de forma local y remota era un requisito primordial. Para lograr este objetivo se hizo un estudio detallado del sistema de automatización que actualmente se encuentra instalado para dar respuesta a cortes en el fluido eléctrico comercial. De esta manera se logró determinar que para capacitar a la solución desarrollada de esta funcionalidad había que agregar una combinación de relés que cumplieran esta tarea, dicha lógica se desarrolló utilizando relés RSB1A160BD de telemecanique, el cual posee dos contactos normalmente abiertos y dos normalmente cerrados.

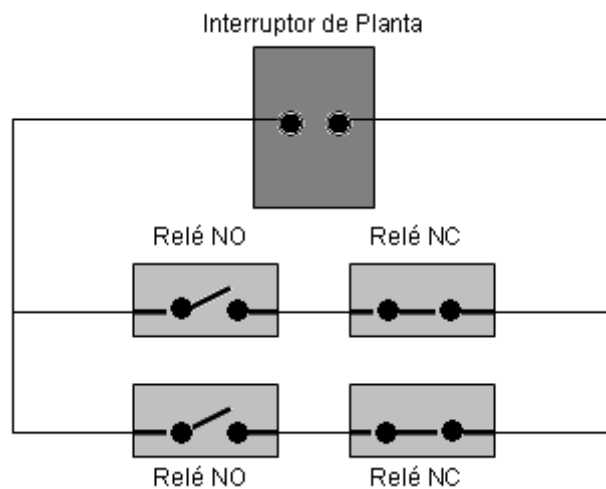
Así, para poder encender y apagar únicamente la planta se diseñó la lógica mostrada en la figura 5.2.9.1.1. Donde para encenderla se requiere de cortocircuitar un interruptor ubicado en el módulo de control del sistema de automatización instalado, ver figura 5.2.9.1.2. Para esto se utilizan un relé normalmente abierto<sup>22</sup>, el cual al recibir la señal de control desde el PLC TWDLCE40DRF de 24V, permite energizar la bobina causando que este cambie de estado abierto a cerrado, lo cual hace que se produzca el cortocircuito requerido y que transcurridos aproximadamente 15 segundos se encienda la planta.

---

<sup>22</sup> Estos relés suelen representarse con las siglas NO por su significado en inglés, normally open.

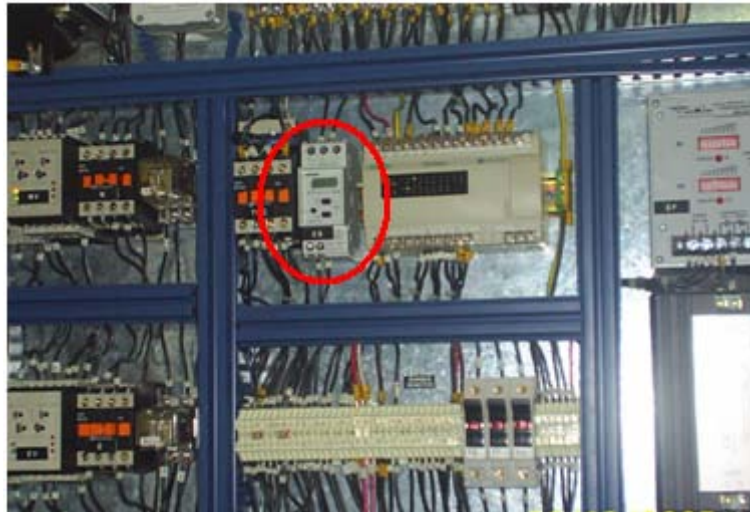
Para apagar la planta se quita la tensión de 24V al relé, esto permite que la bobina quede nuevamente sin energía y que vuelva el relé a su estado por defecto de normalmente abierto. Una vez producida esta acción la planta vence su período de histéresis en aproximadamente 5 minutos y se apaga.

Debido a que el fallo de un relé puede darse tanto en el cambio de abierto a cerrado o viceversa, es posible que el mismo quede permanentemente en estado cerrado o abierto porque los contactos se sueldan. Previendo este hecho los restantes tres relés son redundantes, es decir, en caso de que falle el relé de encendido primario se tiene otro relé NO en paralelo. En caso de que el relé NO o de encendido quede cerrado, se tienen otros dos relés normalmente cerrados NC<sup>23</sup> ubicados de forma correspondiente, de esta forma se garantiza que se pueda apagar la planta, ya que al energizar la bobina respectiva con 24V, pasa a estado abierto lo cual inhabilita el cortocircuito producido por el relé NO que falló.



**Figura 5.2.9.1.1** Lógica de relés utilizados para el encendido y apagado de la planta.

<sup>23</sup> Estos relés suelen representarse con las siglas NC por su significado en inglés, normally close.



**Figura 5.2.9.1.2** Interruptor que controla el encendido y apagado únicamente de la planta de emergencia.

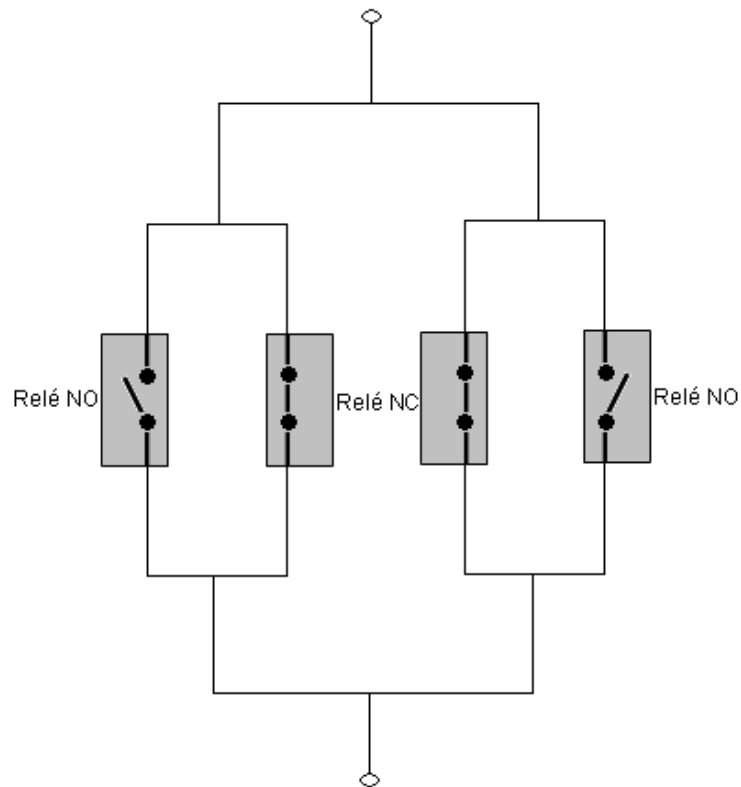
En cuanto a la lógica para manejar la puesta en marcha de un proceso completo de arranque de planta y transferencia se implementó la lógica de relés que se aprecia en la figura 5.2.9.1.3. Esta lógica se conecta directamente al PLC TSX37 que maneja el sistema automatizado de accionamiento de la planta ante cortes de fluido eléctrico comercial, ver figura 5.2.9.1.4. Como se detalla en la figura 5.2.9.1.5, lo que se hace es conectar esta lógica en serie entre la patilla 1 de este PLC y el sensor de cortes de fluido eléctrico NV.

El principio de acción de este proceso es simular cortes en el fluido eléctrico comercial, ya que el relé correspondiente a NV que es del tipo normalmente cerrado, controla el inicio o fin del arranque de planta y transferencia, ya que al detectar la ausencia de electricidad se abre y entra en operación la planta y se realiza la transferencia de energía.

En el caso del proyecto en desarrollo, se imitó este principio de operación para la puesta en marcha de este proceso de manera local y remota. Ya que al ser energizado con 24V el relé de encendido primario de la lógica diseñada, que es del tipo NC, éste se abre e inicia la ejecución, es decir, transcurridos 15 segundos se enciende la planta, y 45 segundos después se realiza la transferencia de energía.

Para terminar el proceso se quita la tensión de 24V al relé en cuestión, esto produce que el mismo vuelva a su estado por defecto de normalmente cerrado. Después de un período aproximado de 45 segundos sale la transferencia y 5 minutos más tarde se apaga la planta.

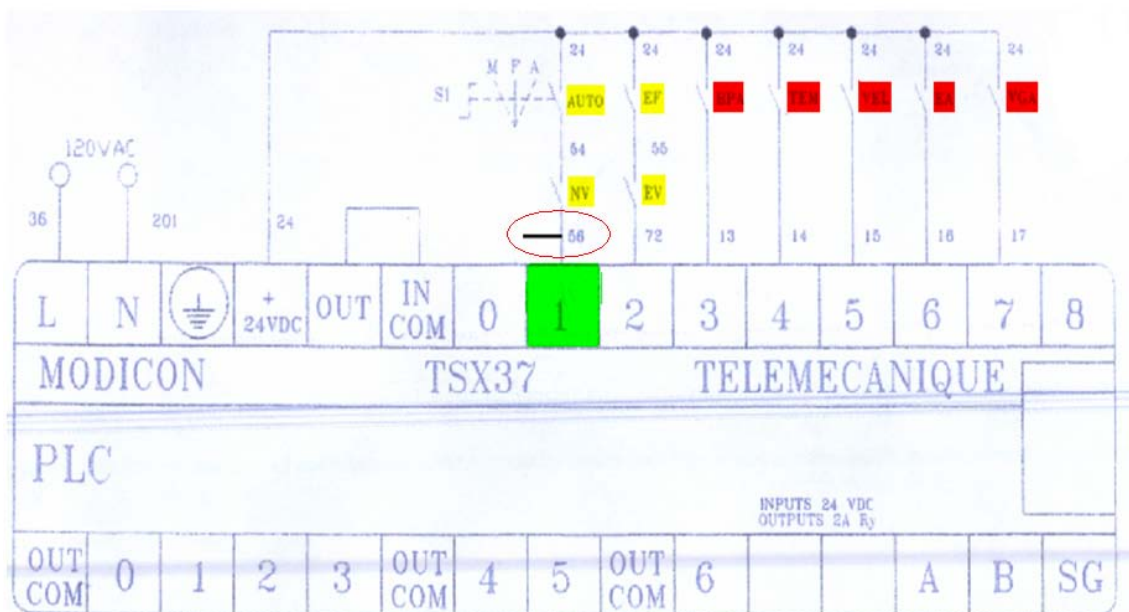
Los restantes tres relés presentados en la figura 5.2.9.1.3 son redundantes y operan de manera similar a lo explicado anteriormente para el proceso de accionamiento de la planta de emergencia.



**Figura 5.2.9.1.3** Lógica de relés utilizados para iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía.



**Figura 5.2.9.1.4** Ubicación de la lógica de relés utilizados para iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía.



**Figura 5.2.9.1.5** Detalle de la ubicación de la lógica de relés utilizados para iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía.



RSB2A080BD  
+ RSZE1S48M

**Figura 5.2.9.1.6** Relé RSB1A160BD de telemecanique utilizado para el desarrollo de los dos tipos de lógica de accionamiento.

### 5.2.9.2 Sistema de alarmas

La gestión de alarmas a nivel de hardware se maneja de manera modular, es decir, se tienen cinco diferentes alarmas que corresponde a un evento producido en:

- La planta de emergencia.
- El módulo de transferencia de energía.
- Los bancos de baterías.
- Los tanques de combustible.
- Los sensores de humedad.

La causa específica de la alarma se encuentra en la página web.

Las alarmas son del tipo sonoro y lumínico, es decir, se emplean buzers<sup>24</sup> y LED's<sup>25</sup> para indicar la respectiva emergencia. Tanto la luz como el sonido son producidos de manera intermitente a causa de que estos componentes son alimentados con una señal PWM<sup>26</sup> con un ciclo de trabajo del 50%, el período de esta señal es de 2 segundos.

### **5.2.10 Diseño de la red de comunicación**

Para operar el sistema es necesario integrarlo a la red institucional del ICE, por ello en la figura 5.2.10.1 se muestra la idea de la integración que tiene que realizarse, es decir, tanto el PLC como la PC servidor deben conectarse a la red, para lo cual se necesita de un switch y un router para el enrutamiento o intercambio de paquetes. Es importante mencionar que esta necesidad fue solventada haciendo uso de los equipos de red que se encuentran en las instalaciones de la estación.

Con este propósito se debe entonces asignar dos direcciones IP<sup>27</sup> pertenecientes a la subred en la cual se instalará el sistema. Por tratarse de una red privada la dirección local para el PLC fue asignada a 10.10.10.2 mientras que al servidor se le asignó la dirección 10.10.10.3. Ahora bien, como el sistema debía poder ser accedido desde cualquier punto de la red institucional sus direcciones globales se establecieron a 10.149.24.80 para el PLC y a 10.149.24.81 para el servidor.

---

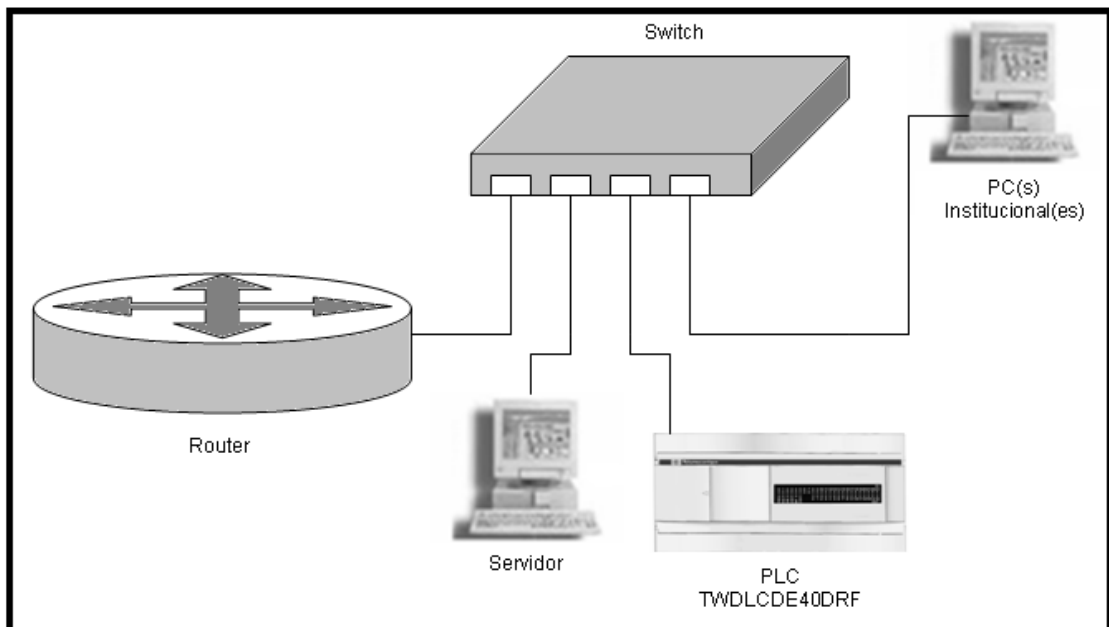
<sup>24</sup> Dispositivo sonoro que opera con corriente directa.

<sup>25</sup> Son un tipo de diodo que emite luz al polarizarse con corriente directa, sus siglas se deben a su significado en inglés Light Emitting Diode.

<sup>26</sup> Modulación por ancho de pulso, sus siglas se derivan de su significado en inglés Pulse Modulation Width.

<sup>27</sup> Identificador único que opera en la capa 3 del modelo OSI y sirve para poder comunicarse en redes Ethernet.

Este proceso de traducir una dirección IP a otra en el ambiente de redes se conoce como NAT<sup>28</sup>, este proceso se configura en el router, ver referencia bibliográfica [2].



**Figura 5.2.10.1** Configuración de la red de comunicación del sistema.

### 5.3 Descripción del software

El software del sistema desarrollado es una parte muy importante del proyecto, ya que a través del él es posible realizar el monitoreo y el control del sistema de emergencia de la estación terminal Bribrí de forma remota y completa, gracias a que todas las funciones diseñadas e implementadas en la solución fueron concentradas en una página web, que puede ser accedida desde cualquier lugar del mundo a través de una PC con acceso a Internet o desde la red interna del ICE.

Para comenzar es importante señalar que se partió desde un esquema como el mostrado en la figura 5.3.1, ya que al tomar la decisión de realizar todo lo referente al procesamiento de datos, su almacenamiento y la carga de éstos en la

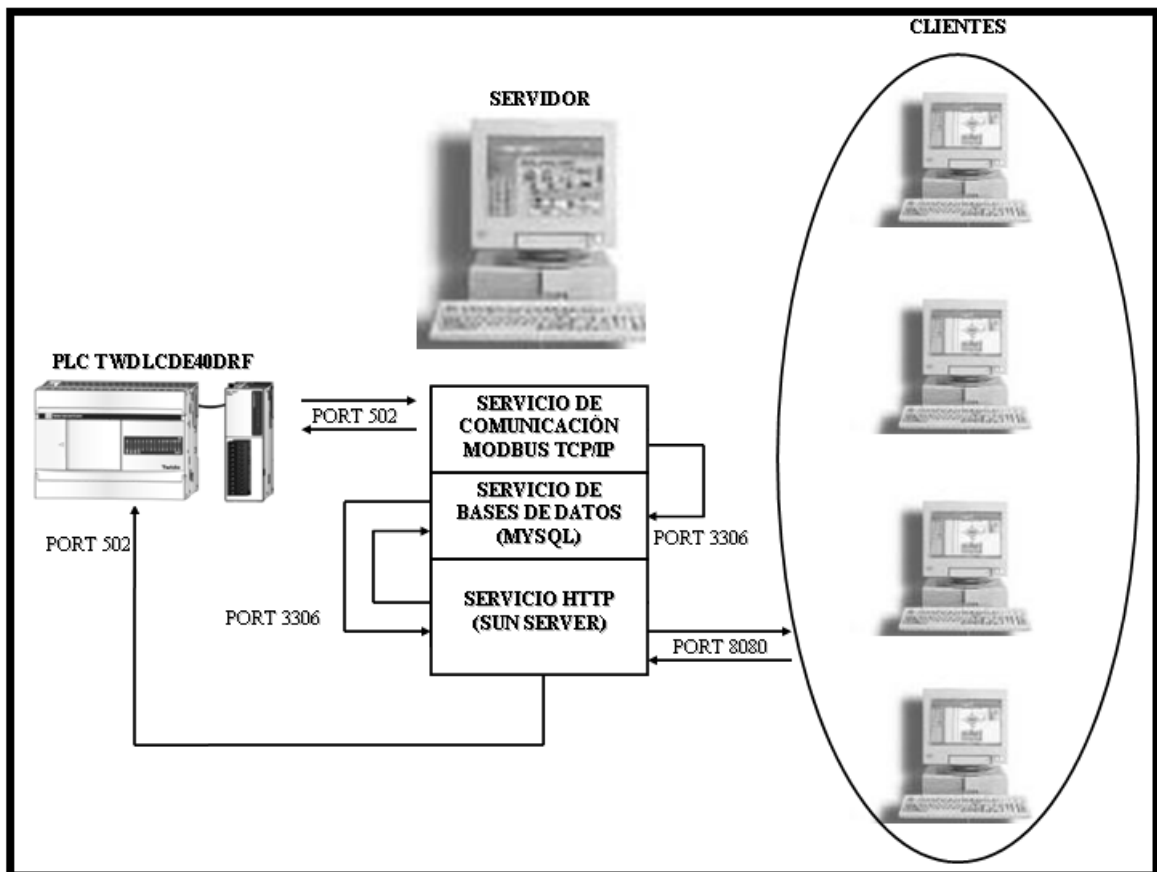
---

<sup>28</sup> Las siglas NAT se deben a su significado en inglés Network Address Translation.



página web desde el servidor planteado en el diseño de la solución, era necesario definir claramente los servicios que este computador iba a brindar de manera que se pudiese cumplir con la ejecución de estas funciones.

Por tanto, en este computador se programó en primera instancia un servicio dedicado a atender al PLC, al cual se nombró como servidor de comunicación Modbus TCP/IP, luego para el almacenamiento y consulta de datos se programó una base de datos, y por último se programó la página web para ser mostrada por medio del servidor http, el cual atiende las peticiones de los clientes para poder acceder al sistema.



**Figura 5.3.1** Diagrama que muestra los servicios que brinda la computadora que ejecuta la función de servidor, así como su interrelación

La programación se llevó a cabo haciendo uso del IDE Netbeans 6.7.1, y se utilizó el lenguaje JAVA. La página web se programó en lenguaje Struts. El servicio de

comunicación Modbus TCP/IP se hizo con el uso de las librerías públicas jamod y jmodbus (Ver referencias bibliográficas [8] y [9]). Por su parte el servicio de base de datos se hizo con MySQL y el servicio para atender las peticiones http de los clientes se ejecuta con Glassfish.

Estos servicios se relacionan entre sí como se muestra en la figura 5.3.1. En las siguientes secciones se explica en detalle la manera en que esta interrelación se lleva a cabo.

### **5.3.1 Programación del PLC TWDL CDE40DRF**

Para el desarrollo del programa que maneja el funcionamiento del PLC se utilizó el software TwidoSuite. Las rutinas fueron programadas haciendo uso del lenguaje Ladder Logic o lenguaje de escalera y el lenguaje de lista.

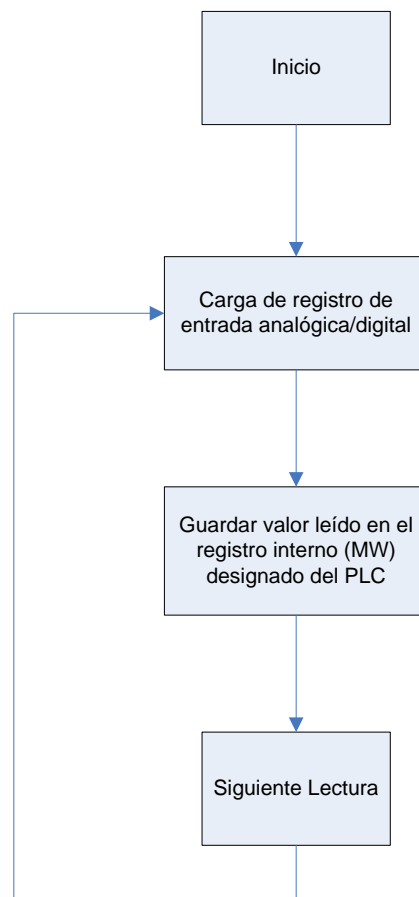
Al utilizarse el PLC como interfaz entre los dispositivos de hardware y el servidor, sus funciones pueden clasificarse de la siguiente forma: rutina de lectura y almacenamiento de datos, rutina de encendido de planta y puesta en marcha de un proceso completo de arranque de planta y transferencia, así como la rutina para terminar estos procesos además de las rutinas de lectura de datos por medio del protocolo RTU y para la gestión de alarmas.

#### **5.3.1.1 Rutina de lectura y almacenamiento de datos**

La lectura y almacenamiento de datos se ejecuta de forma periódica cada vez que finaliza la secuencia de instrucciones del programa. Este período es de aproximadamente 100ms, ya que dentro de la configuración del PLC se escogió el modo de exploración normal en cual ejecuta un programa en intervalos periódicos de tiempo de 100ms.

Como se muestra en la figura 5.3.1.1.1, una vez hecha la inicialización del programa se comienza a leer una por una tanto las entradas analógicas de la tarjeta TWDAMI8HT como las digitales del PLC que se encuentran en uso y que poseen información de las mediciones como por ejemplo de los bancos de baterías, tanques de combustible, red de sensores de planta y transferencia, humedad, entre otras.

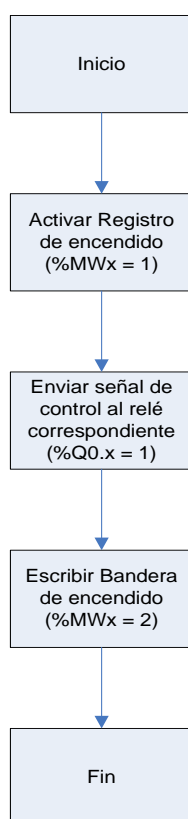
Luego de la carga del registro correspondiente a la señal analógica (%IW0.1) o digital (%I0), se hace una transferencia de esta información a los registros de propósito general del PLC, o memory words (%MW), para posteriormente ser leídos a través del protocolo Modbus TCP/IP. Estos valores se actualizan cada vez que se vuelva a ejecutar el programa (cada 100ms), lo que permite tener la información en tiempo real.



**Figura 5.3.1.1.1** Diagrama de flujo para la lectura y almacenamiento de datos en el PLC TWDLCE40DRF.

### 5.3.1.2 Rutina de encendido de planta y puesta en marcha de un proceso completo de arranque de planta y transferencia

Tanto el proceso de encender la planta como el de iniciar un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía operan bajo el mismo algoritmo, el cual se presenta en la figura 5.3.1.2.1. Dependiendo del proceso a ejecutar<sup>29</sup> lo que se hace es escribir un 1 en el registro correspondiente. Si nos enfocamos en los relé de encendido primario, para encender la planta se requiere escribir el registro %MW14, mientras que para activar la planta y la transferencia se escribe el %MW17. Una vez escritos estos registros, se envía la señal directamente al relé por medio de las salidas digitales %Q0.2 y %Q0.3 respectivamente. Las banderas se activan para manejar la lógica de los procesos de apagado.



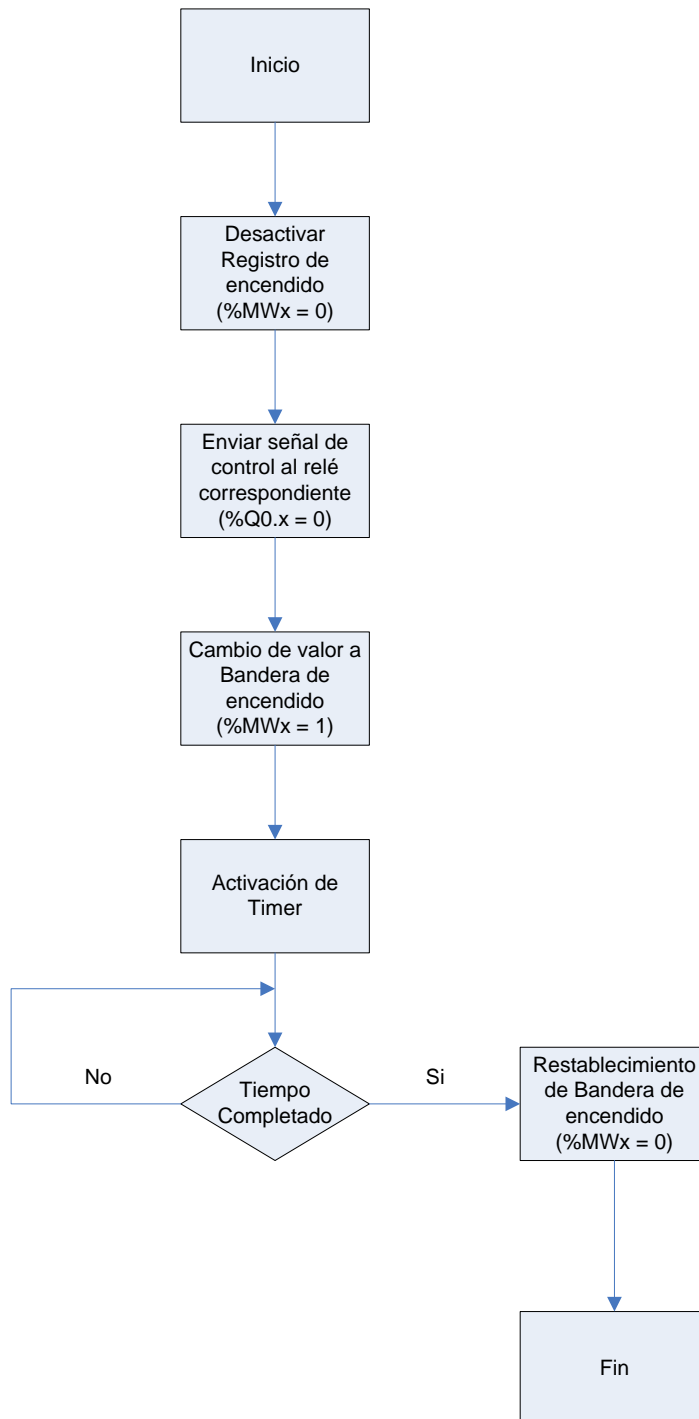
**Figura 5.3.1.2.1** Diagrama de flujo para ejecutar el encendido de planta, así como iniciar un proceso completo de arranque de planta y transferencia.

<sup>29</sup> El proceso a ejecutar así como el registro que debe escribirse es determinado por la unidad de procesamiento de datos del servidor.

### **5.3.1.3 Rutina de apagado de planta y finalización de un proceso completo de arranque de planta y transferencia**

Para poder apagar la planta o finalizar un proceso de arranque de planta y transferencia se utilizó el algoritmo mostrado en la figura 5.3.1.3.1, ya que estos dos tipos de procesos se rigen bajo las mismas reglas. Así el algoritmo consiste en escribir un valor de cero ya sea en el registro %MW14 o %MW17, para apagar la planta o finalizar un proceso completo, respectivamente. Al realizar esta acción, inmediatamente se escribe un valor de cero en la salida correspondiente asociada con el registro.

El registro de memoria %MW14 se relaciona con la salida %Q0.2 y el registro %MW17 con la salida %Q0.3, esto para los relés de apagado primario. Posteriormente la bandera de encendido se cambia del valor de 2 a 1, esto permite que en conjunto con el registro escrito para el proceso de apagado se active un temporizador o timer que lleva un conteo del tiempo que tarda este proceso en ejecución de forma tal que transcurrido este período pueda verificarse que en realidad la planta fue apagada. El conteo se inicia justamente en el momento que la señal de salida se pone en 1.



**Figura 5.3.1.3.1** Diagrama de flujo para ejecutar el apagado de planta, así como finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia.

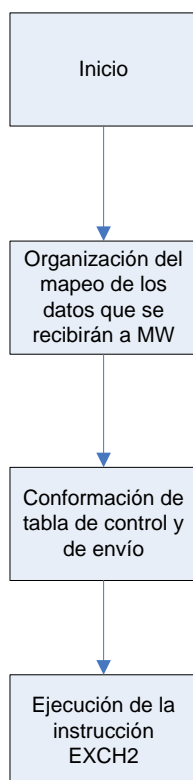
#### **5.3.1.4 Rutina de lectura de datos por protocolo Modbus RTU**

Para la lectura de los parámetros eléctricos medidos por el analizador de energía LCA-C se emplea el protocolo de comunicación Modbus RTU. Para su implementación en el PLC se sigue el algoritmo mostrado en la figura 5.3.1.4.1. El código modbus utilizado en este caso es el 03, el cual permite realizar lecturas múltiples de registros.

Para trabajar con este protocolo el PLC utiliza la instrucción EXCH2, por tanto es importante dejar claro que la ejecución de esta instrucción será el último paso del algoritmo, ya que antes es necesario organizar la forma en que los datos serán mapeados a los registros internos del PLC y construir las tablas de control y envío que se requieren para trabajar con el código 03. En la tabla 5.3.1.4 se muestra la forma de construir dichas tablas.

Un detalle que debe ser considerado y que es lo que se menciona como mapeo de registros es que una vez que la instrucción EXCH es ejecuta la información se recibe dos registros por encima a partir del último registro que contiene el último valor de la tabla de envío. Por ejemplo, si el último valor de la tabla de envío se almacena en el registro %MW36 la información solicitada se comenzará a recibir a partir del registro %MW39, mientras que en los registros %MW37 y %MW38 se almacenan los parámetros de control que junto con las mediciones forman la tabla de recepción. Por tanto la cantidad de registros que se necesite debe ser reservada.

El formato de los datos transmitidos por analizador LCA-C sigue el estándar IEEE 754, por tanto cualquier medición que quiera leerse de este equipo estará formada por cuatro bytes, ver Anexo B.5.



**Figura 5.3.1.4.1** Diagrama de flujo para la lectura de las mediciones del analizador de energía LCA-C a través del protocolo Modbus RTU

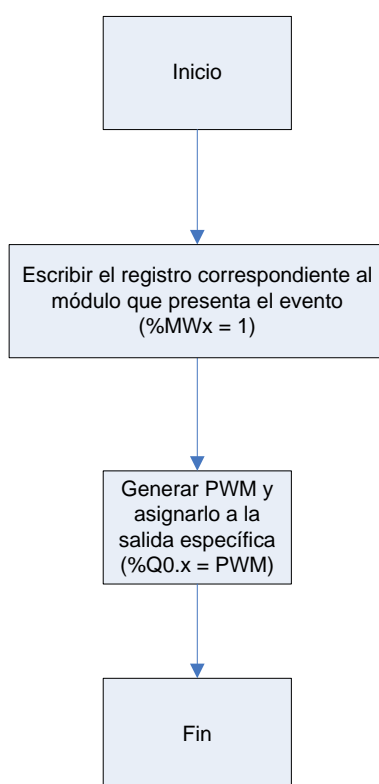
**Tabla 5.3.1.4.1** Conformación de tablas para las solicitudes estándar Modbus 03 y 04

Tipo de tabla	Índice de tabla	Byte más significativo	Byte menos significativo
Tabla de control	0	01 (Emisión/Recepción)	06 (longitud de emisión)
	1	03 (offset de recepción)	00 (offset de emisión)
Tabla de envío	2	Id de esclavo (de 1 a 247)	03 ó 04 (código de solicitud)
	3	Dirección de la primera palabra que se va a leer	
	4	N = Número de palabras de lectura (1)	
Tabla de recepción (después de la respuesta)	5	Id de esclavo (de 1 a 247)	03 ó 04 (código de respuesta)
	6	00 (byte añadido por la acción offset Rx)	2*N (número de bytes leídos)
	7	Primera palabra leída	
	8	Segunda palabra leída (si N>1)	
	...		
	N+6	Palabra N leída (si N>2)	



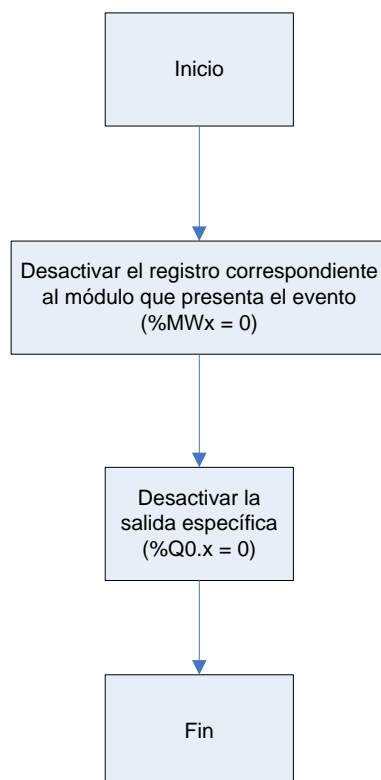
### 5.3.1.5 Rutina para la gestión de alarmas

El manejo de las alarmas desde el punto de vista del PLC se maneja de la siguiente manera, si se produce un evento que amerite activar una alarma que alerte de un fallo en alguno de los módulos del sistema se escribe el registro correspondiente a el módulo específico. Una vez que el registro posee el valor de 1, una señal de PWM se asigna a la salida respectiva, dando inicio a la alarma. Este manejo de generación de alarmas se muestra en la figura 5.3.1.5.1.



**Figura 5.3.1.5.1** Rutina de generación de alarma.

Por otra parte, si lo que se quiere es desactivar una alarma, basta con asignar un valor de 0 al registro correspondiente de la alarma activa, con esto se corta el paso de la señal de PWM a salida específica y la alarma queda desactivada porque la salida asociada adquiere un valor constante de 0. En la figura 5.3.1.5.2 se resume la rutina de desactivación de alarmas.



**Figura 5.3.1.5.2** Rutina para desactivar una alarma.

### **5.3.2 Servicio de comunicación Modbus TCP/IP para la atención del PLC**

Debido a que toda la información de las mediciones se encuentra almacenada en los registros internos o memory words (MW) del PLC TWDLCE40DRF, fue necesario dotar al computador servidor con el Protocolo Modbus, esto se hizo posible gracias a la utilización de la librería gratuita jamod de java. La variante del protocolo usada en esta etapa fue Modbus TCP/IP, protocolo que forma parte de las características del autómata.

Bajo el principio de que el protocolo Modbus opera con el esquema maestro-esclavo, se definió que el maestro sería el PC servidor y el esclavo el PLC. A partir de esto el PLC sería entonces consultado periódicamente por el servidor a

manera de polling<sup>30</sup> , las consultas son hechas cada 500ms. Con esto se logra la transferencia de los datos almacenados en el PLC al servidor.

En la figura 5.3.2.1 se presenta el algoritmo utilizado para leer los datos del PLC a través del protocolo Modbus TCP/IP. En el se muestra que el primer paso es inicializar las variables a utilizar, para ello se crean los objetos necesarios y que son parte de la librería jamod. Por tanto se debe crear un objeto de conexión del tipo TCPMasterConnection el cual se asigna a la variable “con”, luego el objeto “trans” que es del tipo ModbusTCPTransaction, posteriormente el objeto “req” que es del tipo ReadMultipleRegistersRequest y por último el objeto “res” del tipo ReadMultipleRegistersResponse.

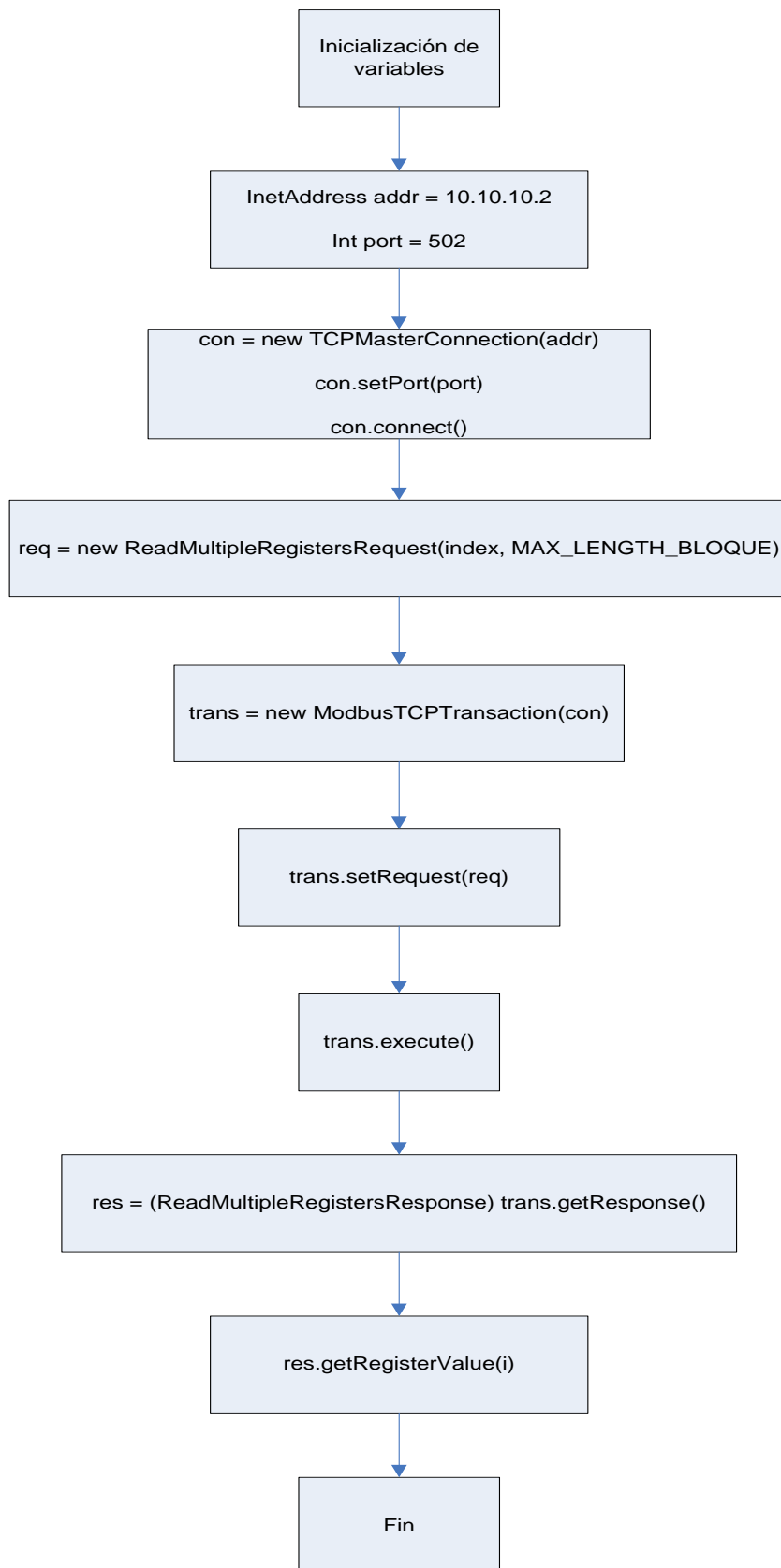
A la variable addr se le asigna la dirección IP del PLC, que en este caso es 10.10.10.2, a la variable port se le asigna el valor de 502. Con estos parámetros se crea un objeto de la clase socket que permite establecer la comunicación con el PLC por medio del puerto 502. Un detalle a mencionar es que se utiliza el puerto 502, ya que este puerto está reservado para comunicaciones Modbus.

Luego de establecida la conexión con el PLC a la variable res que trabaja con el código modbus 03, se le asigna a través del parámetro index, el índice del primer registro a ser leído, y por medio de la constante MAX\_LENGTH\_BLOQUE se define el número de registros a leer.

Una vez ejecutada la transacción, el resultado o la respuesta de la lectura queda almacenado en la variable res, donde haciendo uso de la instrucción “res.getRegisterValue(i)” se lee el registro especificado con el índice “i”.

---

<sup>30</sup> Tipo de lógica que se utiliza en diseños programados para ejecutar un proceso de revisión, consulta o adquisición de datos de forma constante y periódica entre la unidad de control y sus dispositivos periféricos.



**Figura 5.3.2.1** Diagrama de flujo de la lectura de datos del PLC por protocolo Modbus TCP/IP.

### 5.3.3 Base de datos

La base de datos es uno de los pilares fundamentales de este proyecto, ya que a través de ella se maneja la clasificación de las mediciones y su almacenamiento en memoria. Una vez que los datos son recibidos en el servidor por medio del protocolo Modbus TCP/IP éstos son validados y procesados para determinar que poseen información significativa y no redundante, es decir, se analiza que el dato posee un cambio significativo con respecto a la lectura anterior y se recorre la base de datos para determinar que no existe un dato idéntico, esto se hace a causa de que las consultas son hechas cada 500ms, por tanto no puede guardarse en base de datos cada lectura porque se almacenaría información repetitiva.

Si el dato pasa la prueba de validación, éste se procesa para pasarlo a un formato representativo de acuerdo al tipo de información que representa e inmediatamente se procede a realizar su inserción en la base de datos, para esto se clasifica el dato de acuerdo a las tablas de datos presentadas en la figura 5.3.3.1, tablas que son algunas relacionales y otras operan de manera individual.

De esta manera la base de datos maneja la información más reciente referente al sistema de emergencia de la estación Terminal Bribri lo cual permite efectuar un monitoreo en tiempo real. Pero además maneja un registro histórico de los acontecimientos ocurridos en el pasado. Tanto la información actual como la histórica puede ser accedida a través de consultas a la base de datos.

La base de datos fue construida en MySQL, por tanto las inserciones y consultas a la base se hacen a través del lenguaje SQL y por medio de funciones programas en JAVA para lo cual se emplea una conexión al puerto 3306 el cual está reservado para MySQL. Además de la conexión se requiere adjuntar al proyecto programado el driver MySQL JDBC DRIVER para poder hacer uso de

las funciones de que dispone la base de datos<sup>31</sup> como por ejemplo funciones de insert, select, update, entre otras.

Para trabajar de manera modular con la base de datos se utilizó un esquema de programación de tres capas<sup>32</sup> compuestas por: Datos\_Beans, Datos\_Data y Datos\_Lógica.

La capa de Datos\_Bean se compone por objetos y sus constructores, lo que se hace es que cada tabla de la base de datos se implementa también en el proyecto programado, para ello se crean objetos con las mismas variables utilizadas en la tabla de forma tal que ante una inserción o consulta de la tabla en cuestión los datos sean cargados del o hacia el objeto correspondiente. Así por ejemplo, se tienen un objeto Medición\_Elétrica, éste tiene 5 variables id\_Medición\_Elétrica, id\_Equipo, id\_Lectura, id\_Relación y valor. Las primeras cuatro son de tipo entero INT, y valor es de tipo flotante FLOAT. Tanto id\_Equipo, id\_Lectura y id\_Relación son identificadores relacionales o llaves foráneas en la base de datos que permiten asociar una tabla a otra, la misma función cumplen el proyecto programado para relacionar objetos. Con base a esta idea se puede obtener o agregar a la base un dato de la siguiente forma: lunes 4 de enero de 2010, 8:00am, Tensión de Fase 1 de Planta, 120V.

La capa de Datos\_Data es la que se utiliza para el manejo exclusivo de las funciones de base de datos, acá se ejecutan las funciones de “insert” para la inserción de datos en la base, “select” para las consultas a la base de datos, “update” para actualizar una tabla de la base, entre otras funciones. Como estas funcionalidades se implementan en JAVA, la sintaxis de la función SQL es asignada a un objeto String, que es el objeto para el manejo de texto en este lenguaje de programación. Luego haciendo uso de los objetos Connection y PreparedStatement, se ejecuta el proceso de inserción, consulta o actualización.

---

<sup>31</sup> Ver referencia bibliográfica [6] para obtener más información sobre las funciones de MySQL

<sup>32</sup> Esquema de programación muy utilizado en el desarrollo de proyectos programados donde se interrelaciona con una base de datos.

Por último, la capa de Datos\_Lógica se utiliza para relacionar las capas de Datos\_Bean y Datos\_Data. Se encarga de administrar cada uno de los procesos SQL que se requieran ejecutar, y es única y exclusivamente a través de ella que puede accederse a la base de datos.

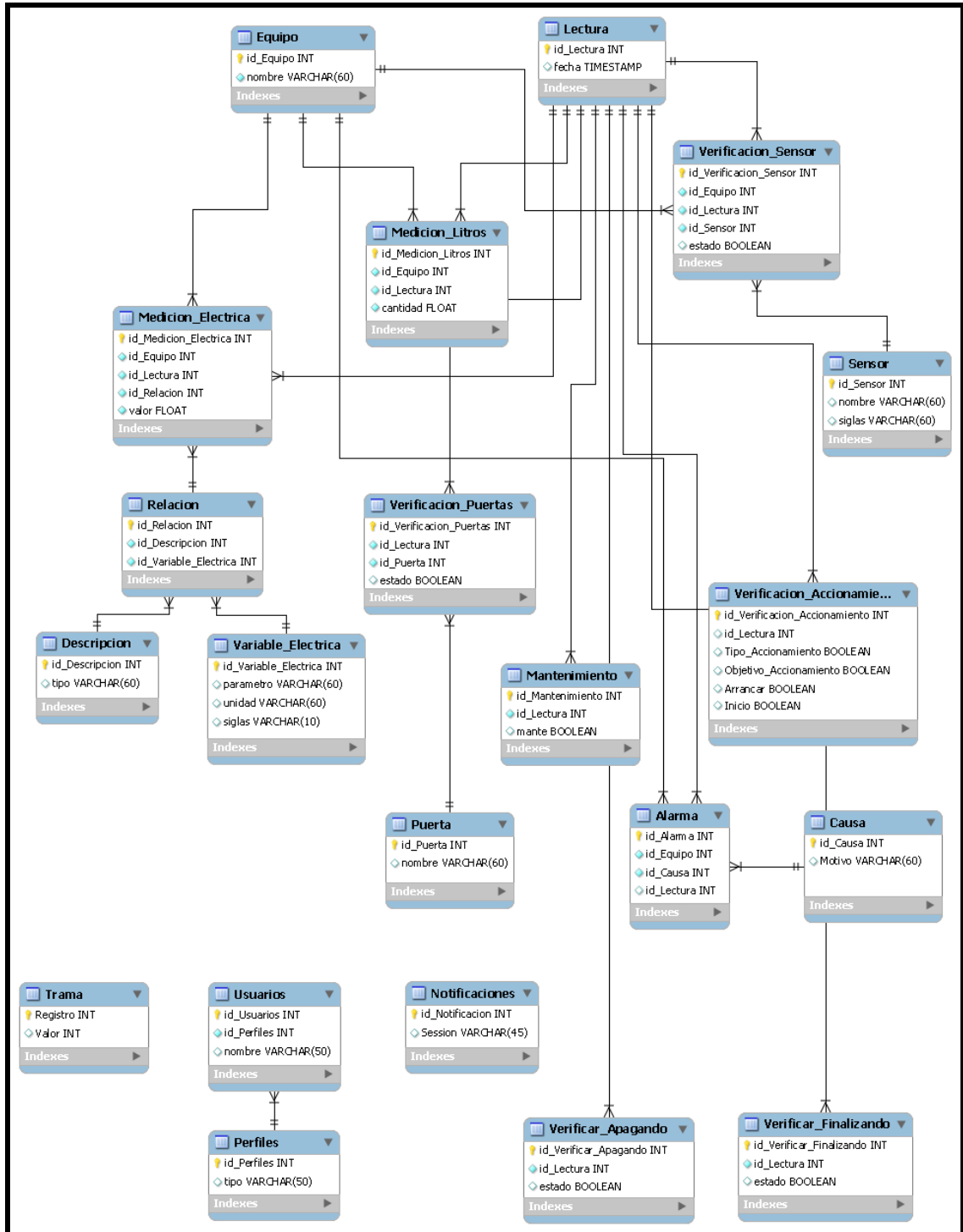


Figura 5.3.3.1 Diagrama de tablas de la base de datos.

### **5.3.4 Funciones de procesamiento de datos**

Cada vez que el servidor consulta o lee los registros del PLC a través del protocolo Modbus TCP/IP, lo hace en 3 bloques de datos de 60 registros cada uno. Estos registros se almacenan secuencialmente en un arreglo<sup>33</sup> de enteros para conformar una trama de datos de 180 registros de 16 bits. De estos 180 registros, se utilizan 85 (que en el PLC van de %MW0 a %MW84) y que contienen la información que se requiere procesar. La forma de guardar los datos en el arreglo trama es correspondiente con la organización de memoria del PLC, por tanto el registro %MW0 se almacena en trama[0], el registro %MW1 en trama [1] y así sucesivamente hasta llegar al último valor %MW84 a trama[84].

Una vez que la trama fue exitosamente formada ésta se ingresa a la base de datos a través de la tabla trama y de manera completa si se trata de la primera inserción. En caso de no ser la primera inserción, la trama se debe analizar registro por registro a través de la rutina de validación y procesamiento de datos para determinar cuales campos de la tabla deben ser actualizados, debido a que se presentó un cambio significativo en alguna de las mediciones. Esto se hace para almacenar únicamente la información que se considera representativa, ya que al ser las consultas al PLC realizadas cada 500ms, debe de procesarse la información leída para no almacenar datos repetitivos y con variaciones insignificantes.

#### **5.3.4.1 Rutina de validación y procesamiento de datos**

Este algoritmo permite determinar cuando se debe realizar la primera inserción en la tabla "Trama" de la base de datos o cuando tiene ser actualizada, así como la inserción de la información ya clasificada en las restantes tablas que formar esta base. Para ello se sigue el diagrama de flujo que se observa en la figura 5.3.4.1.1.

---

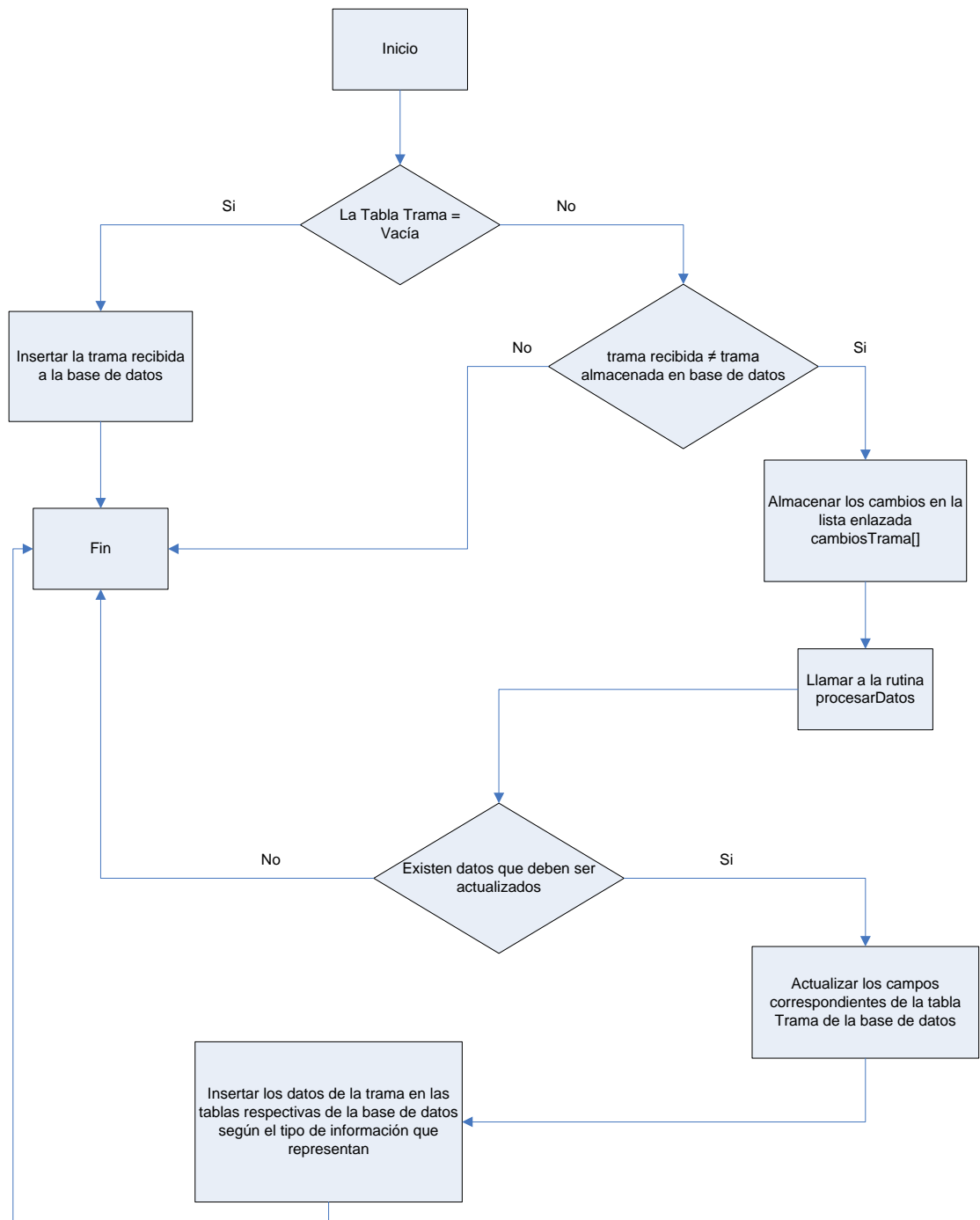
<sup>33</sup> Es una variable utilizada en programación para organizar datos de un mismo tipo., en este caso de enteros (INT).



La rutina recibe como parámetro la trama de datos leída desde el PLC, luego esta trama es almacenada de manera completa en la base de datos si, y sólo si la tabla Trama se encuentra vacía, lo cual quiere decir que el sistema no posee información alguna. A partir de esta inserción en la tabla Trama, la cual se utiliza únicamente para control, se comienza con las inserciones de los datos que vienen en la trama ahora de forma distribuida para el resto de las tablas que tiene la base, por ejemplo las mediciones correspondientes a la planta de emergencia o banco de baterías se insertan en la tabla “Medición\_Elétrica”, los niveles de combustible de los tanques se insertan en la tabla “Medición\_Litros”.

Si por el contrario la tabla Trama ya posee información entonces se debe primero verificar que la trama recibida no sea la misma que ya se encuentra en la base, de ser así la trama se desecha. Por otro lado, si hubo algún cambio en la trama recibida con respecto a la almacenada en base de datos, se extraen de la trama recibida los datos con variaciones y estas variaciones se pasan como parámetro a una rutina llamada “procesarDatos”, la cual se encarga de determinar si el cambio es significativo, por ejemplo si el sistema tiene almacenado una medición correspondiente a la tensión de fase 1 de la planta con un valor de 120V, para él es exactamente lo mismo un nuevo valor de 120,5V o 121V o 119V. Pero un valor de 123 o superior, o un valor de 117 o menor sí sería tomado como relevante.

Finalizada la ejecución de la rutina procesarDatos, se actualiza la tabla Trama de la base y se comienza con las inserciones distribuidas explicadas anteriormente, esto en el caso de determinarse que existen cambios relevantes que deben ser guardados, de no ser así simplemente no se hace nada y finaliza el algoritmo.



**Figura 5.3.4.1.1** Diagrama de flujo del algoritmo de validación e inserción de información en base de datos.

#### 5.3.4.2 Conversión de datos en formato IEEE 754 a decimal

Como se mencionó anteriormente, el analizador de energía LCA-C transmite los datos de las mediciones al PLC en formato IEEE 754, para el caso del proyecto desarrollado se utiliza la versión Modbus de este estándar<sup>34</sup>. Como el estándar dispone el resultado de la medición en cuatro bytes, al momento de ser leídos por el PLC la información se agrupa en dos registros, ya que éstos son de 16 bits, uno contiene los bytes más significativos o parte alta del dato, y el otro los bytes menos significativos o parte baja del dato.

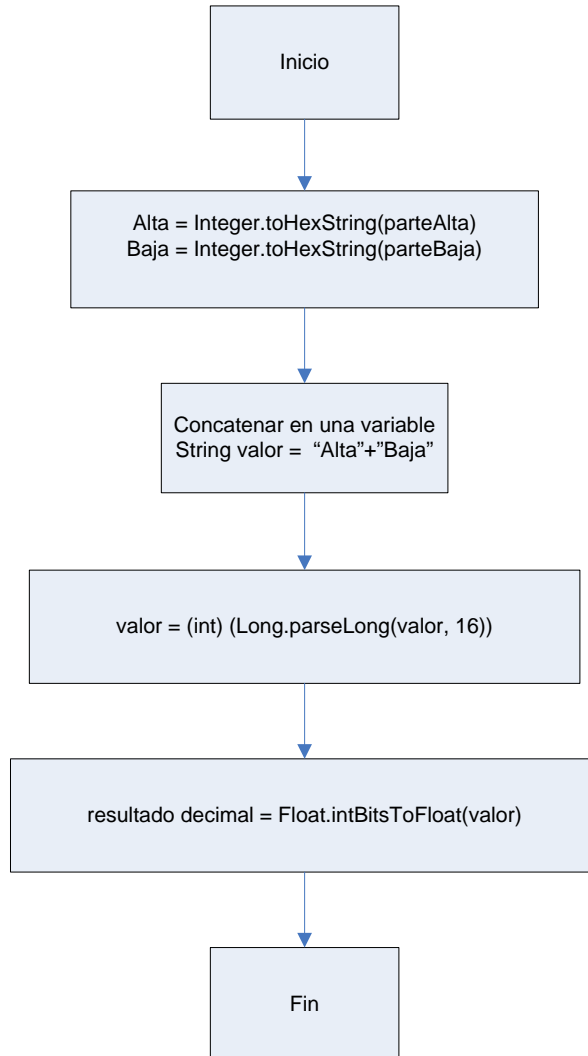
Una vez que ambos registros conteniendo el valor de la medición llegan al PC servidor, debe hacerse la conversión de IEEE 754 modo modbus a decimal, para ello se emplea el algoritmo mostrado en la figura 5.3.4.2.1. Como primer paso del algoritmo se convierten tanto la parte alta como la parte baja del dato a formato hexadecimal y luego se pasa a formato String, o sea a texto, para esto se utiliza la instrucción de JAVA “Integer.toHexString()”.

Una vez que ambas partes de la medición se encuentran en formato String, las mismas se concatenan dentro de una única variable también de tipo String de la forma “parte alta + parte baja”, luego el resultado de la concatenación es sometido a una conversión forzada de tipo entero INT, esto se logra mediante la instrucción “(int) (Long.parseLong(valor, 16))”.

Finalmente al resultado de los pasos anteriores, se le aplica la instrucción “Float.intBitsToFloat()” con lo cual se obtiene el valor de la medición ahora en formato decimal.

---

<sup>34</sup> Ver Anexo B.5 para los detalles del estándar.



**Figura 5.3.4.2.1** Diagrama de flujo del algoritmo para convertir valores en formato IEEE 754 a valores en formato decimal.

### 5.3.4.3 Cálculo de la cantidad de combustible de los tanques

Con la utilización del principio de Arquímedes mostrado en la ecuación 3.1, se hizo una relación de cálculo adaptable a las características del combustible (diesel), forma y posicionamiento de los tanques (cilindro en posición horizontal) de la estación Bribí. Para ello se hizo una rutina que recibe como parámetro el cálculo de la altura del nivel de combustible y se procede como sigue:

**Cálculo del parámetro h (altura del nivel de combustible en el tanque):**

De la ecuación 3.1 se despeja la variable h y se obtiene el siguiente resultado:

$$h = \frac{P - P_0}{\rho * g}$$

De aquí se conoce que la densidad del diesel es de 0.865Kg/l y que la gravedad tiene un valor de 9.8m/s<sup>2</sup> lo cual nos da un constante igual a 8477 con unidades de kg/s<sup>2</sup>m<sup>2</sup>, la diferencia de presiones P – P<sub>0</sub> medida por el sensor utilizado dará un resultado con unidades de milibares [mbar], valor que se convierte a unidades de pascales [P] y se obtiene el parámetro h en metros [m] de la siguiente manera:

$$h = \frac{(P - P_0) * 100}{8477} [m] \quad (5.1)$$

Luego este valor es pasado como parámetro a una rutina que calcula el volumen del combustible de acuerdo a los siguientes casos:

➤ Caso para  $h < r_{BaseTanque}$ :

$$V = 1000 * \left( r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{2rh-h^2} \right) \ell [l] \quad (5.2)$$

➤ Caso para  $h = r_{BaseTanque}$ :

$$V = 1000 * \frac{\pi r^2 \ell}{2} [l] \quad (5.3)$$

➤ Caso para  $h > r_{BaseTanque}$ :

$$V = 1000 * \left[ \pi r^2 - \left( r^2 \arccos\left(\frac{h-r}{r}\right) - (h-r)\sqrt{2rh-h^2} \right) \right] \ell [l] \quad (5.4)$$

Para los tres casos anteriores se tiene que  $h$  es la altura del combustible en [m],  $r$  es el radio de la base del tanque (cara circular) y  $\ell$  es la longitud del cilindro en [m]. Las tres ecuaciones se calculan haciendo uso del paquete Math de java.

#### 5.3.4.4 Cálculo de la tensión, corriente y potencia de los bancos de baterías

Para calcular los parámetros eléctricos de los bancos de baterías se hacen dos rutinas, una para corriente y otra para tensión. Estos métodos reciben como parámetro el dato de tensión o de corriente leído desde el PLC, el cual corresponde a un valor entre el rango de 0 a 1023, valor que luego se emplea para realizar una regla de tres<sup>35</sup> como se muestra a continuación:

$$V, I' = \frac{\text{datoLeido} * \text{valorDeEscalaMáxima}}{1023} [V] \quad (5.5)$$

En esta ecuación,  $\text{datoLeido}$  corresponde al valor leído de tensión o corriente desde el PLC,  $\text{valorDeEscalaMáxima}$  se refiere a la lectura máxima posible de tensión o corriente, los cuales son 50V y 1V respectivamente. Este valor de lectura de 1V para mediciones de corriente, se debe al uso de los shunts de 0 a 1V, por lo tanto a este valor se le tienen que aplicar una nueva regla de tres como se muestra a continuación:

$$I = I' * 1000 [A] \quad (5.6)$$

---

<sup>35</sup> Cálculo proporcional para obtener el valor de una incógnita a partir de tres o más valores conocidos.

Ya con estos valores de corriente y tensión calculados, basta con multiplicarlos entre si y de esta manera se obtiene el valor de la potencia.

### **5.3.5 Implementación de la página web**

La implementación de la página web se hizo pensando en el usuario final del sistema, con este motivo se quiso desarrollar un diseño amigable que permitiera que las funciones contenidas en esta página estuviesen a “un click”, para ello se emplearon los nombres de los equipos así como fotografías que fuesen alusivas a los posible datos que el usuario podría encontrar en la vista o página seleccionada, el diseño de la página puede ser consultado en el *Manual de usuario* que se encuentra en el Anexo A.2.

En cuanto a las características de programación se destaca que la página web se desarrolló en su totalidad con el lenguaje Struts. También fueron incluidos códigos de javascript, css y en ocasiones se utilizaron líneas de código en html puro. Dicha página era cargada y manejada por el servidor Glassfish.

Cada función seleccionada de la página efectuaba un proceso o secuencia para poder presentar al usuario la información solicitada o enviar un comando para tomar una acción de control que tenía como destino final al PLC (como por ejemplo encender y apagar la planta) o la base de datos (como por ejemplo desactivar una alarma una vez que la misma fue atendida). Todos estos procesos y secuencias fueron programados a través de java y sus paquetes o con librerías adheridas al proyecto y desarrolladas también con java.

A continuación se explican las principales rutinas desarrolladas para la operación de la página web.

### 5.3.5.1 Verificación de permisos

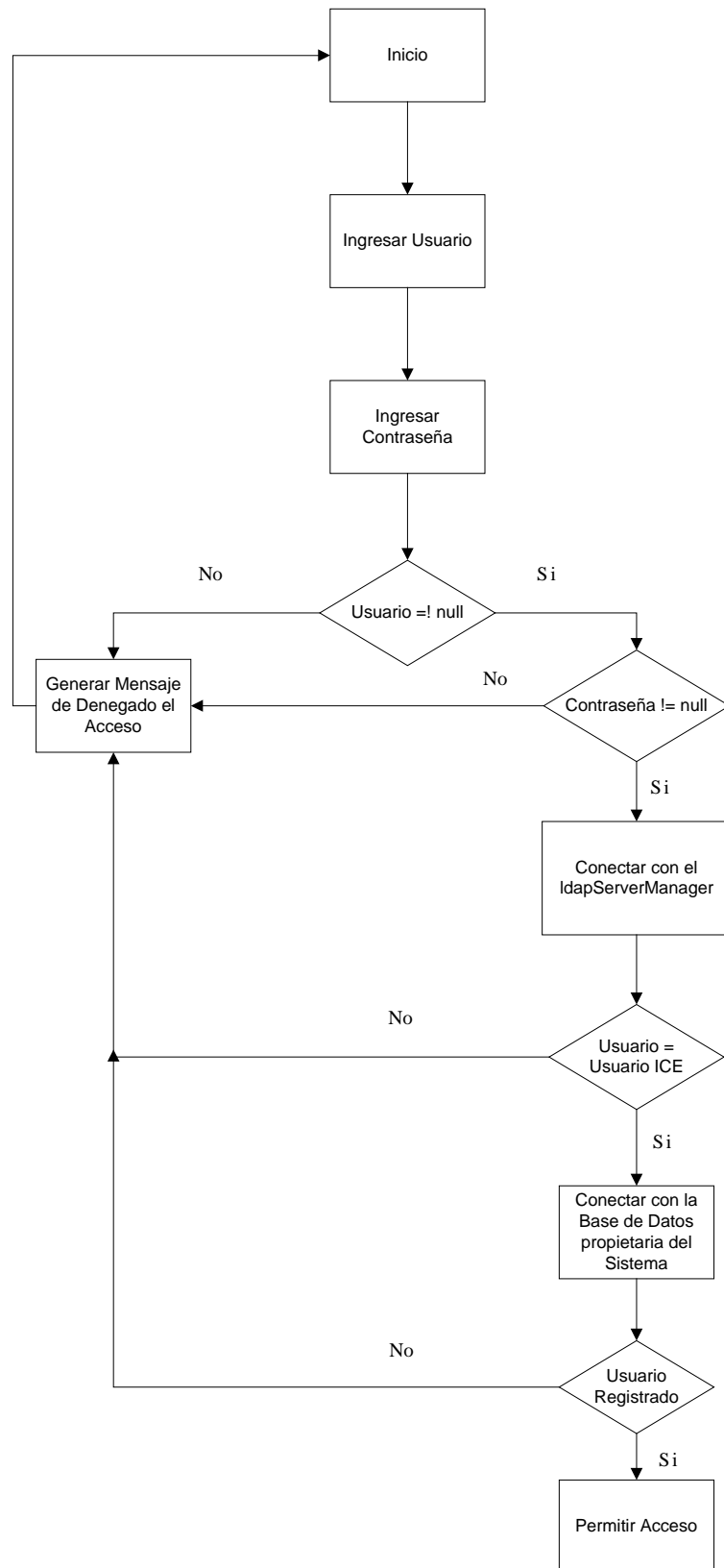
Los usuarios que quieran tener acceso a la página web del sistema implementado deberán estrictamente formar parte del personal del Instituto Costarricense de Electricidad y además estar registrados en la base de datos del sistema desarrollado a través de su “alias” en la tabla de *Usuarios*, también cada usuario deberá tener un perfil asociado, el cual puede ser “Administrador” o “Sólo Monitoreo”, este perfil se encuentra en la tabla de *Perfiles*.

Estos requerimientos se deben a que el sistema de seguridad implementado primero se encarga de verificar que el usuario posee los permisos para ingresar y luego vista por vista de la página se revisa que posea el perfil adecuado para hacer uso de las funciones de dicha vista.

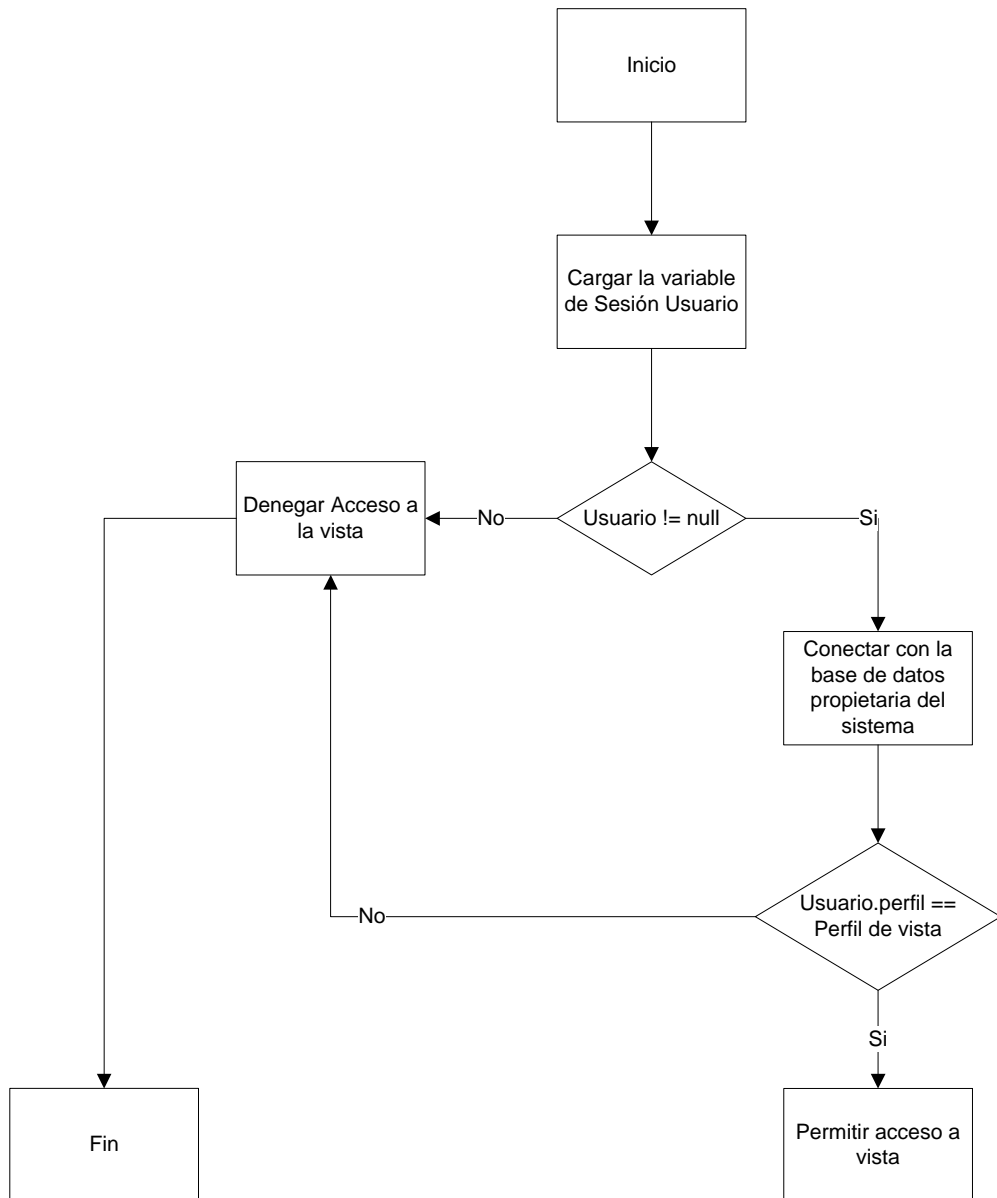
En la figura 5.3.5.1.1 se presenta el diagrama de flujo correspondiente a la rutina de verificación de permisos de usuarios y en la figura 5.3.5.1.2 se presenta el diagrama de flujo correspondiente a la verificación de perfiles de usuario.

En el algoritmo de la figura 5.3.5.1.1 se tiene como uno de los pasos la conexión al servidor “IdapServerManager” el cual es el servidor de ICE que almacena los datos de cada una de las personas que laboran en esta institución.





**Figura 5.3.5.1.1** Diagrama de flujo para de la rutina de verificación de permisos de usuario.

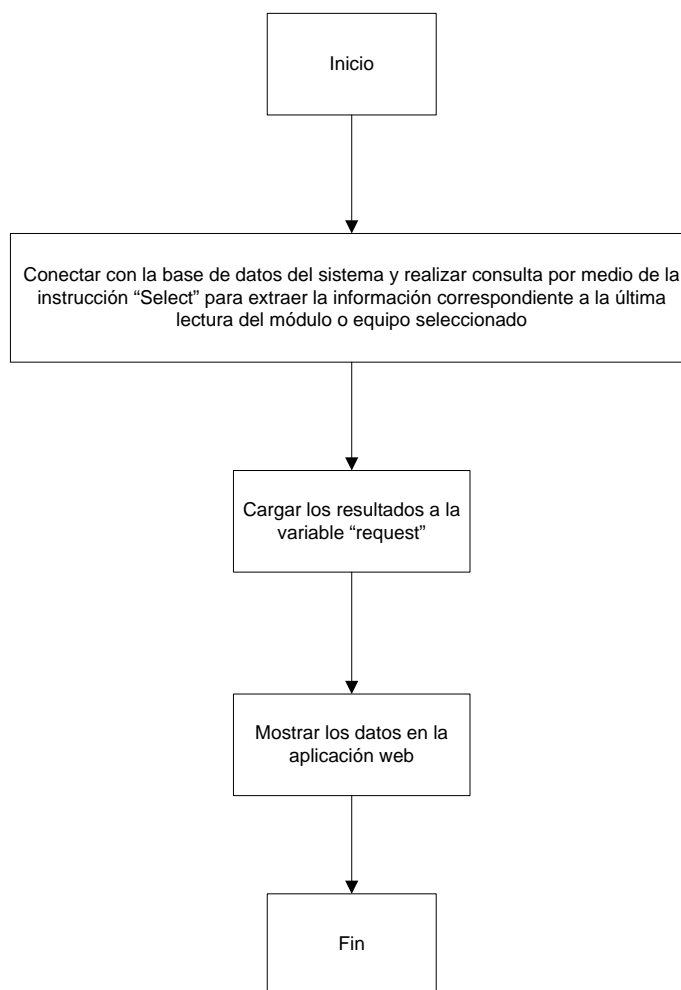


**Figura 5.3.5.1.2** Diagrama de flujo para de la rutina de verificación de perfiles de usuario.

### 5.3.5.2 Lógica del monitoreo

Todas las funciones de monitoreo de la aplicación web operan bajo un mismo esquema de programación, es decir, que se podrían describir mediante un algoritmo genérico como el mostrado la figura 5.3.5.2.1, ya que básicamente

cuando el usuario selecciona cualquier link de la página que contiene información actualizada o de tiempo real con respecto al estado del equipo requerido, se ejecuta una consulta a la base de datos a través del puerto 3306, los datos se cargan en la variable “request<sup>36</sup>” de la vista o archivo jsp<sup>37</sup> específico, y mediante iteraciones son cargados en tablas de código javascript<sup>38</sup> que se presentan al usuario.



**Figura 5.3.5.2.1** Algoritmo genérico implementado para realizar el monitoreo en tiempo real.

<sup>36</sup> Objeto de empleado para cargar datos desde variables que corren sobre programas java y pasarlos a la aplicación web para su manipulación.

<sup>37</sup> Tecnología java para generar contenido dinámico en formato HTML, XML de la página web, sus siglas significan Java Server Pages.

<sup>38</sup> Lenguaje de programación para aplicaciones web que opera desde el lado del usuario o cliente.

### **5.3.5.3 Rutina de encendido y apagado de planta e iniciación y finalización de un proceso de arranque de planta y transferencia**

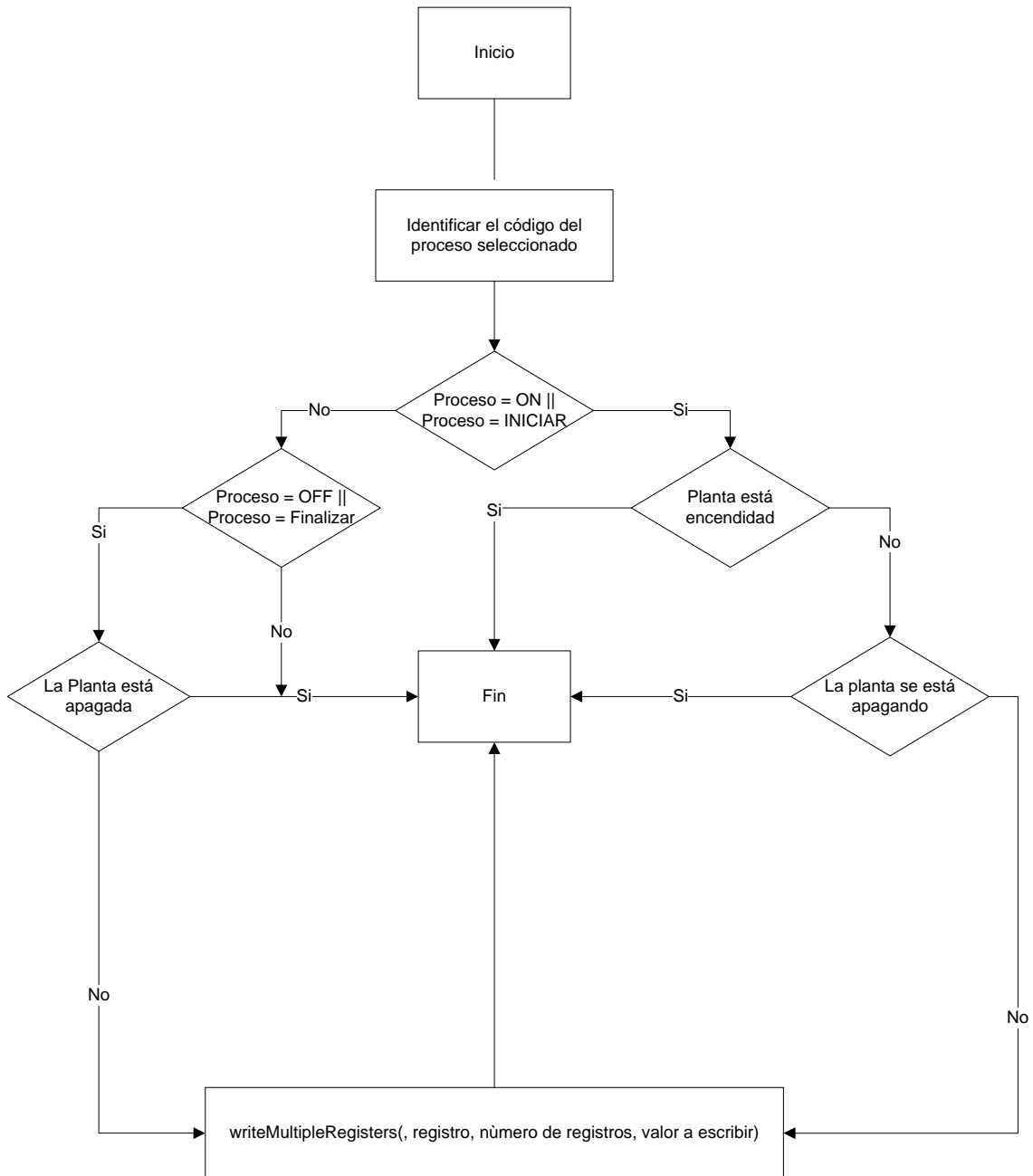
Estas rutinas se implementaron haciendo uso de la librería jmodbus, su principio de operación consiste en enviar el código 16 del protocolo que permite la escritura de múltiples registros del PLC, código que corresponde al uso de la función "writeMultipleRegisters()" de esta librería.

Para tener acceso a esta función el usuario requiere tener un perfil de "Administrador", una vez que los permisos son verificados, el usuario dispone de una vista que posee dos botones uno con la opción "ON" y el otro con la opción "OFF" si se trata de un proceso de encendido y apagado de planta. Si es un proceso completo de arranque de planta y transferencia los botones presentan las opciones de INICIAR y FINALIZAR.

En caso de que el usuario presione por ejemplo el botón de ON, se procede a verificar primero que la planta no esté ya en funcionamiento, segundo que la planta no se esté apagando y en caso que ninguna de estas opciones se de, se utiliza la función de writeMultipleRegisters() con los parámetros adecuados, es decir se indica el registro que será escrito, el número de registros a escribir y por último el valor a escribir. En caso de encendido y apagado de planta se escribe el registro %MW14 con un valor de 1 para encender la planta y con un valor de cero para apagarla. La misma lógica se emplea para un proceso de arranque de planta y transferencia pero el registro que se escribe es el %MW17.

Una vez que el registro respectivo es escrito se inicia un conteo de tiempo acorde al proceso que se ejecuta, una vez finalizado este conteo se presenta el resultado del proceso, es decir, si este funcionó o falló, y en caso de falla presentar la causa. Los temporizadores varían de acuerdo al proceso, si es sólo encendido de la planta se espera 15 segundos, si es su apagado se espera 5 minutos. Si se inicia un proceso de arranque de planta y transferencia se deben esperar 45

segundos y en caso de que este se finalice se espera 5 minutos 45 segundos. A causa de que estos procesos se ejecutan de la misma manera, y únicamente se varían los parámetros, el algoritmo implementado se presenta a través del diagrama de flujo de la figura 5.3.5.3.1.



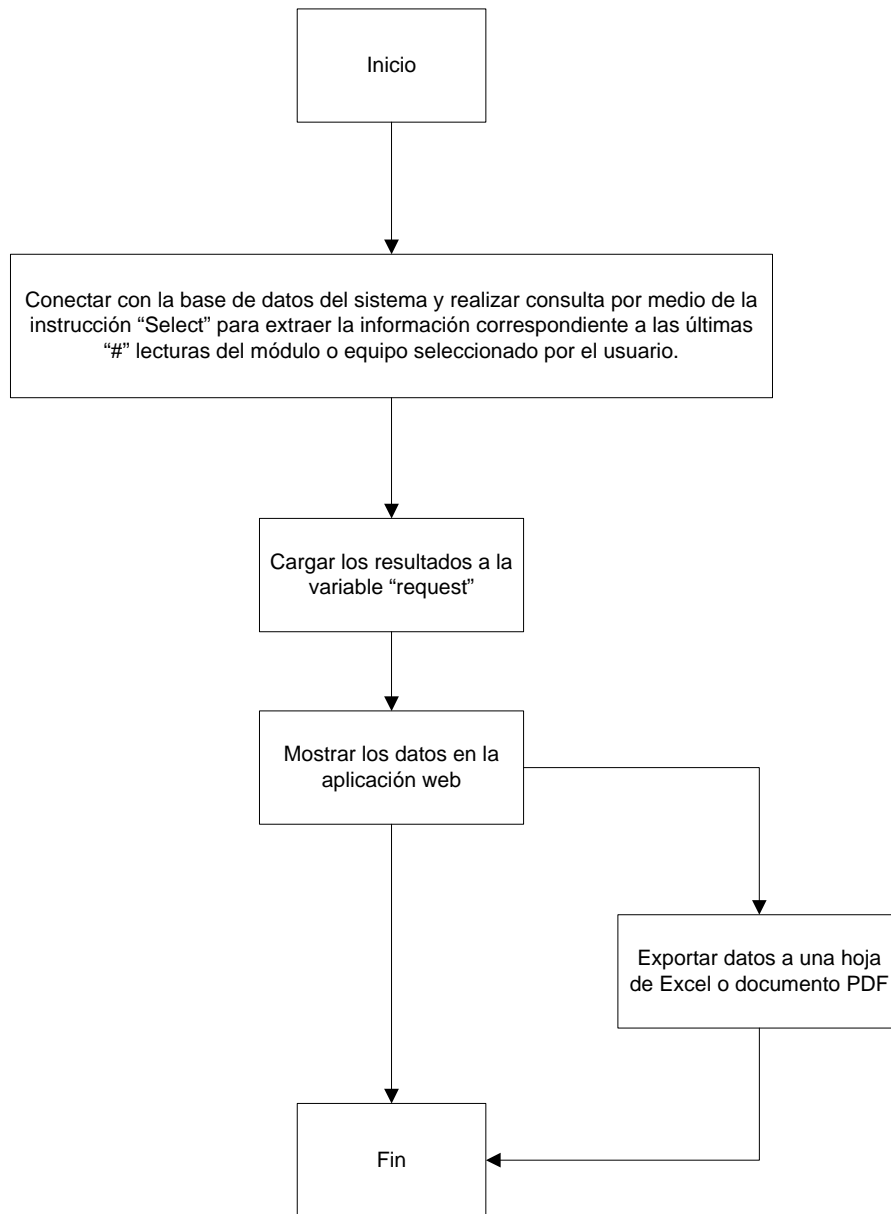
**Figura 5.3.5.3.1** Diagrama de flujo de la rutina que se encarga de encender o apagar la planta de emergencia o de iniciar o finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia.

#### **5.3.5.4 Registros Históricos**

Para el manejo de los registros históricos el usuario escoge el módulo o equipo que quiere consultar, ya sea la planta de emergencia, los bancos de baterías, los tanques de combustible, los sensores de humedad, el control de acceso o las alarmas, además elige la cantidad de registros a consultar.

Una vez que estas opciones son seleccionadas, se procede a realizar la consulta respectiva a la base de datos y se cargan los resultados en una lista enlazada, lista que luego es cargada a la variable "request" para luego presentar la información extraída en la página web mediante el uso de la librería "Displaytag", librería que permite organizar los datos en tablas, paginar los datos, ordenarlos de acuerdo a algún parámetro de columna y lo más interesante, permite exportar la información a un archivo de Excel o PDF.

En la figura 5.3.5.4.1 se muestra la rutina utilizada para el manejo de los registros históricos.



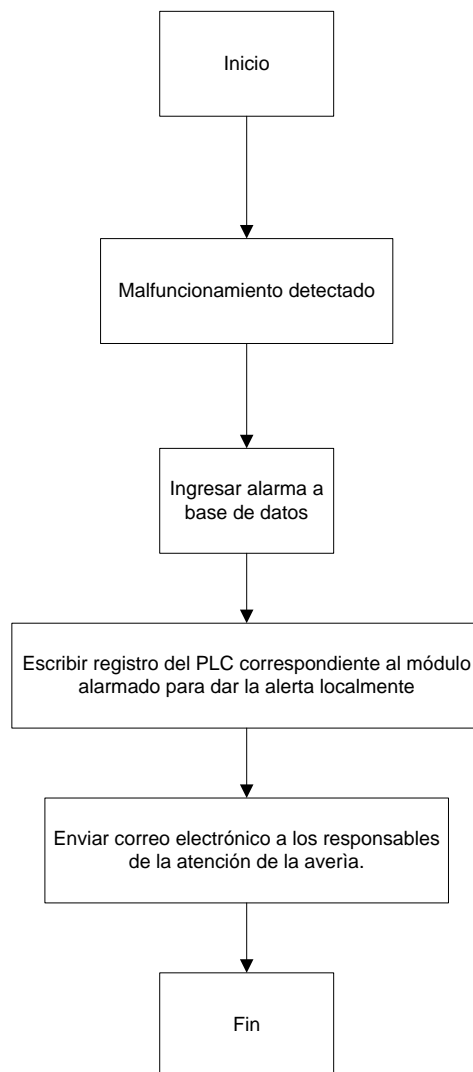
**Figura 5.3.5.4.1** Algoritmo desarrollado para el manejo de los registros históricos del sistema.

### 5.3.5.5 Administración de Alarmas

Una vez que los datos son validados y procesados, se procede a su inserción en base de datos. En caso de detectarse algún módulo o equipo que presenta un comportamiento anormal o que la medición leída está fuera de los límites establecidos para el tipo de dato tomado, inmediatamente se inserta este evento

en la base de datos, indicando la causa de la alarma. La alarma es etiquetada como activa, se escribe el registro del PLC respectivo al módulo que se alarmó para indicar la alerta de manera local y además se envía un correo electrónico al personal encargado de las averías de la estación Bribri para su pronta atención. Una vez que la avería fue atendida la aplicación web permite al técnico responsable desactivar la alarma.

Las alarmas activas de la estación pueden ser monitoreadas desde la aplicación web para el conocimiento de su causa. También desde la página web se puede observar y descargar los registros históricos de las alarmas acontecidas.



**Figura 5.3.5.1** Rutina de generación de alarmas.



## Capítulo 6: Análisis de Resultados

El planteamiento original del proyecto fue crear un sistema de monitoreo y control local y remoto del sistema de emergencia de la estación Bribri de forma tal que se permitiera a los encargados de dicha estación responder con rapidez y eficacia ante algún evento presentado. Para ello se planteó diseñar una lógica de control que permitiera de manera local y remota encender y apagar la planta de emergencia, así como una lógica que admitiera funciones de inicio y final de un proceso de arranque de planta y transferencia, también de forma local y remota. Además de esto se pretendía medir los parámetros eléctricos de la planta, parámetros correspondientes a tensiones de fase, corrientes de fase, potencia total activa consumida, frecuencia y factor de potencia. Lo mismo se haría con los parámetros eléctricos de ambos bancos de baterías, se mediría la tensión y la corriente y con estos datos se calcularía la potencia. Por último se quería poder medir la cantidad de combustible contenido en los tanques de abastecimiento interior y exterior de la planta.

Posterior a esta definición de etapas, se hizo la adaptación de otros dos módulos que permitieran proteger aun más a la estación Bribri y sus equipos, se trata del módulo de medición del nivel de agua y del control de acceso. La medición del nivel de agua se realizaría para poder proteger a los equipos de filtraciones que pudieran comprometer su operación o en el peor de los casos dañar totalmente el equipo. El control de acceso se realizaría para proteger a las instalaciones y equipos de los robos que en los últimos años han incrementado en la zona.

Por tanto el diseño, desarrollo e implementación de este proyecto debe entenderse como la creación y construcción de un sistema de automatización, es decir, que se hizo con el propósito de mejorar el proceso de verificación y mantenimiento preventivo del sistema de emergencia, por tanto los análisis de la solución desarrollada estarán orientados a operatividad en su mayor parte y a confiabilidad de las mediciones tomadas por los dispositivos. También se

mostrarán las evaluaciones del acople de los protocolos de comunicación de datos y de las rutinas programadas.

De acuerdo a los objetivos planteados para la solución de la problemática que presentaba el sistema de emergencia de la estación terminal Bribrí, se inició con la recolección de información técnica de los dispositivos que eran requisito utilizar en el diseño, el PLC TWDLCDE40DRF de Schneider Electric y del analizador de energía LCA-C de SACI. Como dato interesante se obtuvo que ambos dispositivos eran capaces de comunicarse por medio del protocolo Modbus, a través de la variante RTU, y que también operaban con una tensión de alimentación de 24V CD, tensión que es muy utilizada en la industria como un estándar para la operación de equipo bajo un mismo sistema de abastecimiento eléctrico. Por tanto, esta información permitió definir que en el diseño se procuraría la utilización de estos niveles de tensión para la operación del equipo.

El autómata entre sus características posee 24 entradas digitales que operan con una lógica binaria de 0 y 24 voltios, donde 0V equivale a un 0 lógico y 24V a 1 lógico. Para medición de señales analógicas este dispositivo no cuenta con entradas analógicas integradas, por lo que fue necesario para este fin utilizar una tarjeta de expansión modelo TWDAMI8HT de forma tal que se pudiese contar con la posibilidad de mediciones de este tipo. Otro componente que se requirió añadir al PLC fue un puerto serie RS485 modelo TWDNAC48T para poder realizar la comunicación Modbus RTU con el analizador de energía, ya que éste dispositivo trae integrado ya en su diseño un puerto RS485 con este propósito.

Con estos detalles técnicos en mente se hizo el estudio de los equipos que se encontraban en la estación Bribrí, equipos que se presentan en la Tabla 4.2.1. Y se tomaron las restantes decisiones con respecto a hardware. Para poder realizar el monitoreo de la planta de emergencia, en cuanto a parámetros eléctricos se utilizaría el analizador LCA-C, ya que este se acopla perfectamente para el modelo de tres fases y un neutro con que opera la planta. También se optó por incluir o más bien integrar al diseño propiamente del proyecto, una red de

sensores que dicha planta posee para indicar de manera local en caso de que se produzca una falla la causa de la misma. Esto con el fin de realizar la misma función pero a través del sistema remoto. Ésta red de sensores incluida se puede ver en la tabla 5.2.8.1 con su respectiva descripción, los mismos son conectados a las entradas digitales del PLC.

El manejo de los accionamientos automáticos de la planta y la transferencia de energía actualmente son gobernados por un sistema controlado con un PLC TSX37 Nano y una serie de periféricos que ejecutan una función específica para que este proceso automático opere correctamente. Haciendo uso de los diagramas eléctricos de dicho sistema y con base en la explicación del proceso hecha por Deiby Guzmán Arias, se llegó a la conclusión de reingeniería que no había que quitar ningún componente, ya que cada uno estaba estratégicamente ubicado, sino más bien lo que procedía era agregar una lógica de relés que estaría controlada por el sistema operativo o unidad de procesamiento de sistema desarrollado.

Como se observa en las figuras 5.2.9.1.1, 5.2.9.2, 5.2.9.1.3, 5.2.9.1.4 y 5.2.9.1.5 se tienen 2 lógicas de relés, una para los procesos de encendido y apagado de planta únicamente y la otra para el manejo de los procesos de dar inicio o finalizar una secuencia completa de arranque de planta y transferencia de energía. Estas lógicas se implementaron mediante relés modelo RSB1A160BD de Telemecanique, por dos simples sencillas razones, la primera que la señal de activación de la bobina es de 24V DC y la segunda que el dispositivo posee cuatro contactos, dos normalmente abiertos (NO) y dos normalmente cerrados (NC) lo cual facilitaba trabajar con una misma línea de relés para ambos casos en que se requiera de un contacto de un tipo u de otro.

Las lógicas de relés están redundantes debido a que se quiere evitar a medida de lo posible de que el sistema tenga puntos débiles que puedan comprometer su correcto funcionamiento, por tanto este diseño de redundancia se hizo con base a que el punto de fallo de un relé puede ocurrir en su estado NC o NO, por lo cual

ambos casos fueron contemplados. El principio de operación del encendido o apagado de la planta se basa en cortocircuitar o dejar en circuito abierto respectivamente un contactor o interruptor que realiza estas funciones, ver figura 5.2.9.2.1. El principio de operación de un proceso de arranque de planta y transferencia se basa en simular cortes eléctricos, lo cual permite que el sistema automático con PLC TSX37 Nano haga el restante trabajo. Para iniciar el proceso la entrada digital 1 de este PLC se deja en circuito abierto y para finalizarlo se vuelve a cortocircuitar, que es su estado por defecto. En el sistema también fueron incluidas las restantes señales de alarmas que se presentan en la tabla 5.2.8.1, las cuales permitiría determinar la causa de un fallo en este proceso, dichos sensores también se conectan a la entradas digitales del PLC.

Los bancos de baterías son dos en la estación, uno para el equipo de cable Maya y el otro para el equipo de cable Arcos, cada banco es cargado a través de un rectificador con 48V. Estos bancos suplen una tensión constante a los equipos de -48V y el consumo de corriente de los equipos es de aproximadamente 120A para cable Arcos y 234A para cable Maya. Por tratarse de señales analógicas se recurrió a un convertidor universal modelo ultra slimpak G408.001 para poder medirlas, este dispositivo convierte señales en el rango de 0 – 100V a una escala de corriente de 4-20mA. Se eligió este convertidor con el criterio de que la tarjeta de expansión del PLC recibe señales únicamente de 0-10V o de 4-20mA, y de acuerdo al manejo industrial lo mejor es usar señales de corriente debido a que estas son menos susceptibles al ruido.

Para las mediciones de corriente, por tratarse de valores tan grandes, la medición además de utilizar convertidores universales ultra slimpak G408.001 también emplea shunts de 0 a 1V, lo cual permite realizar una medición indirecta donde la corriente se puede calcular a partir de la ley de Ohm. Los shunts son resistencias de baja resistividad, que convierten por ejemplo, para el caso de la implementación de este proyecto un valor de 1000A a un valor de 1V y un valor de 0A a 0V, esta caída de tensión se pasa luego a señales de corriente de 4 a 20mA por medio del convertidor.

Las mediciones del nivel de combustible se hicieron con un sensor de presión recomendado por el personal de electromecánica, el cual había sido utilizado con anterioridad en proyectos de mediciones de volúmenes de fluidos, y había arrojado resultados muy buenos. Este sensor mide la diferencia que existe entre la presión atmosférica y la presión en el fondo del tanque, valor que es luego convertido a una señal de corriente de 4-20mA y que se conecta directamente al PLC, para luego a través del principio de Arquímedes y el volumen de un cilindro horizontal calcular el volumen en litros de combustible.

Las detecciones de nivel de agua en el cuarto de equipos y cuarto de planta y transferencia se hizo a través de los sensores Finder 72.01 los cuales poseen dos sondas que se colocan por encima del piso y a un nivel considerado peligroso para que haya agua, estas sondas al entrar en contacto con el agua producen la activación de un relé que forma parte de su estructura, teniéndose entonces a la salida una tensión de 24V, señal que se conecta al PLC en forma directa.

Para el control de acceso se utilizaron los sensores magnéticos instalados ya en la planta, estos sensores permiten determinar si una puerta fue abierta o si la misma está cerrada, ya que cuando la puerta se abre se rompe el contacto magnético de los mismos y se induce una tensión de 24V DC, señal que se inyecta al PLC para luego ser procesada. En caso de que la puerta permanezca cerrada se tiene una señal constante de 0V. Este control se hizo en las 5 principales puertas de la estación.

Una vez claros con lo que era la parte de hardware, se tuvo la lista de componentes mostrada en la tabla 4.3.1, componentes que de acuerdo a la solución planteada se interconectan de la forma que se muestra en las figuras 5.2.1 y 5.2.2.

Luego de que el sistema completo a nivel de hardware estuvo listo, se dio inicio a la programación del dispositivo PLC TWDLCD40DRF por medio del programa

TwidoSuite, en esta programación se implementaron las rutinas necesarias para que el PLC operara como una interfaz entre los dispositivos periféricos y la unidad de procesamiento, la cual estaría contenida en el servidor que se plantea en la solución.

Lista la programación se procedió a las pruebas de operación de las rutinas implementadas, para ello se hizo uso de la herramienta de simulación que trae consigo el software TwidoSuite, la cual es muy poderosa y permite semejar un entorno de funcionamiento idéntico al real. Una vez que los resultados fueron satisfactorios a nivel de simulación se hicieron dos pruebas más para tener la plena certeza del funcionamiento, estas pruebas fueron a nivel de protoboard y consistieron en probar la captura de las señales digitales, para lo cual se conectó un interruptor a una de las entradas digitales, este interruptor permitía tener valores de 0 y 24 voltios, lógica binaria que fue perfectamente interpretada por el PLC, esto permitió confirmar que las mediciones de la red de sensores de planta y transferencia, el control de acceso, y la mediciones de nivel sería correctamente interpretadas y almacenadas en los correspondientes registros del PLC.

La otra prueba se hizo para las señales analógicas, para esto se conectó una fuente calibrada a 48V al convertidor ultra slimpak G408.001, el cual se configuró previamente para operar con conversiones de 0 a 50V a valores de 4 a 20mA, la señal de corriente a la salida del convertidor se conectó en una de las entradas de la tarjeta TWDAMI8HT, y en el registro respectivo del PLC se obtuvo un valor de 982, valor que al realizar la relación de proporcionalidad respectiva indicó que se trataba de una tensión de 48V. Con esto se determinó que las mediciones de presión de los sensores de los tanques de combustible, las mediciones de tensión y corriente de los bancos de baterías serían interpretadas correctamente por medio del PLC y con un alto grado de precisión.

El siguiente paso a desarrollar fue el de comunicar al analizador de energía LCA-C por medio del protocolo Modbus RTU con el PLC, esto se hizo siguiendo cuidadosamente los pasos del estándar Modbus. La conexión de estos

dispositivos se hizo mediante dos vías por medio del puerto RS485. Las tablas de control y envío que requería el PLC para ejecutar la comunicación fueron programadas, la configuración del analizador de energía se hizo con respecto a los parámetros de la tabla 5.2.5.1, el PLC se configuró con 8 bits de datos, 19200 baudios, sin paridad, 1 bit de inicio y dos bits de parada. Y se procedió a realizar la prueba.

Prueba que consistió en conectar el analizador a la red eléctrica a través de una fase de manera directa para mediciones de tensión, fase a la que se le midió también la corriente haciendo uso del transformador de prueba revalco de 600/5A, dicho sea de paso esto permitió comparar la precisión de este dispositivo ya que la medición de tensión se comparó contra una medición efectuada directamente con un multímetro y efectivamente se comprobó que su precisión está entre 0.3% y el 0.5%, ya que para fines prácticos las mediciones eran las mismas, 120.54V con el multímetro y 120.542 con el analizador. Luego a través de la instrucción EXCH2 se leyeron los datos y se obtuvo un valor en formato IEEE 754 de "42F11581" el cual efectivamente correspondía a 120.542V.

Con esta última prueba se dejó de lado al PLC y se inició con la programación en java. Se comenzó por poder comunicar al PLC con la PC que haría la función de servidor, para ello se requirió de capacitar a la PC con el protocolo Modbus TCP/IP, esto se logró finalmente con el uso de la librería de código libre jamod desarrollada en java. La prueba de la comunicación Modbus TCP/IP se hizo a través de lecturas de bloques de datos del PLC, para completar una trama de 180 registros, esta trama pudo ser perfectamente conformada y los valores fueron impresos en la consola de Netbeans 6.7.1 (el IDE utilizado para el desarrollo del proyecto programado), valores que se contrastaron con los almacenados en los registros del PLC, dando como resultado que efectivamente se trataba de los mismos valores.

Una vez que se logró tener los datos en el PC servidor había que desarrollar las funciones de validación de datos y procesamiento, ya que era necesario saber

cuando un dato era realmente un cambio significativo y posterior a esto verificar que la información que se almacenaría en la futura base de datos no era repetitivo, ya que al realizar el muestreo cada 500ms, esto cabía dentro de las posibilidades. Además, en este procesamiento de datos se determinó si existía un evento considerado como motivo de la activación de una alarma.

Listo el procesamiento de datos, se programó la base de datos de acuerdo a las tablas de la figura 5.3.3.1. La base de datos almacenaría cada una de las mediciones que fuesen leídas desde el PLC y procesadas efectivamente, para ello las rutinas de inserción y consulta fueron realizadas y probadas mediante dos métodos, uno con el la herramienta de software MySQL Quero Browser y la otra mediante impresión en consola de datos consultados e insertados previamente. Una vez que las pruebas resultaron efectivas, se dio por concluido este paso.

Lo último que restaba realizar era la página web, aquí convergerían cada uno de los pasos desarrollados en el proyecto. Por tanto su diseño se fue elaborando poco a poco por medio Struts, javascript, html. Una vez que el cuerpo o más bien la base del diseño estuvo listo se fueron incluyendo paso a paso las funciones de monitoreo, accionamiento de planta y transferencia, registros históricos, alarmas, permisos de usuario, para lo cual se programaron métodos de código java.

Terminado todo, se integró el sistema y se implementó en el entorno de red la casa de Transporte (DTOM-Transporte), para esto se le asignó la dirección IP al PLC de 10.149.24.75 y los servicios de base de dato, http y protocolo Modbus TCP/IP se establecieron en un único PC servidor al cual se le asignó la dirección IP de 10.149.24.77.

Ya con este entorno de trabajo preparado se hizo la única prueba faltante, la de encendido y apagado de planta e iniciación y finalización de un proceso de arranque de planta y transferencia, esto se hizo activando y desactivando la salida correspondiente asignada a la lógica de relés respectiva, para esto desde la conexión inalámbrica se conectó una PC cliente al sistema y se accionó el



comando de encender planta (botón ON) y al instante el LED indicador se encendió, mientras que en la vista se respetaba el tiempo de encendido, 15 segundos. Transcurridos este tiempo en la página web se indicaba si la planta había sido correctamente encendida o el proceso había fallado. Luego se probó la opción de apagar (botón OFF) y ocurrió lo mismo el LED indicador se apagó inmediatamente y nuevamente se respetó el tiempo en la vista para este proceso, el cual era de 5 minutos, finalizado este tiempo la página web indicaba el resultado de la acción, o sea, si la planta había sido correctamente apagada o aun permanecía encendida.

El mismo procedimiento se hizo con el proceso de arranque de planta y transferencia y al igual que este anterior funcionó según lo esperado. De esta forma se determinó que el poder realizar el cortocircuito al relé necesario para encender la planta era realizable a través del sistema remoto, al igual que devolverlo a su estado de circuito abierto original (planta apagada). Igual conclusión puede obtenerse para el proceso de arranque de planta y transferencia.

Finalmente, se pudo seguir el protocolo establecido en la tabla 1.2.1, lo cual indica que se cumplió con el objetivo general del proyecto y con cada uno de los objetivos específicos.

## Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

1. Se determinó que el hardware necesario para el desarrollo completo de este proyecto corresponde a los componentes de la tabla 4.3.1.
2. Se pudo establecer la comunicación a través del protocolo Modbus RTU entre el analizador de energía LCA-C y el PLC para las mediciones de los parámetros eléctricos de la planta de emergencia con un error menor al 0.5% del valor esperado.
3. Las mediciones de los parámetros eléctricos de planta de emergencia y bancos de baterías, así como de los niveles de combustible de los tanques estuvieron por debajo del 5% de error.
4. El sistema de seguridad digital de detección de niveles agua peligrosos en los cuartos del primer piso de la estación pudo realizarse con un 100% de efectividad en su operación.
5. El control de acceso a la estación pudo realizarse mediante un sistema de monitoreo remoto y en tiempo real con 0% de error.
6. La reingeniería efectuada en el módulo de control de la transferencia de energía consistió en una lógica de relés.
7. Se logró dotar al computador servidor con el protocolo Modbus TCP/IP par la comunicación por Ethernet con el PLC.
8. Las pruebas de encendido y apagado de planta, así con la iniciación y finalización de un proceso completo de arranque de planta y transferencia de forma local y remota presentaron un 100% de efectividad.

9. Los procesos de encender y apagar planta, iniciar y finalizar arranque de planta y transferencia siguen estrictamente los protocolos ya establecidos para estos procesos.
10. El tiempo de respuesta del sistema ante una acción de encendido de planta es < 20 segundos.
11. El tiempo de respuesta del sistema ante una acción de arrancar planta e iniciar transferencia es < 65 segundos.
12. El sistema implementado respeta los tiempos de histéresis de los equipos en la finalización de los procesos.
13. Todas las funciones de monitoreo y control que posee el sistema pudieron integrarse en una página web que puede ser accedida desde cualquier parte del mundo.
14. Se creó un manual de usuario para la correcta operación del sistema por parte del personal del ICE.

## 7.2 Recomendaciones

1. Incluir las vistas para la redundancia en los proceso de accionamiento de planta y transferencia.
2. Incluir en los alertas y registros históricos los accionamientos a causa de cortes en el fluido eléctrico comercial.
3. Incluir un protocolo de seguridad más elaborado antes de cada accionamiento.
4. Migrar las vistas que utilizan el método “get” al método de “post”.

## Bibliografía

1. Acromag, Inc. [En línea]: Introduction to Modbus TCP/IP. Disponible en: <[http://cgmfileservr.ucdavis.edu/binders/Data%20Acquisition%20Infrastructure/signal%20conditioning%20hardware/BusWorks%20Ethernet%20Relay%20%28982EN-4012%29/intro\\_modbusTCP\\_765a.pdf](http://cgmfileservr.ucdavis.edu/binders/Data%20Acquisition%20Infrastructure/signal%20conditioning%20hardware/BusWorks%20Ethernet%20Relay%20%28982EN-4012%29/intro_modbusTCP_765a.pdf)> [Consulta: 05 de agosto de 2009, 09:00 a.m.].
2. Cisco. [En línea]: *Configuring Network Address Translation: Getting Started*: Disponible en: <[http://www.cisco.com/en/US/tech/tk648/tk361/technologies\\_tech\\_note09186a0080094e77.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk648/tk361/technologies_tech_note09186a0080094e77.shtml)> [Consulta: 21 de diciembre de 2009, 7:30 a.m.].
3. Gobierno Vasco. [En línea]: *Presión Hidrostática. El principio de Arquímedes*: Disponible en: <[http://www.hiru.com/es/fisika/fisika\\_00900.html](http://www.hiru.com/es/fisika/fisika_00900.html)> [Consulta: 08 de enero de 2010, 8:00 a.m.].
4. Grupo ICE. [En línea]: *Historia: ¿Cómo nacimos?* [San José, Costa Rica]: Disponible en: <<http://www.grupoice.com/esp/qsomos/infobase/historia.htm>> [Consulta: 23 de diciembre de 2009, 09:00 a.m.].
5. Modbus-IDA. [En línea]: *Modbus Application Protocol Specification V1.1b*. Disponible en: <[http://www.modbusida.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbusida.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)> [Consulta: 05 de agosto de 2009, 08:00 a.m.].
6. MySQL. [En línea]: *MySQL 5.0 Reference Manual*: Disponible en: <<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/>> [Consulta: 05 de octubre de 2009, 8:00 a.m.].
7. Quesada Z, Douglas. Vargas V, Johnny. Córdoba, Jose Luis, et ál. *Microproyecto Automatización Bribri*. Instituto Costarricense de Electricidad, 2007.
8. Sourceforge.net. [En línea]: *Jamod*: Disponible en: <<http://jamod.sourceforge.net/>> [Consulta: 02 de setiembre de 2009, 7:30 a.m.].
9. Sourceforge.net. [En línea]: *Jmodbus*: Disponible en: <<http://jmodbus.sourceforge.net/>> [Consulta: 02 de setiembre de 2009, 7:30 a.m.].

10. Torres H, Margarita. Rojas M, Mario. Barrietos B. Carlos. *Las telecomunicaciones en Costa Rica 1886-2004*. Instituto Costarricense de Electricidad.
11. Universidad de Chicago. [En línea]: Modbus Over Serial Line. Specification and Implementation Guide V1.02: Disponible en <[http://cars9.uchicago.edu/software/epics/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](http://cars9.uchicago.edu/software/epics/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf)> [Consulta: 05 de agosto de 2009, 10:00 a.m.]
12. Wikipedia. [En línea]: *Apache Struts*: Disponible en: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Apache\\_Struts](http://es.wikipedia.org/wiki/Apache_Struts)> [Consulta: 06 de enero de 2010, 09:15 a.m.].
13. Wikipedia. [En línea]: *Automatización Industrial*: Disponible en: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n\\_industrial](http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial)> [Consulta: 04 de enero de 2010, 11:00 a.m.].
14. Wikipedia. [En línea]: *GlassFish*: Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/GlassFish>> [Consulta: 06 de enero de 2010, 09:35 a.m.].
15. Wikipedia. [En línea]: *Lenguaje de Programación Java*: Disponible en: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje\\_de\\_programaci%C3%B3n\\_Java](http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_de_programaci%C3%B3n_Java)> [Consulta: 06 de enero de 2010, 09:00 a.m.].
16. Wikipedia. [En línea]: *MySQL*: Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/MySQL>> [Consulta: 06 de enero de 2010, 09:45 a.m.].

## Apéndices y Anexos

### A Apéndices

#### A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.

**ICE:** Instituto Costarricense de Electricidad y Telecomunicaciones.

**DTOM:** Dirección Técnica de Operación y Mantenimiento.

**DTOM-Transporte:** Departamento que se encarga de la transmisión y recepción de los datos de las telecomunicaciones del país.

**SNT:** Sistema Nacional de Telecomunicaciones.

**%MW:** Representación de registros internos del PLC.

**%I0:** Representación de entradas del PLC.

**%Q0:** Representación de salidas del PLC.

**EXCH2:** Instrucción empleada en el PLC para el intercambio de datos por medio del protocolo Modbus RTU.

**Cable submarino:** Enlaces construidos principalmente de fibra óptica y que poseen grandes ancho de banda. Atraviesan los mares y son dedicados al servicio de las telecomunicaciones.

**Cable Maya:** Cable submarino que permite la conectividad punto-punto de Costa Rica con Estados Unidos, México, Centro América, Panamá y Colombia; y en forma indirecta, por medio de la red mundial de cables submarinos, permite a Costa Rica tener conectividad con Europa, Asia y África.

**Cable Arcos:** Cable submarino que interconecta 15 países en la región del Caribe: Estados Unidos, Bahamas, Turks y Caicos, República Dominicana, Puerto Rico, Curacao, Venezuela, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guatemala, Belice y México.

**Planta Eléctrica:** Generador eléctrico movido por un motor de combustión interna y que permite el abastecimiento de electricidad. La capacidad de abastecimiento eléctrico depende de las características eléctricas del generador.

**Banco de Baterías:** Organización de pilas o baterías en conexión serie, paralelo o serie-paralelo que se encargan de almacenar energía eléctrica para su posterior uso o uso inmediato.

**Sensor:** Transductor que convierte señales físicas en señales eléctricas.

**Automatización:** Es un sistema que permite la transferencia de tareas de producción, ejecución de procesos, supervisión, toma de datos, entre otras, que habitualmente son realizadas por seres humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

**PLC:** Controladores lógicos programables o autómatas. Son computadores dispuestos a operar bajo condiciones severas como polvo, humedad, frío, calor. Poseen una organización determinada de entradas y salidas, sin embargo su estructura permite la adaptación de módulos que permiten aumentar sus características. Se emplean para construir sistemas de automatización.

**Modbus:** Protocolo estándar en la industria para la comunicación en redes de dispositivos. Es un protocolo público y de fácil implementación. Opera en la capa 7 del modelo OSI y está basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente servidor.



**Modbus RTU:** Variación del protocolo Modbus que opera en la capa 2 del modelo OSI. Emplea en el nivel físico diferentes tipos de cable o interfaces de conexión RS485, RS232.

**Modbus TCP/IP:** Variación del protocolo Modbus que encapsula la variación Modbus RTU en una interfaz TCP que corre sobre ethernet.

**Modelo OSI:** El modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection) empleado en sistemas de comunicaciones. es considerado una arquitectura de redes, ya que especifica el protocolo que debe ser usado en cada capa. Define 7 capas: física, enlace de datos, red, transporte, sesión, presentación, aplicación.

**RS485:** Protocolo de comunicación serie utilizado para el transporte de datos a grandes distancias. Su interconexión puede ser a cuatro o dos vías.

**Ethernet:** Es un estándar de redes de computadoras con acceso al medio por contienda CSMA/CD. Define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

**Trama de Datos:** Unidad de envío de datos. Forma de organización de la información.

**Dirección IP:** Identificador único y exclusivo de un host o dispositivo dentro de una red.

**NAT:** Proceso de configuración para la traducción de direcciones de red. Sus siglas se deben a su significado en inglés Network Address Translations.

**Bit:** Unidad lógica de datos más pequeña, puede tener dos valores "1" o "0".

**Byte:** Conjunto de 8 bits.

**Word:** Conjunto de 2 bytes, 16 bits.

**Registros:** Organización de memoria para el almacenamiento de información.

**TwidoSuite:** Software de Schneider Electric para la programación de PLCs de la línea Twido.

**Java:** Es un lenguaje de programación muy utilizado para el desarrollo de aplicaciones web y escritorio, está orientado a objetos. Parte de su sintaxis es tomada de C y C++. Es un lenguaje compilado.

**Struts:** Es una herramienta de soporte para la implementación de aplicaciones web que utiliza la plataforma J2EE (Java 2, Enterprise Edition). Struts permite reducir el tiempo de desarrollo web ya que simplifica la programación html mediante comandos o instrucciones de fácil uso y que ejecutan un equivalente de código html pero con orientación al lenguaje java. Su uso es libre y es compatible con todas las plataformas de java.

**Glassfish:** es un servidor de aplicaciones desarrollado por Sun Microsystems, permite ejecutar aplicaciones que siguen las especificaciones de las tecnologías Java EE. Es gratuito y de código libre.

**Bases de datos:** Es un esquema de almacenamiento de datos, guardados de forma sistemática para ser usados posteriormente, ya sea para ser consultados, actualizados, o simplemente eliminados. Para el proyecto en cuestión la base de datos se hizo utilizando MySQL, el cual es un sistema de gestión de base de datos, relacional, multihilo y multiusuario.

**String:** Tipo de dato de java que permite representar información por medio de texto.

**Int:** Tipo de dato de java que permite la representación de números enteros.

**Flot:** Tipo de dato de java que permite la representación de números decimales.

**Relé:** Dispositivo interruptor controlado por un selenoide.

**A.2 Manual de usuario.**

**Instituto Costarricense de Electricidad y  
Telecomunicaciones (ICE)**



**Dirección Técnica de Operación y Mantenimiento**

**Departamento de Transporte (DTOM-Transporte)**

**Automatización del sistema de emergencia de la estación de  
cable submarino Bribrí del Instituto Costarricense de Electricidad  
y Telecomunicaciones**

**Manual de usuario**

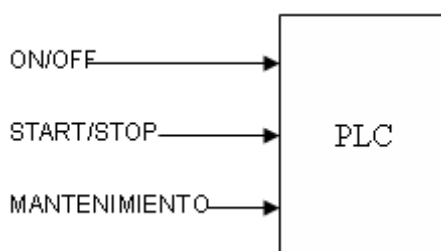
**Enero 2010**

### A.2.1. Descripción general del sistema

El sistema desarrollado para la automatización del sistema de emergencia de la estación de cable submarino Bribrí permite efectuar un monitoreo en tiempo real de los equipos así como ejercer acciones de control sobre los procesos de encendido y apagado de planta e inicio y finalización de un proceso completo de arranque de planta y transferencia de energía. También cuenta con un sistema de alarmas que permite identificar el módulo o la causa específica de una alerta o avería producida. La implementación se hizo a nivel local y remoto.

### A.2.2 Descripción del sistema a nivel local

Desde el punto de vista local, se tiene una lógica de control debidamente identificada como la mostrada en la figura A.2.2.1, la cual permite por medio del botón **ON/OFF** encender o apagar la planta de emergencia dependiendo de su estado actual. El mismo caso sucede para el botón **START/STOP**, el cual permite iniciar o finalizar un proceso de arranque de planta + transferencia de energía dependiendo de su estado actual. Desde el sistema local también se puede efectuar un monitoreo de los parámetros eléctricos de la planta de emergencia por medio del equipo medidor o analizador de energía LCA-C a través de su pantalla lcd.



**Figura A.2.2.1** Lógica de control local del sistema.

El interruptor de **MANTENIMIENTO** por su parte funciona como medida de seguridad para los técnicos que dan mantenimiento a la planta de emergencia, ya

que al estar activo, es decir en posición 1, le indica al sistema remoto que la planta se encuentra en mantenimiento y entonces los procesos de planta y transferencia no pueden ser ejecutados., hasta que este señal vuelva a ser establecida a inactividad, es decir a la posición 0.

### **A.2.3 Descripción del sistema a nivel remoto**

El sistema remoto presenta las siguientes características:

- Monitorear en tiempo real los parámetros eléctricos de la planta de emergencia y de los bancos de baterías de Maya y de Arcos.
- Medir la cantidad de combustible contenido en los tanques interno y externo que abastecen la planta de emergencia.
- Determinar la existencia de humedad en el cuarto de equipos y en el cuarto de planta y transferencia.
- Llevar un control de acceso a la estación.
- Encender y apagar la planta.
- Iniciar y finalizar un proceso completo de arranque de planta y transferencia.
- Monitorear las alarmas activas en la estación, así como desactivarlas una vez que estas fueron atendidas.
- Llevar un registro histórico de las mediciones y de los accionamientos, los cuales pueden consultarse en línea o ser exportados a un archivo Excel o PDF.

### **A.2.4 Pasos para la operación de sistema remoto**

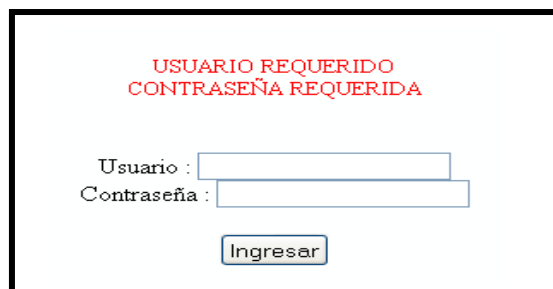
El acceso al sistema se hace a través de una página web (cargada en un servidor junto con el proyecto programado), la cual puede ser accedida por medio de la red interna del ICE o a través de la Internet, el primer paso para usar el sistema es contar con los permisos necesarios, para ello se requiere ser estrictamente funcionario del ICE y estar inscrito en la base de datos propietaria del sistema.

Cuando se direcciona la página web como **ipServidor:8080/Bribri** se presenta la siguiente vista, en ella se debe ingresar el “alias” y la contraseña que usted utiliza en el ICE, entonces el programa se encargará de revisar si usted posee los permisos necesarios para permitirle o no el acceso. El alias se ingresa en el campo de Usuario y la contraseña en el campo de Contraseña, luego se le da click al botón de ingresar.



**Figura A.2.4.1** Vista de ingresar usuario y contraseña.

En caso de que se deje uno o ambos campos vacíos usted verá alguno de los siguientes mensajes:



**Figura A.2.4.2** Mensaje de error en caso de que se pulse el botón ingresar sin antes haber ingresado el nombre de usuario y contraseña.

CONTRASEÑA REQUERIDA

Usuario : gumata1

Contraseña :

Ingresar

Detailed description: This is a screenshot of a login interface. At the top, the text 'CONTRASEÑA REQUERIDA' is displayed in red. Below it, the 'Usuario' field contains the text 'gumata1'. The 'Contraseña' field is empty. A blue 'Ingresar' button is positioned below the password field.

**Figura A.2.4.3** Mensaje de error en caso de que se pulse el botón ingresar sin antes haber ingresado su contraseña.

USUARIO REQUERIDO

Usuario :

Contraseña :

Ingresar

Detailed description: This is a screenshot of a login interface. At the top, the text 'USUARIO REQUERIDO' is displayed in red. Below it, the 'Usuario' field is empty. The 'Contraseña' field contains ten black dots. A blue 'Ingresar' button is positioned below the password field.

**Figura A.2.4.4** Mensaje de error en caso de que se pulse el botón ingresar sin antes haber ingresado su nombre de usuario.

NO TIENE PERMISOS PARA INGRESAR

Usuario : gumata1

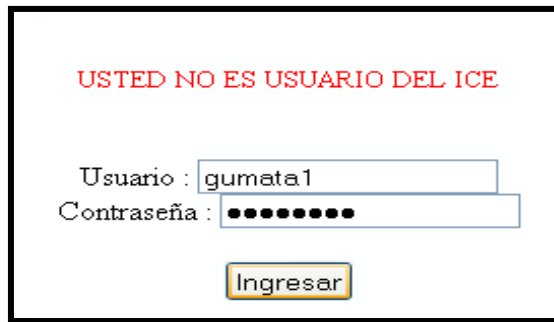
Contraseña :

Ingresar

Detailed description: This is a screenshot of a login interface. At the top, the text 'NO TIENE PERMISOS PARA INGRESAR' is displayed in red. Below it, the 'Usuario' field contains the text 'gumata1'. The 'Contraseña' field contains ten black dots. A blue 'Ingresar' button is positioned below the password field.

**Figura A.2.4.5** Mensaje de error en caso de que usted sea usuario del ICE pero no está inscrito en la base de datos propietaria del sistema.





**Figura A.2.4.6** Mensaje de error en caso de que usted no sea usuario del ICE.

En caso de ingresar un usuario y contraseña válidos, usted podrá tener acceso al sistema remoto. Una vez hecho un clic en el botón de ingresar se le presentará la página de bienvenida, la cual se muestra en la figura A.2.4.7.

Ya en esa página usted puede elegir la acción que desea realizar, con tan sólo hacer click en alguno de los links de los menús laterales o de los menús ubicados en el encabezado y pie de la vista.



**Figura A.2.4.7** Vista de bienvenida a la aplicación web.

## A.2.5 Funciones de Monitoreo

El monitoreo de equipos puede hacerse para la planta de emergencia, los bancos de baterías, tanques de combustible, sensores de humedad, puertas de la estación.

Por ejemplo si lo que quiere es verificar el estado de las características eléctricas de la planta basta con hacer click en la imagen o en la opción **Planta de Emergencia** e inmediatamente se presentará la vista de la figura A.2.5.1

En esta vista usted podrá leer los datos de tensión y corriente de fase, el consumo de potencia activa total que supe la planta, factor de potencia y frecuencia.



Figura A.2.5.1 Vista del monitoreo de los parámetros eléctricos de la planta eléctrica.

Por su parte si se quiere monitorear los bancos de baterías haga click en la imagen o en la opción de **Banco de Baterías** y usted tendrá acceso a la vista de la figura A.2.5.2, En ella podrá ver la tensión, la corriente y la potencia que supe

cada banco. Si las tensiones no se encuentran en el rango de  $48V \pm 2V$  se indicará que el banco específico se encuentra alarmado por medio de una imagen roja en el campo de estado, caso contrario se presentará una imagen verde si todo está correcto.



**Figura A.2.5.2** Vista del monitoreo de los parámetros eléctricos de los bancos de baterías Maya y Arcos.

El monitoreo de los tanques de combustible y los sensores de humedad se llevan a cabo en la misma vista como se muestra en la figura A.2.5.3, para acceder a esta vista basta con hacer click en la opción **Sensores**.

Si los tanques poseen un nivel de combustible inferior a un cuarto del total se activará una alarma y en el campo estado, esta situación se evidenciará con una imagen roja.

Bajo la misma lógica opera la detección de humedad en las salas donde se ubican los sensores, es decir, presencia de humedad imagen color rojo, nivel de

agua por debajo de lo establecido, estado normal y se indica con una imagen color verde.

Para los tanques el campo de horas de funcionamiento de la planta ante cierta cantidad de combustible aun no se encuentra activo, está pendiente su cálculo.



**Figura A.2.5.3** Vista del monitoreo de los sensores de humedad y del nivel de combustible de los tanques de combustible.

Por último, se tiene el monitoreo del control de acceso a la estación a través de las principales 5 puertas, este permite determinar si una puerta se encuentra abierta y en el momento en que esta se abrió. Para tener acceso a esta vista se debe hacer click en la opción **Control de Acceso** y se verá una página como la mostrada en la figura A.2.5.4.



Figura A.2.5.4 Vista del monitoreo del control de acceso a la estación.

## A.2.6 Funciones de Accionamiento

Para entrar al menú de accionamientos tiene que dar click a la opción **Accionamiento de Planta** del menú lateral derecho. Una vez ahí elige el tipo de accionamiento de planta que desea ejecutar (*Requiere perfil de Administrador*).



Figura A.2.6.1 Menú de accionamientos de planta.

En el caso de que se presione el botón de ON, OFF, INICIAR o FINALIZAR y se presente un error como el mostrado en la figura A.2.6.2, se debe revisar que se tenga conexión con el PLC, ya que posiblemente ahí se encuentre el fallo.

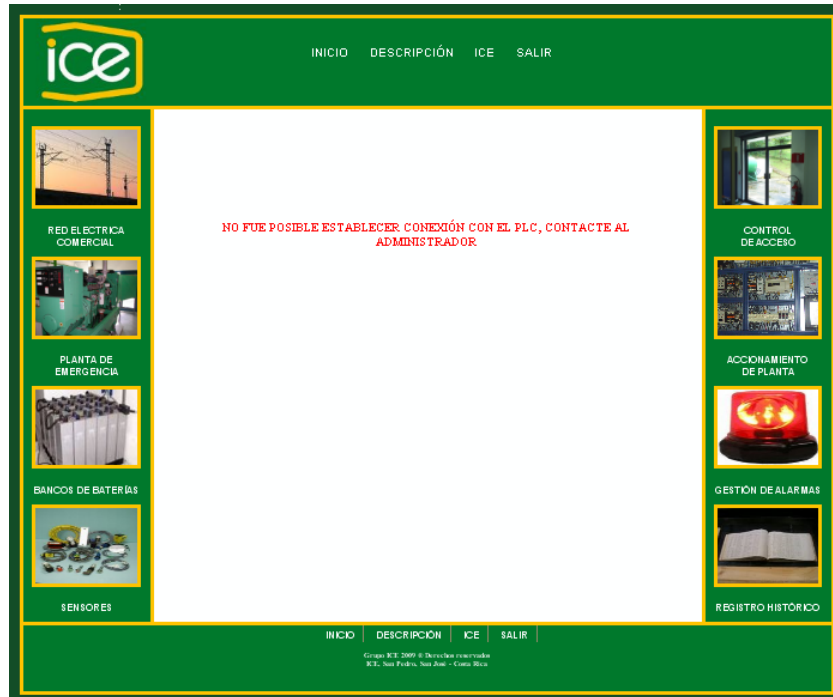


Figura A.2.6.2 Vista de error al conectar con el dispositivo PLC.

### A.2.6.1 Encendido de planta

Para encender la planta de forma remota debe primero tenerse la certeza que la planta no se encuentra ya encendida, si la misma está activa se observará una vista como la mostrada en la figura A.2.6.1.1. Si se está en presencia de esta vista ningún proceso de encendido funcionará, ya que el sistema se da cuenta de que la planta ya está operando e ignora el comando.

Si no aparece ningún mensaje de alerta quiere decir que a la planta está dispuesta para poder encenderse, entonces con un click en el botón de **On** se inicia la ejecución del proceso. El proceso comienza con una vista como la mostrada en la figura A.2.6.1.2, la cual es básicamente un página de conteo para darle el tiempo prudencial que requiere la planta para arrancar.



Figura A.2.6.1.1 Vista que alerta al usuario remoto que la planta se encuentra encendida.

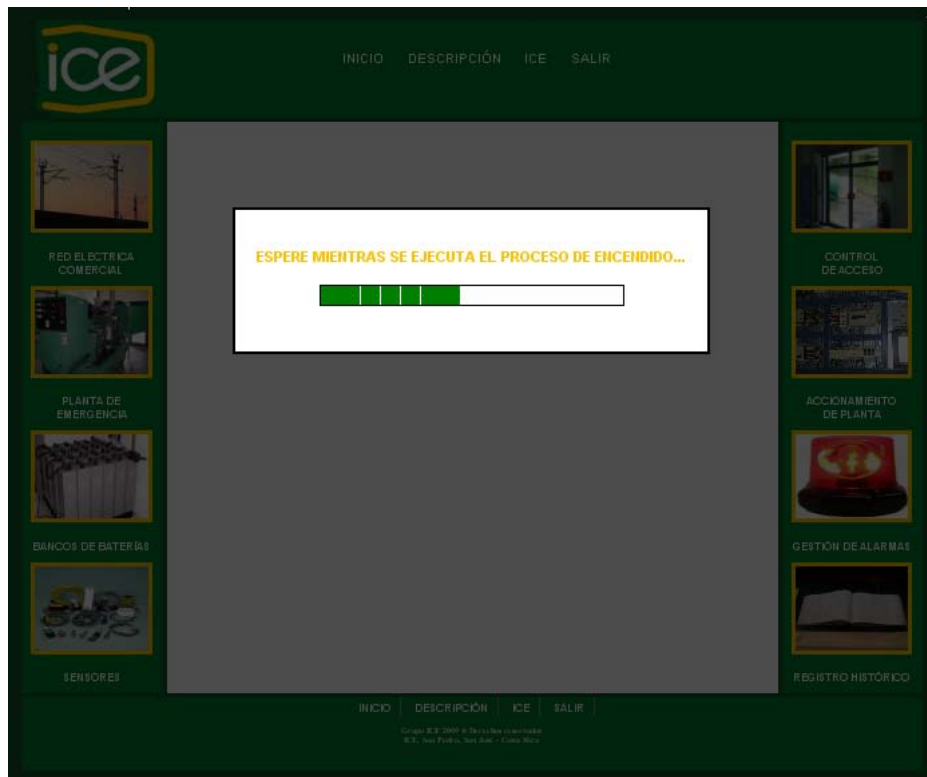


Figura A.2.6.1.2 Tiempo de espera para darle oportunidad a la planta de arrancar (15 segundos aproximadamente).

Trascurridos los 15 minutos el sistema mostrará cualquiera de las vistas presentadas en la figura A.2.6.1.3 o A.2.6.1.4 como resultado del proceso. La vista de la figura A.2.6.1.3 indica que el encendido de la planta fue exitoso. Mientras que la vista de la figura A.2.6.1.4 nos dice que la planta no arrancó. Como posibles causas de este fallo se tienen las alarmas de planta presentadas en la misma vista, con sólo 1 que esté roja esa fue la causa. En caso de que todas estén verdes y aun así la planta no haya arrancado la causa se desconoce y es necesario informar a los técnicos encargados.

The screenshot displays the ICE control interface. At the top, there is a navigation bar with the ICE logo and menu items: INICIO, DESCRIPCIÓN, ICE, and SALIR. The main content area features a central table titled "TABLA 7: SENSORES DE VERIFICACIÓN DE ALARMAS DE LA PLANTA DE EMERGENCIA". Below the table, a large green checkmark is accompanied by the text "LA PLANTA DE EMERGENCIA HA SIDO ENCENDIDA CORRECTAMENTE!!!". The interface is flanked by two vertical panels of icons representing different system components: "RED ELECTRICA COMERCIAL", "PLANTA DE EMERGENCIA", "BANCOS DE BATERIAS", and "SENSORES" on the left; and "CONTROL DE ACCESO", "ACCIONAMIENTO DE PLANTA", "GESTION DE ALARMAS", and "REGISTRO HISTORICO" on the right. A bottom navigation bar repeats the menu items and includes a small copyright notice: "Grupo ICE 2009. Todos los derechos reservados. ICE, Sus Productos, Sus Datos - Grupo ICE".

SENSOR	ESTADO
BAJA PRESION DE ACEITE (BPA)	■
ALTA TEMPERATURA DE MOTOR (TEM)	■
EXCESO DE VELOCIDAD (VEL)	■
EXCESO DE ARRANQUE (EA)	■
VOLTAJE GENERADOR ANORMAL (VGA)	■

Figura A.2.6.1.3 Vista que muestra que la planta de emergencia fue encendida correctamente.



ice

INICIO DESCRIPCIÓN ICE SALIR

TABLA 7: SENSORES DE VERIFICACIÓN DE ALARMAS DE LA PLANTA DE EMERGENCIA

SENSOR	ESTADO
BAJA PRESION DE ACEITE (BPA)	■
ALTA TEMPERATURA DE MOTOR (TEM)	■
EXCESO DE VELOCIDAD (VEL)	■
EXCESO DE ARRANQUE (EA)	■
VOLTAJE GENERADOR ANORMAL (VGA)	■

FALLÓ EL ENCENDIDO DE LA PLANTA DE EMERGENCIA!!!

RED ELECTRICA COMERCIAL

PLANTA DE EMERGENCIA

BANCOS DE BATERIAS

SENSORES

CONTROL DE ACCESO

ACCIONAMIENTO DE PLANTA

GESTION DE ALARMAS

REGISTRO HISTORICO

INICIO | DESCRIPCIÓN | ICE | SALIR

Grupo ICE 2009. © Derechos reservados  
ICE, San Pedro, San José - Costa Rica

Figura A.2.6.1.4 Vista que muestra que la planta de emergencia falló al intentar encenderse.

## A.2.6.2 Apagado de planta

Para el apagado de la planta de emergencia se debe dar click al botón **OFF** siempre y cuando la planta se encuentre encendida, ya que de no ser así la orden no tiene sentido, una vez hecho esto se levanta una ventana de pop up, indicando que el proceso tardará 5 minutos, esta vista se observa en la figura A.2.6.2.1. Luego de que trascurren 15 segundos, o que el usuario cierre esta vista informativa, se abre una ventana emergente que llevará de la mano los acontecimientos del apagado de la planta de emergencia. Esta ventana se observa en la figura A.2.6.2.2. Es posible que para ver la información de esta vista tenga que configurar su explorador o navegador de Internet para que permita los Pop Up del sitio donde se encuentra cargado el proyecto. Esta ventana no es recomendado cerrarla, debe permanecer abierta hasta que el proceso de

apagado culmine. En la vista de la figura A.2.6.2.3 se muestra una confirmación de cerrar para esta ventana. La ventana puede minimizarse en lugar de cerrarla.

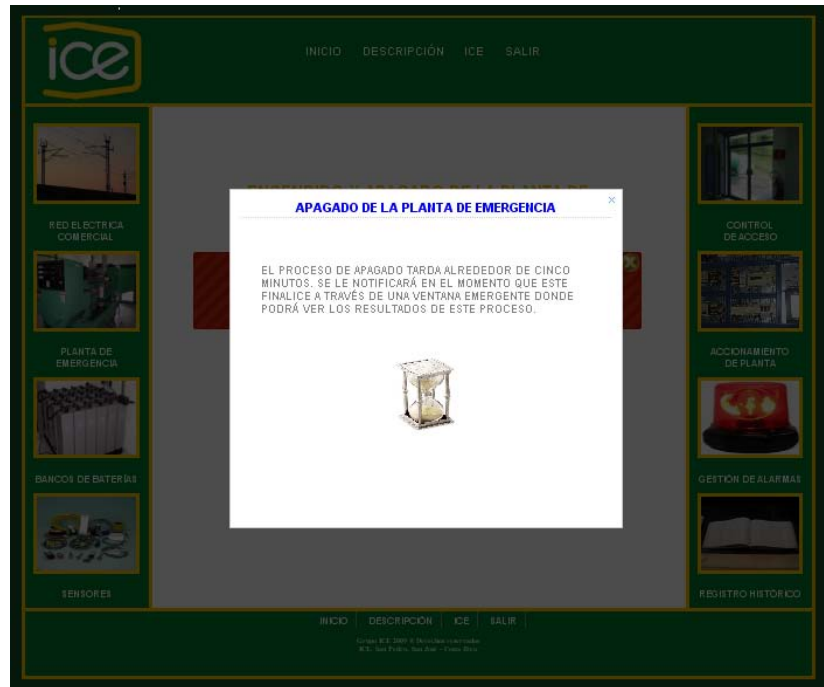


Figura A.2.6.2.1. Vista informativa de que el proceso de apagado tarda 5 minutos.



Figura A2.6.2.2 Ventana emergente para el manejo de los acontecimientos del apagado de planta de emergencia.

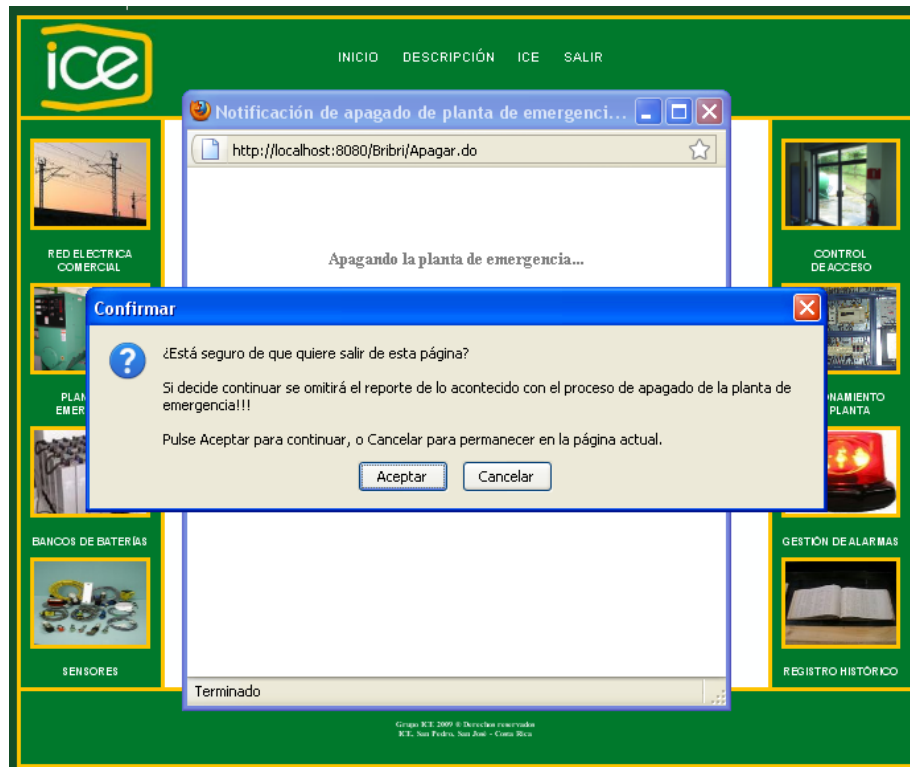


Figura A.2.6.2.4 Vista de confirmación para cerrar ventana emergente del proceso de apagado.

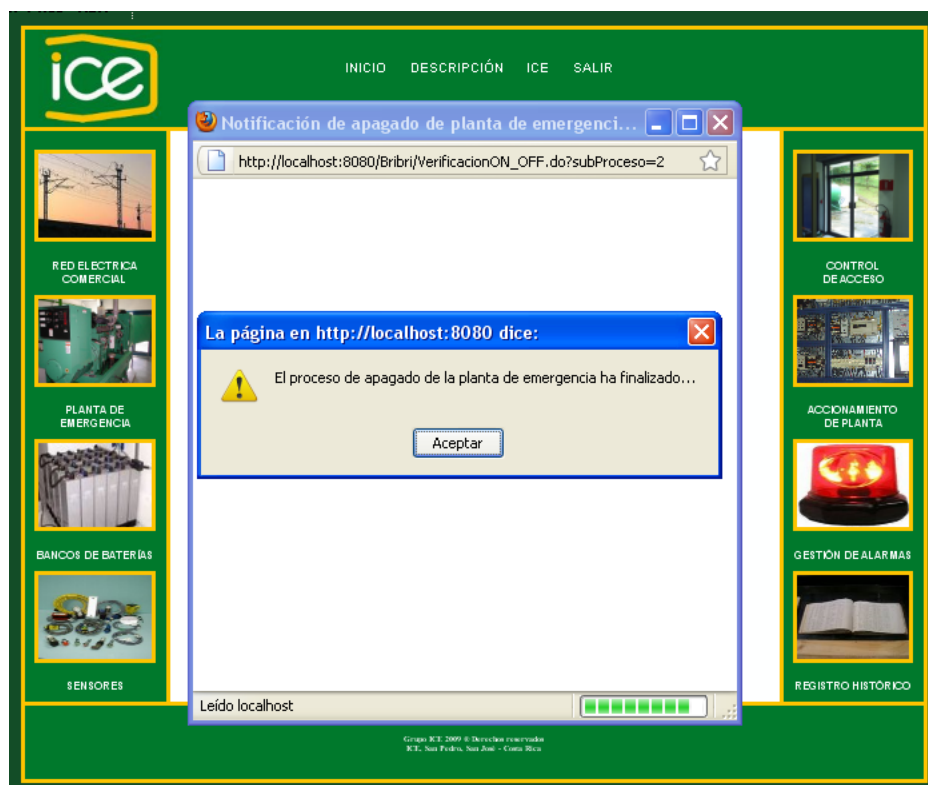
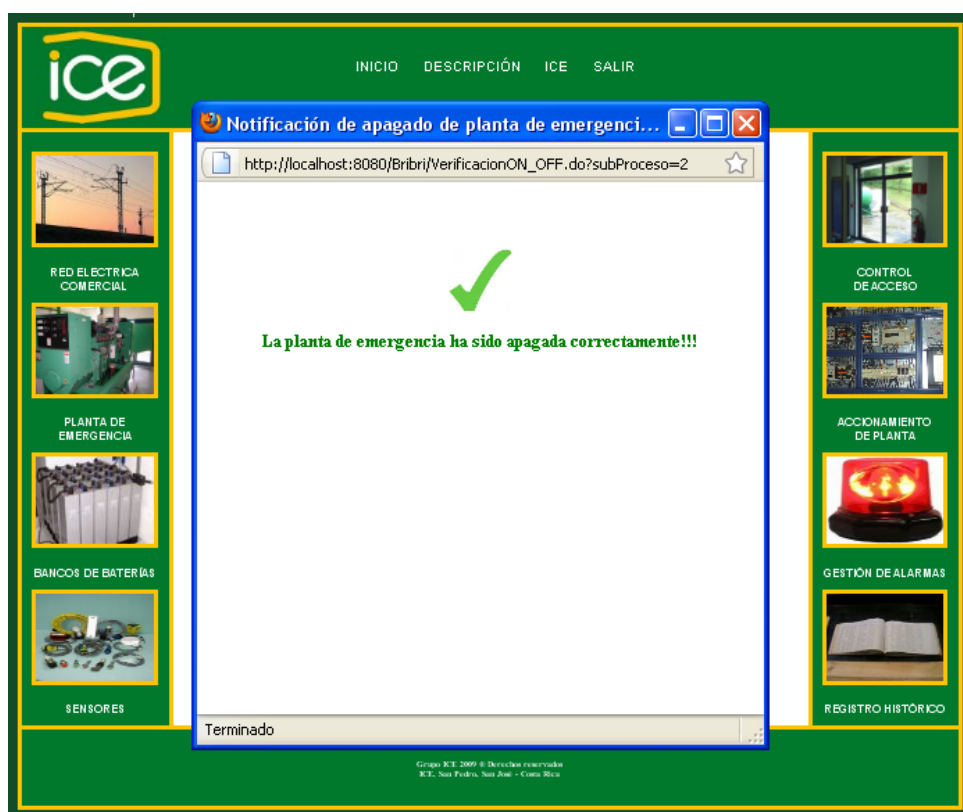


Figura A.2.6.2.4 Notificación de finalización del proceso de apagado.

Una vez transcurridos los 5 minutos, el sistema envía una notificación al usuario para que éste se percate que el tiempo de apagado fue completado y para que revise el resultado de este proceso, en la figura A.2.6.2.4 se muestra la notificación enviada al usuario. Una vez que se da click al botón aceptar el resultado es mostrado, en caso de que la planta se haya apagado correctamente se muestra la vista de la figura A.2.6.2.5, y en caso de que el apagado falle, es decir que la planta aun continúe operando se muestra la vista de la figura A.2.6.2.6.



**Figura A.2.6.2.5** Vista que indica que el apagado de la planta de emergencia fue efectuado correctamente.

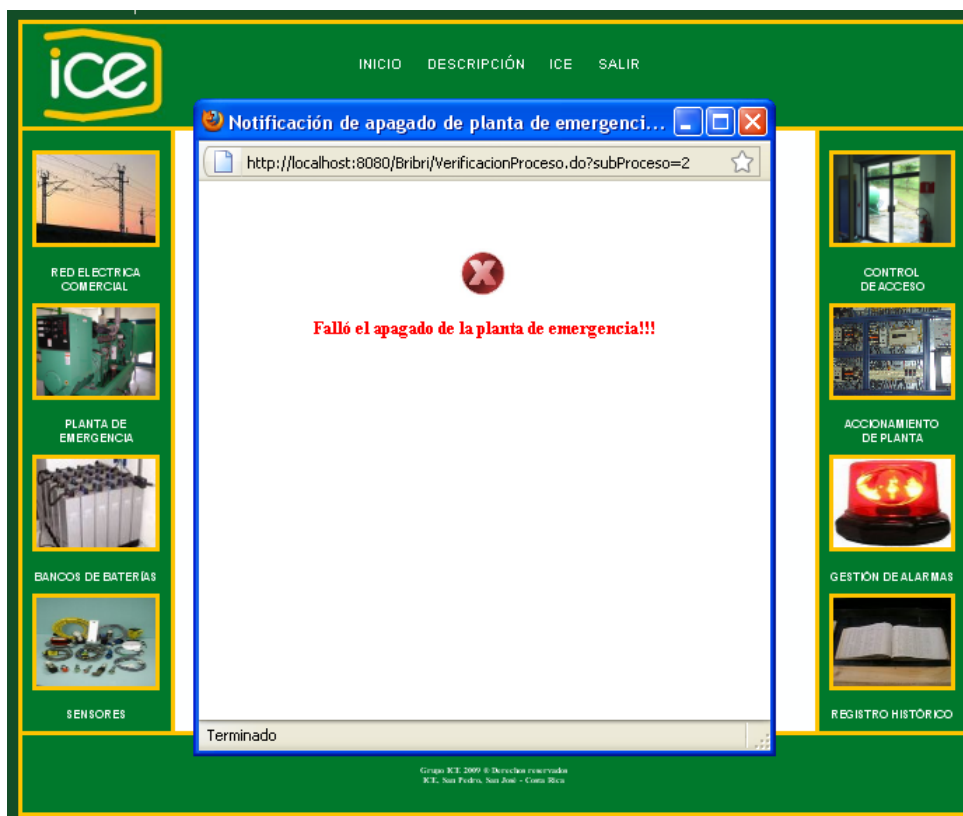


Figura A.2.6.2.6 Vista que indica que el apagado de la planta de emergencia falló.

### A.2.6.3 Inicio de un proceso completo de arranque de planta + transferencia de energía.

Para ejecutar un proceso de arranque de planta y transferencia, la planta debe estar sin operar, esto equivale a que la vista de los botones no posea ninguna alerta como se muestra en la figura A.2.6.3.1, ya que de ser así el comando no operará. Luego de verificar que la planta no esté activa se le da click al botón **INICIO** y se inicia el proceso secuencial que se muestra en el recorrido de las figuras A.2.6.3.2 donde se espera a que arranque la planta, A2.6.3.3 donde entra la transferencia de energía, y finalmente se obtiene el resultado del proceso, que de haber transcurrido sin inconvenientes mostrará la vista de la figura A.2.6.3.4. Sin embargo si después de los 30 segundos que requiere la transferencia para entrar se detecta un problema en la frecuencia de la planta (diferente de 60Hz) o en la tensión de la planta (fuera del rango de 190 a 230 V) se presentarán las vistas correspondientes a las figuras A.2.6.3.5 y A.2.6.3.6 respectivamente.



Figura A.2.6.3.1 Vista de puesta en marcha de la planta y proceso de transferencia.

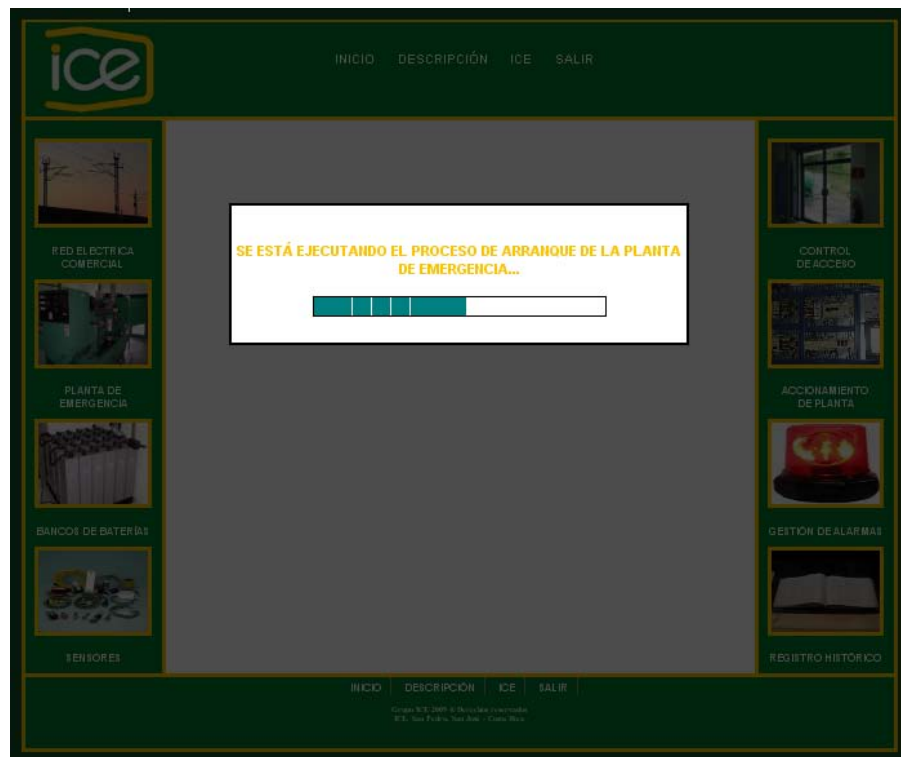


Figura A.2.6.3.2 Vista de espera para darle tiempo a la planta de arrancar (15 segundos).

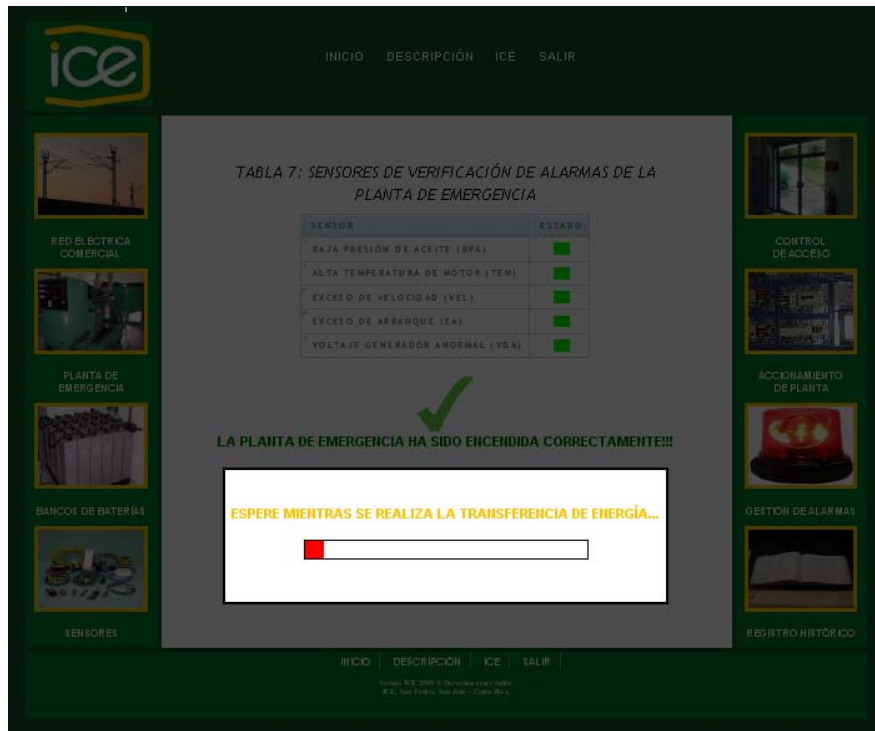


Figura A.2.6.3.3 Vista de espera para darle tiempo a que entre la transferencia (30 segundos).



Figura A.2.6.3.4 Vista de verificación para el proceso de arranque de planta y transferencia.



Figura A.2.6.3.5 Vista que indica que pese a que la planta arrancó, la transferencia no se realizó debido a un problema de frecuencia en la planta.

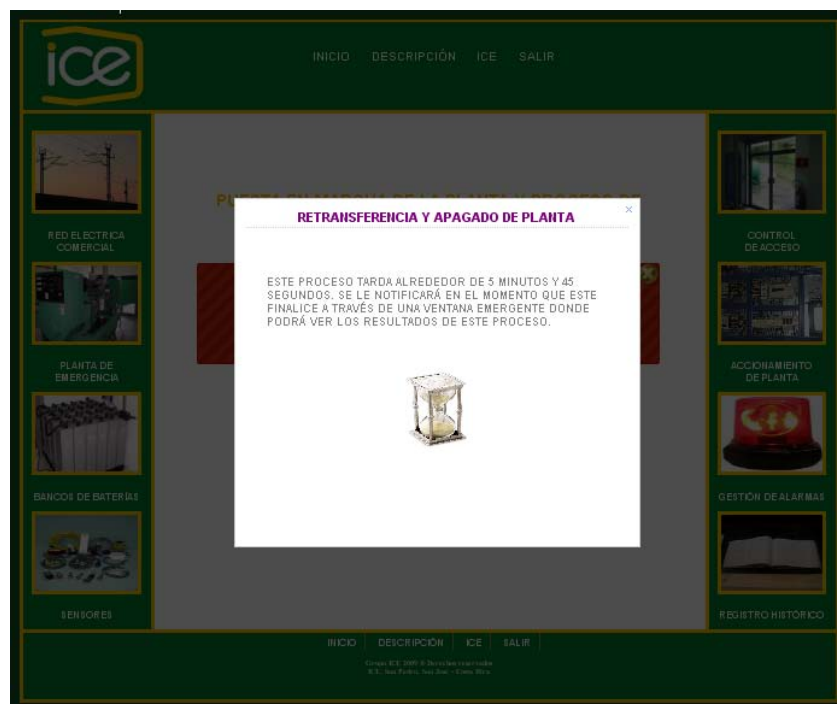


Figura A.2.6.3.6 Vista que indica que pese a que la planta arrancó, la transferencia no se realizó debido a un problema de nivel de tensión en la planta.



#### A.2.6.4 Fin de un proceso completo de arranque de planta + transferencia de energía.

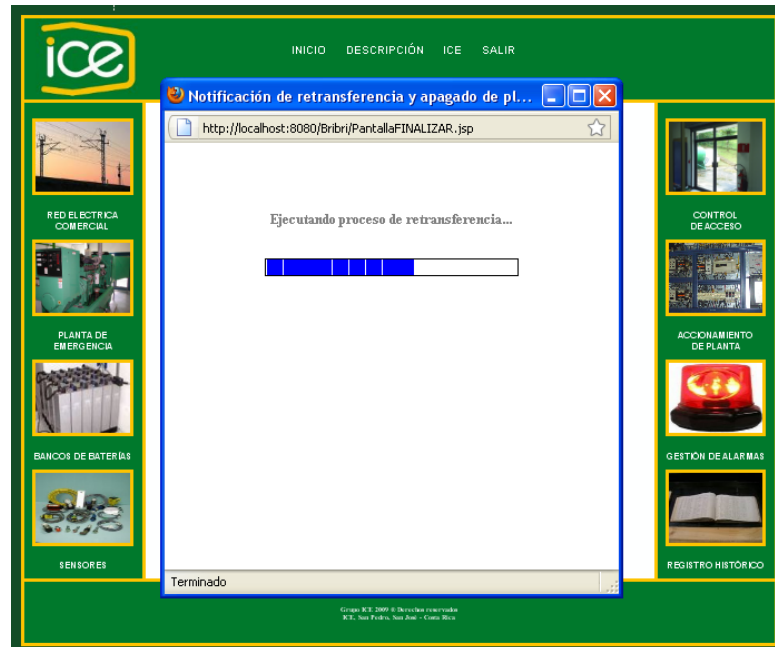
Para iniciar un proceso de retransferencia y apagado de planta, se debe presionar el botón **FIN**, entonces comenzará la secuencia de pasos mostrada en las figuras A.2.6.4.1 donde se le notifica al usuario que este proceso tarda alrededor de 5 minutos 45 segundos. Posteriormente el sistema abre una ventana emergente, por lo cual debe configurarse el navegador de Internet que utilice para permitir las ventanas emergentes o pop up para este sitio. En esta vista que es la mostrada en la figura A.2.6.4.2 se maneja toda la información relacionada con el proceso de retransferencia y apagado de planta, por tanto no debe cerrarse ya que si lo hace no conocerá si la ejecución de este proceso fue exitosa o no.



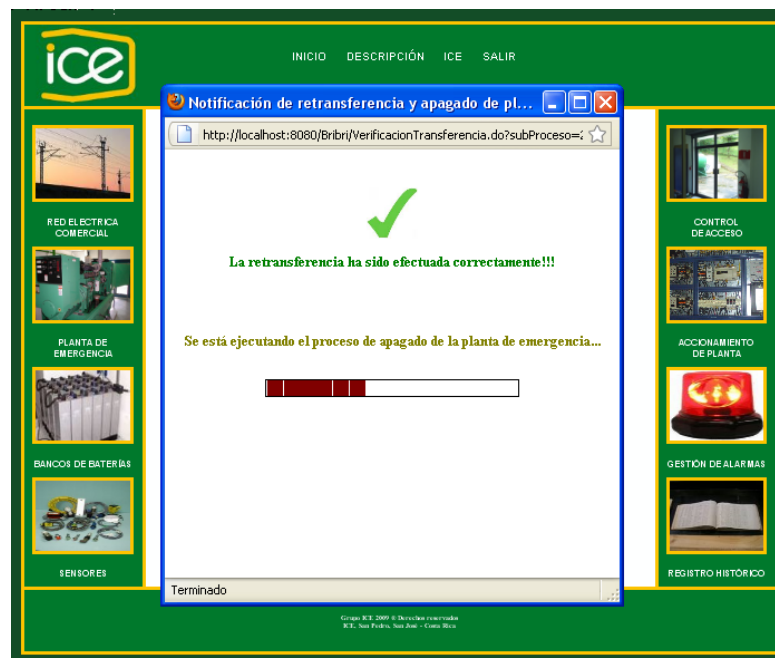
**Figura A.2.6.4.1** Vista de informativa que indica que la retransferencia y el apagado de planta tarda aproximadamente 5 minutos y 45 segundos.

En la vista de la figura A.2.6.4.3 se verifica que la retransferencia fue hecha correctamente, y que el apagado de la planta ha iniciado. En caso de que la

retransferencia no se haya dado, el sistema notificará de esta situación y el apagado de planta no iniciará.



**Figura A.2.6.4.2** Ventana emergente que contiene los acontecimientos relacionados con la retransferencia y el apagado de planta.



**Figura A.2.6.4.3** Vista que muestra que el resultado de la retransferencia fue correcto y que se inició el proceso de apagado de planta.



Figura A.2.6.4.4 Notificación al usuario de que el proceso de retransferencia y apagado de planta fue finalizado.

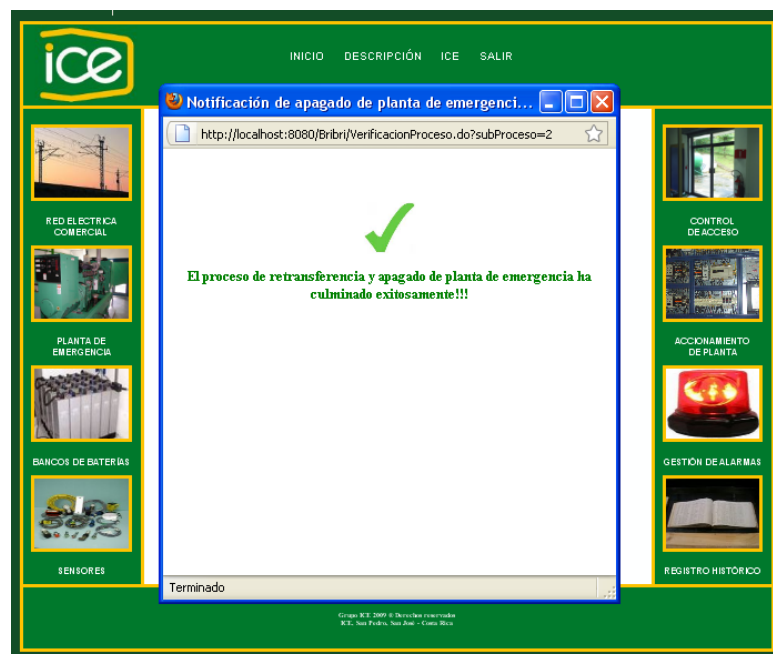


Figura A.2.6.4.5 Vista que muestra el resultado final del proceso de retransferencia y apagado de planta.

Finalmente en la vista de la figura A.2.6.4.4 se notificará al usuario que el proceso de retransferencia y el apagado de planta ha finalizado y en la vista de la figura A.2.6.4.5 se informará sobre el resultado de este proceso, es decir si este culminó exitosamente o no.

## A.2.7 Manejo de alarmas.

En cuanto al manejo de alarmas, estas pueden ser monitoreadas haciendo click en la opción **Alarmas** del menú lateral derecho, e inmediatamente se muestra una vista como la que se observa en la figura A.2.7.1. En esta vista se presentan (en caso de que hayan) las alarmas activas, y se especifica el módulo que presenta la avería o fallo y la causa por la cual se produjo.

UBICACIÓN	CAUSA	DESABILITAR
BANCO DE BATERIAS MAYA I	Tensión de banco de baterías Maya I no corresponde a -48 V	<input type="checkbox"/>
TANQUE DE COMBUSTIBLE EXTERIOR	Cantidad de combustible en tanque exterior $\leq$ 1750 L	<input type="checkbox"/>
BAJA PRESION DE ACEITE (BPA)	La planta no arrancó debido a Baja Presión de Aceite	<input type="checkbox"/>

**Desabilitar**

**Figura A.2.7.1** Vista para el monitoreo de las alarmas activas.

Esta misma vista permite desactivar alguna o todas las alarmas activas una vez que estas hayan sido atendidas. Para esto se debe marcar el campo de deshabilitar respectivo de la tabla y hacer click en el botón *Deshabilitar*. En las figuras A.2.7.2 se muestra un ejemplo y en la figura A.2.7.3 el resultado.



Figura A.2.7.2 Vista para la desactivación de alarmas.

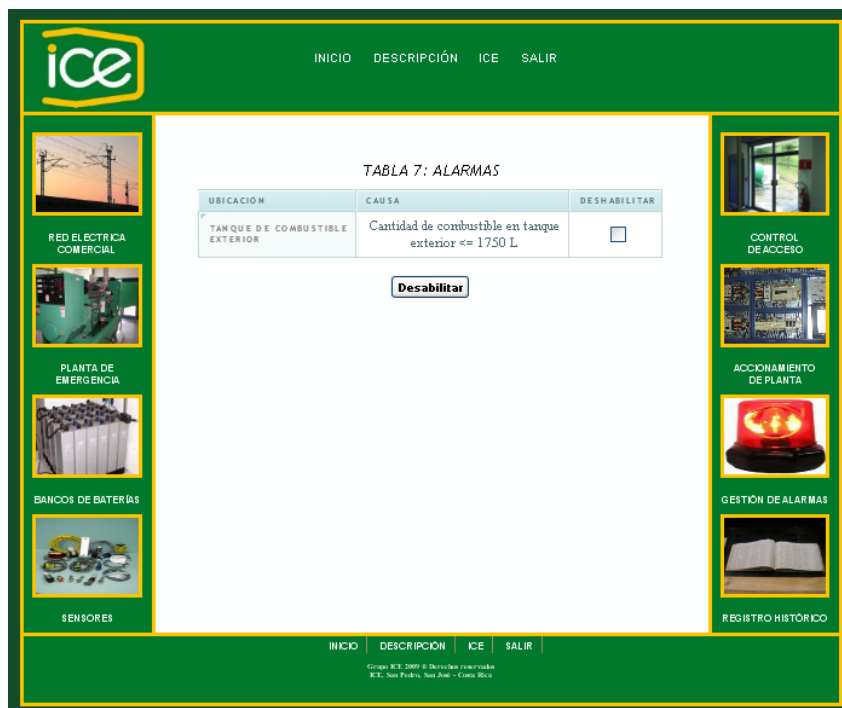


Figura A.2.7.3 Vista que resulta después de desactivar las alarmas de la figura A.2.7.2.

## A.2.8 Registros Históricos.

El sistema desarrollado permite tener un registro histórico de todos los módulos implementados en él, es decir, permite tener datos históricos sobre los parámetros eléctricos de la planta de emergencia y de los bancos de baterías, de las mediciones de la cantidad de combustible de los tanques, de las mediciones del nivel de agua, del control de acceso a la estación a través de las 5 puertas principales de la estación, de los accionamientos de la planta y de las alarmas presentadas. Se accede dando click en la opción **REGISTRO HISTÓRICO** del menú lateral derecho de la página.

En la figura A.2.8.1 se presenta la vista de opciones de la cual el usuario dispone para seleccionar la información específica que requiere consultar. En la figura A.2.8.2 se muestra un ejemplo donde la información que se necesita es la correspondiente a los últimos 40 registros o mediciones de la cantidad de combustible de los tanques. Una vez que se marcan las opciones, se da click al botón consultar y se obtiene la información.

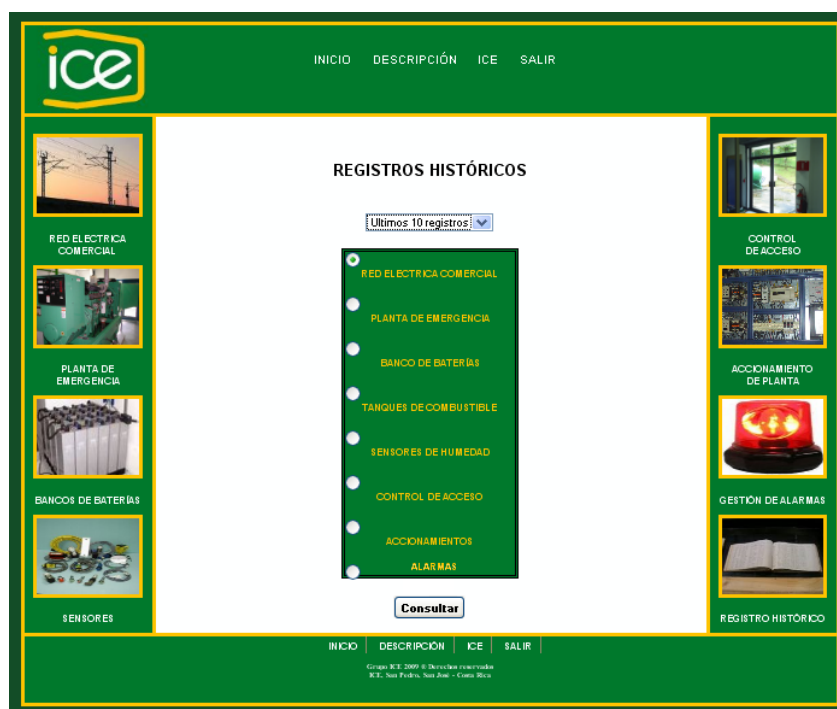
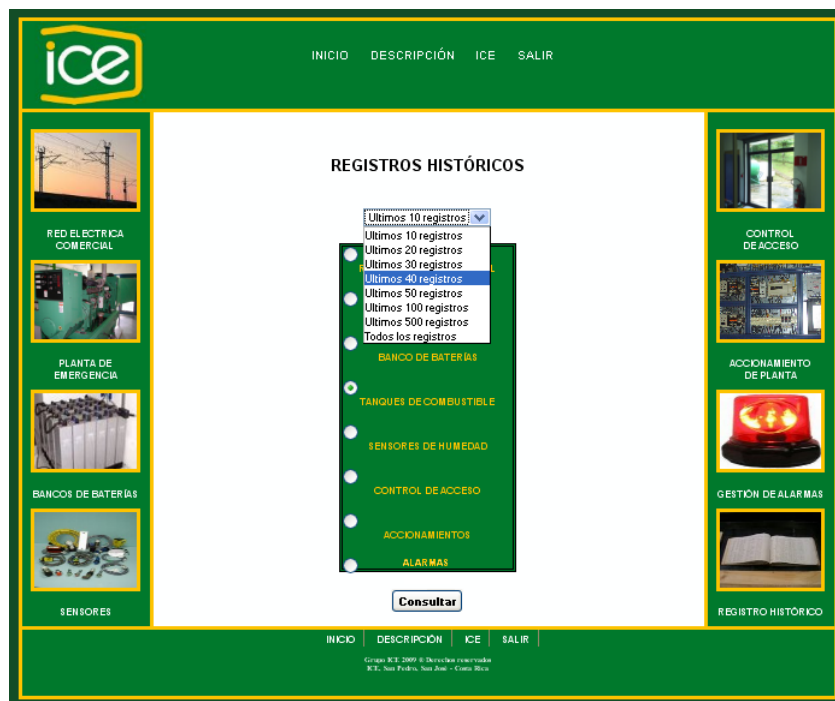


Figura A.2.8.1 Menú de opciones para el manejo de los registros históricos.



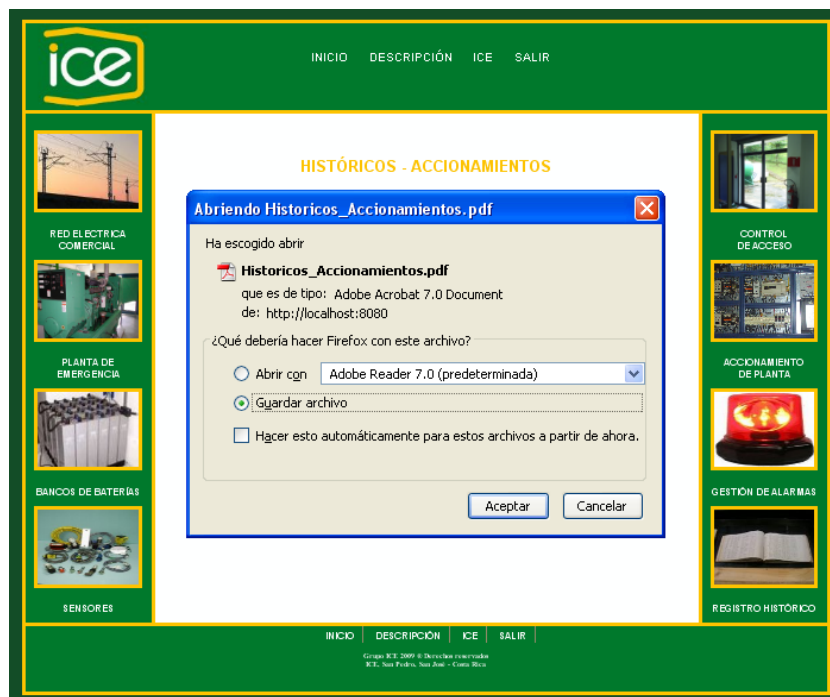
**Figura A.2.8.2** Vista que muestra la forma de seleccionar la cantidad de registros históricos a consultar y la selección del módulo específico.

En la figura A.2.8.3 se muestra un ejemplo de cómo se presenta la información, en este caso específico se muestran los registros históricos de los accionamientos de planta, información que se agrupa en dos páginas y donde el usuario puede seleccionar la página que desea ver dando un click al número 1 o 2 de la parte superior de la tabla. Esta forma de presentar los datos también permite organizar la información por medio de los parámetros de las columnas, es decir, que para este caso la información histórica puede organizarse por fecha, por tipo de accionamiento, por causa o por responsable, esto se hace dando un click en el título de la columna respectiva.

El sistema también da la posibilidad de descargar la información histórica que se presenta a un archivo de Excel o PDF, XML o CSV, esto se hace dando un click en el formato de archivo deseado que se encuentra en la parte inferior de la tabla. En la figura A.2.8.4 se muestra el cuadro de diálogo que corresponde a descargar la información en formato PDF, de esta forma el usuario puede elegir si quiere guardar el archivo o solamente abrirlo. En las figuras A.2.8.5 y A.2.8.6 se muestra la información contenida en el archivo para la descarga en formato PDF y EXCEL, respectivamente.



**Figura A.2.8.3** Vista que muestra un ejemplo de la presentación de registros históricos, en este caso los registros que se tienen de los accionamientos de planta.



**Figura A.2.8.4** Vista que muestra el cuadro de diálogo que el sistema presenta al usuario una vez que este decidió descargar los registros históricos a un archivo PDF.



The screenshot shows the Adobe Reader interface with a PDF document titled "[Historicos\_Accionamientos.pdf]". The document contains a table with the following data:

Fecha	Tipo de Accionamiento	Causa	Responsable
lunes 21 diciembre, 2009. A las 17:15:42	Manual	Arranque remoto de planta	Julio Stradi Granados
lunes 21 diciembre, 2009. A las 17:13:02	Manual	Arranque remoto de planta	Guillermo Matarrita Retana
lunes 21 diciembre, 2009. A las 15:31:31	Manual	Arranque remoto de planta	Ronny Gómez Zelada
lunes 21 diciembre, 2009. A las 15:09:05	Manual	Arranque remoto de planta + transferencia	Guillermo Matarrita Retana
lunes 21 diciembre, 2009. A las 15:07:33	Manual	Arranque remoto de planta	Guillermo Matarrita Retana

**Figura A.2.8.5** Ejemplo del archivo PDF descargado desde el sistema para los registros históricos de accionamientos.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a spreadsheet titled "Historicos\_Accionamientos". The data is organized as follows:

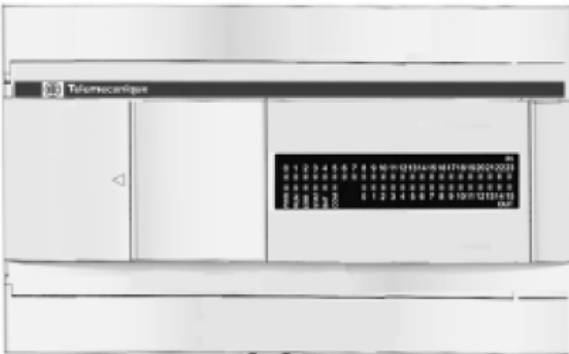
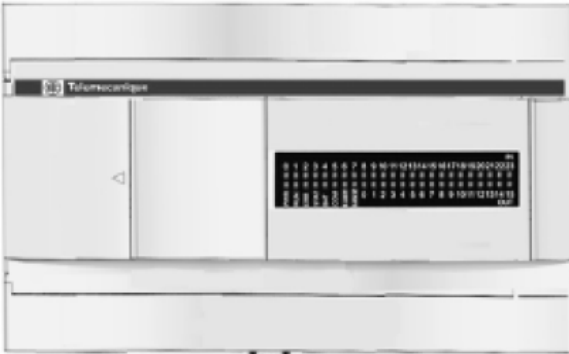
1	Fecha	Tipo de Accionamiento	Causa	Responsable
2	lunes 21 diciembre, 2009. A las 17:15:42	Manual	Arranque remoto de planta	Julio Stradi Granados
3	lunes 21 diciembre, 2009. A las 17:13:02	Manual	Arranque remoto de planta	Guillermo Matarrita Retana
4	lunes 21 diciembre, 2009. A las 15:31:31	Manual	Arranque remoto de planta	Ronny Gómez Zelada
5	lunes 21 diciembre, 2009. A las 15:09:05	Manual	Arranque remoto de planta + transferencia	Guillermo Matarrita Retana
6	lunes 21 diciembre, 2009. A las 15:07:33	Manual	Arranque remoto de planta	Guillermo Matarrita Retana
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**Figura A.2.8.6** Ejemplo del archivo EXCEL descargado desde el sistema para los registros históricos de accionamientos.

## B Anexos

### B.1 Hoja de datos: PLC TWDL CDE40DRF de Schneider Electric

Descripciones, características y cableado

Tipo de controlador	Ilustración
<p>Controladores compactos de 40 E/S: A continuación se detallan las funciones compartidas por controladores de las series TWDLCAA40DRF y TWDLCAE40DRF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 24 entradas digitales, 14 de relé y 2 salidas de transistor</li> <li>● 2 potenciómetros analógicos</li> <li>● 1 puerto serie integrado</li> <li>● 1 slot para un puerto serie adicional</li> <li>● RTC integrado</li> <li>● Compartimiento de batería para batería externa reemplazable por el usuario</li> <li>● Admite hasta 7 módulos de ampliación de E/S.</li> <li>● Admite hasta dos módulos de interfase del bus AS-Interface V2</li> <li>● Admite un módulo master de interfase del bus de campo CANopen:</li> <li>● Admite un cartucho de memoria opcional (de 32 ó 64 KB)</li> <li>● Admite un módulo de monitor de operación opcional</li> </ul> <p>Características específicas de TWDLCAA40DRF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Admite un módulo de interfase Ethernet ConneXium TwidoPort</li> </ul> <p>Características específicas de TWDLCAE40DRF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Puerto RJ45 de interfase Ethernet integrado</li> </ul>	<div style="text-align: center;"> <p>TWDLCAA40DRF</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>TWDLCAE40DRF</p>  </div>

Elemento de controlador	Controlador compacto			
TWD...	LCAA10DRF LCDA10DRF	LCAA16DRF LCDA16DRF	LCAA24DRF LCDA24DRF	LCAA40DRF LCAE40DRF
Número máximo de salidas de relé	4 (sólo base)	7 (sólo base)	10 (base) + 32 (ampliación)	14 (base) + 96 (ampliación)
Potenciómetros	1	1	2	2
Entradas analógicas integradas	0	0	0	0
Número máximo de E/S analógicas (E/S del controlador + E/S de ampliación.)	0 de entrada/0 de salida	0 de entrada/0 de salida	8 de entrada/4 de salida	15 de entrada/7 de salida
Controladores remotos	7	7	7	7
Puertos serie	1	2	2	2
Puerto Ethernet	0	0	0	1 (sólo para TWDLCA-E40DRF)
Slots del cartucho	1	1	1	1
Tamaño máximo de aplicación/ copia de seguridad (KB)	8	16	32	64
Cartucho de memoria opcional (KB)	32 <sup>1</sup>	32 <sup>1</sup>	32 <sup>1</sup>	32 ó 64 <sup>2</sup>
Cartucho RTC opcional	Sí <sup>1</sup>	Sí <sup>1</sup>	Sí <sup>1</sup>	RTC integrado <sup>3</sup>
Monitor de operación opcional	Sí	Sí	Sí	Sí
2º puerto opcional	No	Sí	Sí	Sí
Módulo de interfase Ethernet opcional	Sí	Sí	Sí	Sí (TWDLC- AA40DRF) No (TWDLC- AE40DRF)

## Configuración máxima de hardware

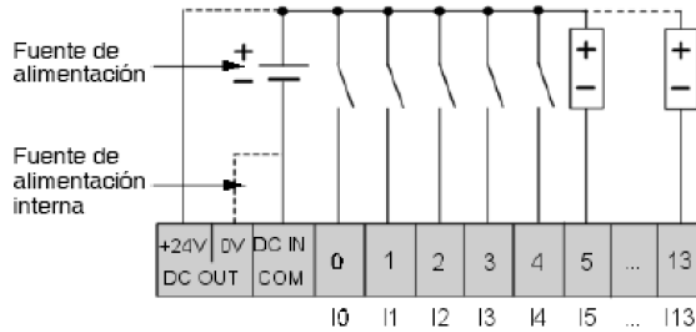
**Introducción** Esta sección proporciona las configuraciones máximas de hardware para cada controlador.

**Configuraciones máximas de hardware: controladores compactos** En la tabla siguiente se enumera el número máximo de elementos para cada controlador compacto:

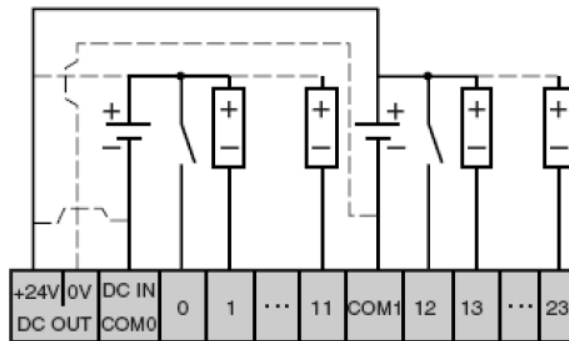
Elemento de controlador	Controlador compacto			
	LCAA10DRF LCDA10DRF	LCAA16DRF LCDA16DRF	LCAA24DRF LCDA24DRF	LCAA40DRF LCAE40DRF
Entradas digitales estándar	6	9	14	24
Salidas digitales estándar	4	7	10	16 (14 relés + 2 salidas de transistor)
Número máximo de módulos de ampliación de E/S (digitales o analógicas)	0	0	4	7
Número máximo de entradas digitales (E/S del controlador + E/S de ampliación)	6	9	$14 + (4 \times 32) = 142$	$24 + (7 \times 32) = 248$
Número máximo de salidas digitales (E/S del controlador + E/S de ampliación)	4	7	$10 + (4 \times 32) = 138$	$16 + (7 \times 32) = 240$
Número máximo de E/S digitales (E/S del controlador + E/S de ampliación)	10	16	$24 + (4 \times 32) = 152$	$40 + (7 \times 32) = 264$
Número máximo de módulos de interfase del bus AS-Interface	0	0	2	2
Número máximo de E/S con módulos AS-Interface (7 E/S por slave)	10	16	$24 + (2 \times 62 \times 7) = 892$	$20 + (2 \times 62 \times 7) = 908$
Número máximo de módulos master de interfase del bus de campo CANopen:	0	0	1	1
Número máximo de T/R -PDOs con dispositivos CANopen	0	0	16 TPDO 16 RPDO	16 TPDO 16 RPDO

**Esquema de cableado de entradas de común positivo de CC**

Este esquema de cableado corresponde a los controladores TWDLG•A10DRF, TWDLG•A16DRF y TWDLG•A24DRF.



El esquema de cableado de entradas de común positivo de CC corresponde a los controladores de la serie TWDLGA•40DRF.

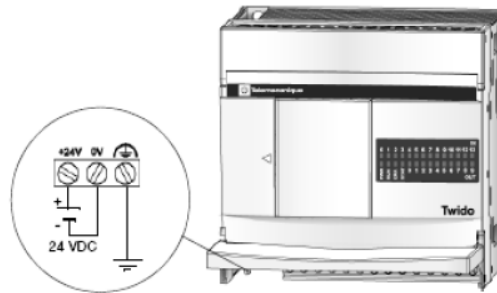


## B.2 Alimentación Eléctrica PLC TWDLCD40DRF

Installatio

### Connect a DC Power Supply to a Compact Controller

The following diagram shows how to connect a DC power supply to a TWDLCD••DRF series Compact Controller.



### Compact Controller Power Supply Specifications

The following table provides power supply information for the Compact controller.

Item	AC Specifications	DC Specifications
Power supply voltage	Rated power voltage: from 100 to 240 VAC	Rated power voltage: 24 VDC
	Allowable range: from 85 to 264 VAC	Allowable range: from 19.2 to 30 VDC
	The detection of the absence of a power supply depends on the number of inputs and outputs used. Usually the absence of a power supply is detected when voltage drops to less than 85 VAC, stopping the current operation to prevent malfunction.	The detection of the absence of a power supply depends on the number of inputs and outputs used. Usually the absence of a power supply is detected when voltage drops to below 14 VDC, stopping the current operation to prevent malfunction.
	<b>Note:</b> Momentary power interruption for 20 ms or less at 100 to 240 VAC is not recognized as power failure.	<b>Note:</b> Momentary power interruption for 10 ms or less at 24 VDC is not recognized as failure.
Inrush current flow at power-up	TWDLCAA10DRF and TWDLCAA16DRF: 35 A maximum TWDLCAA24DRF: 40 A maximum	
Power supply wiring	0.64 mm <sup>2</sup> (UL1015 AWG22) or 1.02 mm <sup>2</sup> (UL1007 AWG18) Make the power supply wiring as short as possible.	
Ground wiring	1.30 mm <sup>2</sup> (UL1007 AWG16) Do not connect ground wire in common with ground wire of motor equipment.	

## B.3 Instalación del puerto TWDNAC485T y la tarjeta TWDAMI8HT al PLC TWDLCE40DRF

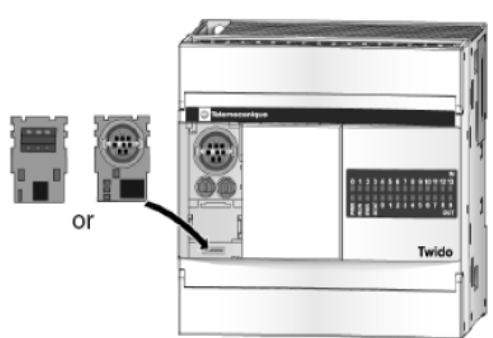
### Installing a Communication Adapter and an Expansion Module

#### Introduction

This section shows how to install the TWDNAC232D, TWDNAC485D, or TWDNAC485T communication adapter into a Compact controller's port 2 and in a TWDXCPODM operator display expansion module. This section also shows how to assemble and disassemble the TWDNOZ232D, TWDNOZ485D, and TWDNOZ485T communication expansion module to a Modular controller. Your controller may differ from the illustrations in these procedures but the basic mechanism procedures are applicable.

#### Installing the Communication Adapter into a Compact Controller's Port 2

The following procedure shows how to install the TWDNAC232D, TWDNAC485D, or TWDNAC485T communication adapter into a Compact controller's port 2.

Step	Action
1	Open the hinged lid.
2	Remove the cartridge cover located on the bottom of the Compact controller.
3	Push the communication adapter's connector into the Compact controller's port 2 connector until it "clicks".
	
4	Look in the opening at the bottom of the Compact controller where the cartridge cover resided and make sure the communication adapter's connector is seated in the Compact controller's port 2 connector. Adjust the adapter if it is not seated correctly.
5	Attach the cartridge cover.

## About Analog I/O Modules

**Introduction** There are 9 Analog I/O modules which can be added to Twido bases as additional I/O to these bases.



**Analog I/O Modules** The following table lists the Analog I/O modules:

Module Name	Reference	Channels	Channel type	Details	Range	Terminal type
<b>Input Modules</b>						
2 high level inputs	TWDAMI2HT	2	Inputs	12 bits	0... 10 V (non differential) 4... 20 mA differential	Removable terminal block
4 low level inputs	TWDAMI4LT	4	Inputs	12 bits, Pt 100/1000, NI 100/1000	0... 10 V(non differential) 0... 20 mA (differential)	
8 high level inputs	TWDAMI8HT	8	Inputs	10 bits	0... 10 V (differential) 0... 20 mA (differential)	
8 high level inputs	TWDARI8HT	8	Inputs	10 bits, NTC or PTC sensors		
<b>Output Modules</b>						
2 high level outputs	TWDAVO2HT	2	Outputs	11 bits + sign	± 10 V	Removable terminal block
1 high level output	TWDAMO1HT	1	Output	12 bits	0... 10 V 4... 20 mA	
<b>Mixed modules</b>						



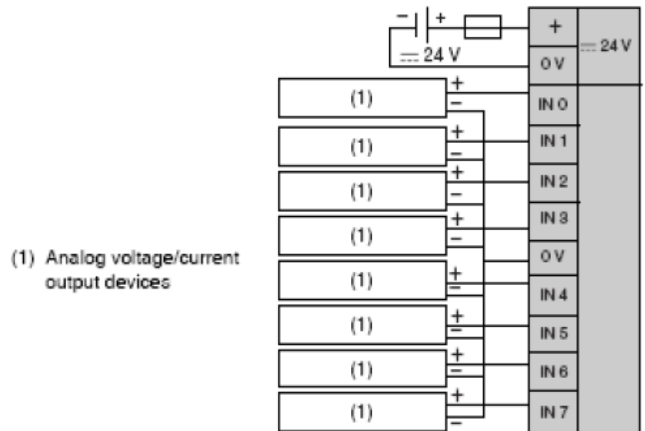
**Assembling an Expansion I/O Module to a Base.**

The following procedure shows how to assemble a base and an expansion I/O module together.

Step	Action
1	Remove the expansion connector cover from the base.
2	Make sure the black latch button on the I/O module is in the up position.
	
3	Align the connector on the left side of the Expansion I/O module with the connector on the right side of the base.
	
4	Press the expansion I/O module to the base until it "clicks" into place.
5	Push down the black latch button on the top of the expansion I/O module to lock the module to the base.

**TWDAMI8HT  
Wiring  
Schematic**

This schematic is for the TWDAMI8HT module.



- Connect a fuse appropriate for the applied voltage and current draw, at the position shown in the diagram.
- Do not connect any wiring to unused channels.

**Note:** to avoid disturbances on the analog I/O, the power supply of the TWDAMI8HT module must be turned on or off at the same time than the base controller power supply.

## B.4 Hoja de datos: Analizador de energía LCA-C de SACI



### ANALIZADORES DE RED

Analizadores de Red

#### ANALIZADOR DE RED LCA

Instrumento con microprocesador, programable, display LCD con indicación de tres medidas, y teclado integrado.

- INSTRUMENTO DIN 96 x 98
- MEDIDA EN 4 CUADRANTES
- TRIFÁSICO 4-HILOS
- DISTORSIÓN ARMÓNICA (THD V e I)
- VALORES MAX.- y MIN.-
- VERDADERO VALOR EFICAZ (RMS)
- SALIDA SERIE RS232 / RS485
- 2 SALIDAS DE CONTACTOS



#### ENTORNO DE MEDIDA

MAGNITUD ELÉCTRICA	Símbolo	L1	L2	L3	SISTEMA
Tensión (Fase-Neutro)	V	(*)	(*)	(*)	
Tensión (Fase-Fase)	V	•	•	•	
Intensidad	A	•	•	•	
Potencia activa (P)	kW	•	•	•	•
Potencia reactiva (Q)	kVAr	•	•	•	•
Potencia aparente (S)	kVA	•	•	•	•
Factor de potencia (coseno φ)	PF	•	•	•	•
Frecuencia	Hz				•
THD Intensidad	A	•	•	•	
THD Tensión	V	•	•	•	
Energía activa consumida (EP+)	kW-h				•
Energía activa generada (EP-)	-kW-h				•
Energía reactiva inductiva consumida (Eoc+)	kvarL-h				•
Energía reactiva capacitiva consumida (Eoc-)	kvarC-h				•

(\*) Sólo por la salida serie

#### MODELO

- LCA-B Modelo básico
- LCA-BA Modelo básico  
Aislado en corriente
- LCA-C Modelo básico  
Aislado en corriente  
Salida serie RS485  
2 Relés

#### SALIDA SERIE ( Modelo LCA-C)

- Tipo: RS485
- Protocolo: MODBUS RTU
- Velocidad de transmisión: Programable  
300 – 19200 Baudios

#### SALIDAS DE CONTACTOS (Modelo LCA-C)

Tipo: contactos libres de tensión (Relés).  
Las salidas de contacto pueden configurarse como contactos de alarmas de max. o min. asociadas a cualquier magnitud medida, o como impulsos para energía activa (EP+) y energía reactiva (EQL). Así mismo pueden programarse como contactos maniobrados desde la unidad central.

#### PROGRAMACIÓN

- Código de identificación del instrumento.
- Tensión primaria.
- Corriente primaria.
- Modo de operación de contactos.

# ANALIZADORES DE RED

Analizadores de Red

## DISPLAY LCD

- Display LCD con teclado integrado.
- Más de 30 magnitudes de medida en diferentes páginas.
- Páginas seleccionables con las teclas de subir(-) bajar(+).

## VALORES MAX.- MIN.-

- Valores max. y min. de: V1, V2, V3, V12, V23, V31, I1, I2, I3, P1, P2, P3, P, Q, S, coseno  $\phi$ , y Hz.

## DATOS TÉCNICOS

### ENTRADA

3-Fases 4 hilos, desequilibrado.	
Tensión nominal (Un)	100, 110, 230 ó 400 V
Consumo propio	1 mA por Fase
Margen de medida	20-120 % Un
Intensidad nominal (In)	1 ó 5 A
Consumo propio	0,2 VA por Fase
Margen de medida	1- 120 % In
Frecuencia	50 ó 60 Hz

### SALIDA DE CONTACTOS (Modelo LCA-C)

Número de salidas	2
Tipo	Relé N.O. 250 V, 3 A

### SALIDA SERIE (Modelo LCA-C)

Tipo	RS485
Conexión	2 Hilos
Velocidad de transmisión (standard)	9600 Baudios
Max. Nr de Instrumentos por Línea	32
Long. máx. de red por línea (sin Amplificador)	1250 m

(Bajo demanda salida serie RS232)

## PRECISIÓN

Parámetro	Margen de medida	Precisión
Tensión	20-120 %	0,3%(lect.+ fn esc.)
Intensidad	1-120%	0,3%(lect.+ fn esc.)
Potencia activa	1-120%	0,3%(lect.+ fn esc.)
Potencia reactiva	1-120%	0,3%(lect.+ fn esc.)
Potencia aparente	1-120%	0,5%(lect.+ fn esc.)
Factor de potencia	-0,5/+0,5	0,6%(lect.)
Frecuencia	45-65 Hz	0,2% (frec.nom.)
Energía activa	5-120%	1% lect.
Energía reactiva	5-120%	2% lect.

## TENSIÓN AUXILIAR

- Vaux. C.A.	83,5/110 V ó 230/400 V
Consumo propio	3 VA
Margen de funcionamiento	80-120 % Un
- Vaux. C.C.	18/72 V
Consumo propio	3 W
- Vaux. UNIVERSAL.	85...285 V C.A./95...300 V C.C.
Consumo propio	

## GENERAL

Iluminación del display	posterior
Material de envoltente	Metálica+ABS, UL94 V0
Dimensiones	DIN 96 x 96 mm
Terminales	Enchufables
Max. Sección del hilo	2,5 mm <sup>2</sup>
Peso	0,35 kg
Protección	IP54 (Frontal) IP20 (Terminales)
Seguridad eléctrica (EN 61010)	Clase 2 Categoría III

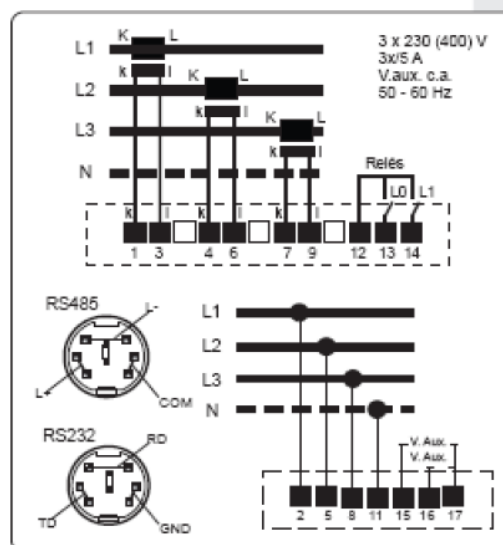
## ACCESORIOS

Transformadores x/5 A ó x/1 A  
Convertidores RS232 / RS485  
Amplificadores RS485

## OPCIONAL

Software de lectura (Sin coste adicional).  
Software de gestión SACIgest.

## CONEXIONES

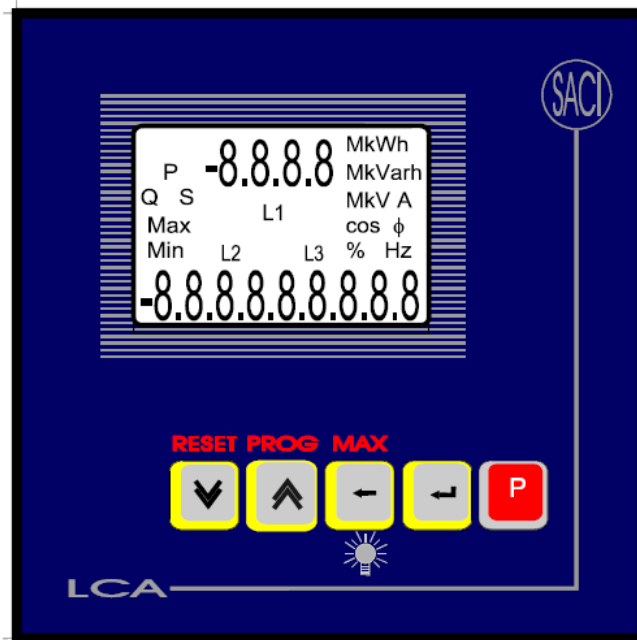


## 1.- GENERAL DESCRIPTION.

The LCA is a complete measuring unit housed in a small box, DIN 96x96. It receives the current and voltage signals from an electric power line, and measures all its main variables, allowing to display them in a custom LCD screen. Multiple measures can be displayed at the same time, and can be sent by means of a serial communication line to the adequate receiver. Additionally, two relays can be configured as digital outputs, representing energy pulses or alarms. Through the serial output every measure is accessible, allowing to send them to a computer to provide recording and statistical processes.

The unit uses a 16 bit microprocessor, including a ten bit A/D converter. This allows to get a very high accuracy, great flexibility in input range programming, and powerful communication capabilities.

Special care has been taken in the design, not only to provide good accuracy, but also high reliability, a strong immunity to EMC, - in order to be used in industrial environments-, and high isolation characteristics. The devices are prepared for board mounting, and all the connections are done by detachable connectors. Its small dimensions make it very useful for panel boards with space constraints. The external appearance is shown in the following drawing.



## 2.3.- APPLICABLE STANDARDS.

The devices fulfill the applicable paragraphs pertaining to the following standards.

EN 60068	Environmental tests.
CEI 255-4	Insulation tests.
CEI 801	High frequency disturbance tests.
EN 61000	Electro magnetic Compatibility
EN 61010	Safety requirements for electrical equipment.
EN 61036	Static energy meters class 1.
EN 60259	Protection class.
DIN 43864	Pulse interface requirements.
EN 50081	Emission.
EN 50082	Immunity.
UL 94	Flammability tests.

## 2.4.- PRECISION.

### 2.4.1.- Reference conditions.

Unless otherwise specified, the working, use, operation, and calibration are as per standard EN 60688/IEC 688. The usage group is defined as group III, that is, for ambient operation from  $-5$  and  $55^{\circ}\text{C}$ . For error definition, the following reference conditions are applicable:

Temperature	$23^{\circ}\text{C} \pm 1$
Aux. Voltage supply	$U_n \pm 10\%$ .
Voltage input	$60-120\% U_n$ .
Current input	$0-120\% I_n$ .
Frequency	50 (60) Hz.
Power factor	1 ( 0 for reactive power).
Waveform	Sinusoid.

Under these conditions, the maximum errors are specified as follows.

Magnitude	Range	Max. Error
Auxiliary supply	90-110 %	
Input voltage	10-120%	.3%Reading +.3%Range
Input current	4-120%	.3%Reading +.3% Range
Active power	10-150%	.3%Reading +.3% Range
Reactive /apparent power	10-150%	.5%Reading +.5% Range
Power factor	-.5/+ .5	.5%Reading +.5% Range
Frequency	45-65	.3% Nominal Frequency
Active energy	10-150%	1% Reading
Reactive energy	10-150%	2% Reading

#### 2.4.2.- Working conditions.

The following conditions are applicable for the normal operation of the devices.

Temperature	-5 to 55°C
Aux. Voltage supply	Un ±20%.
Voltage input	0-120% Un.
Current input	0-120% In.
Frequency	50 (60) Hz.
Power factor	-.2- 1- +.2
Waveform	THD less than 10% ( active). THD less than 1% ( reactive).

#### 2.4.3.- Overloads.

Duration	Continuously	10 sec	3 sec	1 sec
Current input	2 In	-	5 In	10 In
Voltage input	1.2 Un	2 Un	-	-

## 6.- COMMUNICATION PROTOCOL.

The LCA-C are equipped with a serial line in order to be able to communicate all the measured variables to any device with serial input capability. There are two different versions, one as RS232 standard, and the other as RS485. The first one can be used when the connection is point to point, and the second in multidrop connections. In this case, up to 32 devices, - as the standard specifies-, can be connected to the same communication line, to a maximum length of 1200 meters, allowing gathering data coming from any measurement unit.

Both versions are isolated from the rest of circuitry by means of optical couplers. This avoids problems in earth connection, breaking any grounding loops, and allows to connect the cable screen to earth in the best point of the installation.

Although the signal levels are different, the protocol used in both is the same, and complies with the RTU JBUS/MODBUS protocol. This is a master-slave protocol, very common in PLC's. The communication is always started by the master, and no spontaneous messages are allowed. The standard transmission rate is 9600 Bps, 8 bits, no parity, and one stop bit. Other speeds are possible, programming the device, from 300 to 19.200 Bps.

Each transaction consists of one request frame, generated by the master, and one reply frame, generated by the slave. In the case the master sends a writing command, the slave sends an acknowledge message. No provisions have been done for answering exception conditions. If any command is received in a correct way, it will be executed. If not, no answer will be generated.

Function codes accepted are:

03H	Read Holding Registers ( 3xxxx ).
04H	Read Input Registers ( 4xxxx ).
06H	Preset Single Register (6xxxx)
10H	Preset Multiple Registers

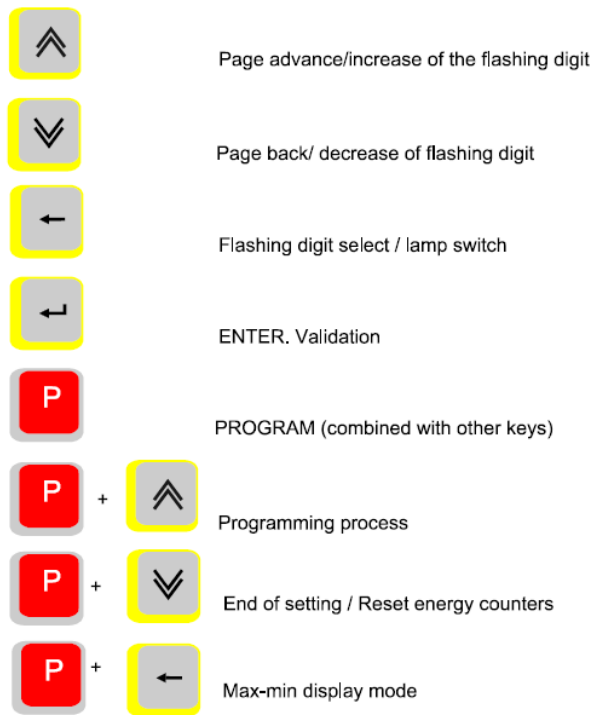


#### 4.- KEYBOARD PROGRAMMING.

The instrument is provide with five keys to program the nominal values, alarms, etc., and a multiple line backlit LCD display. When it is powered up for the first time, all segments are on, allowing to test they are working. After four seconds, the display shows a message like:



indicating the manufacturer's name, LCA type, and software version. After four seconds, the instrument begins to measuring process. The front keyboard allows to display the different pages, and to program the unit. The key functions are explained in the following figure.



6.2.1. – CONFIGURATION VARIABLES.

OFFSET (DEC)	VARIABLE (NAME)	TYPE	R/W	USER	CODE	BLOCK R/W
0	BASE_REG	WORD	R/W	YES	NO	NO
1	ESCALAV	IEEE	R/W	YES	NO	NO
5	ESCALAI	IEEE	R/W	YES	NO	NO
9	REF_ENER	IEEE	R/W	YES	NO	NO
13	ESCALAP	IEEE	R	YES	NO	NO
15	VAL_AL0	IEEE	R/W	YES	NO	NO
17	VAL_AL1	IEEE	R/W	YES	NO	NO
87	FREC_NOM	IEEE	R/W	YES	NO	NO
200	SER_NUM	WORD(10)	R	YES	NO	NO
205	ID	WORD(1)	R/W	YES	NO	NO
206	TIPO	WORD(3)	R/W	YES	NO	NO
209	MODE_OUT	WORD	R/W	YES	NO	NO
210	OUTP	WORD	R/W	YES	NO	NO
211	TIP_PROT	WORD	R/W	YES	NO	NO
212	PROG_VEL	WORD	R/W	YES	NO	NO
213	ALARM0	WORD	R/W	YES	NO	NO
214	ALARM1	WORD	R/W	YES	NO	NO
310	PASSWORD	LONG	R/W	YES	NO	NO

### 6.2.2. – READING VARIABLES.

These variables can be read at any moment. Its meaning is self explanatory. The variable SEQUENCE when =0, indicates the correct connection of the three voltage phases. Any value different from zero indicates wrong sequence. The sequence test is done only after a reset, and is intended as help for the installation.

OFFSET (DEC)	VARIABLE (NAME)	TYPE	R/W	USER	CODE	BLOCK R/W
120	VFR	IIEEE	R	YES	NO	YES
122	VFS	IIEEE	R	YES	NO	YES
124	VFT	IIEEE	R	YES	NO	YES
126	VRS	IIEEE	R	YES	NO	YES
128	VST	IIEEE	R	YES	NO	YES
130	VTR	IIEEE	R	YES	NO	YES
132	PFR	IIEEE	R	YES	NO	YES
134	PFS	IIEEE	R	YES	NO	YES
136	PFT	IIEEE	R	YES	NO	YES
138	QFR	IIEEE	R	YES	NO	YES
140	QFS	IIEEE	R	YES	NO	YES
142	QFT	IIEEE	R	YES	NO	YES
144	IFR	IIEEE	R	YES	NO	YES
146	IFS	IIEEE	R	YES	NO	YES
148	IFT	IIEEE	R	YES	NO	YES
150	SFR	IIEEE	R	YES	NO	YES
152	SFS	IIEEE	R	YES	NO	YES
154	SFT	IIEEE	R	YES	NO	YES
156	COSR	IIEEE	R	YES	NO	YES
158	COSS	IIEEE	R	YES	NO	YES
160	COST	IIEEE	R	YES	NO	YES
162	PRST	IIEEE	R	YES	NO	YES
164	QRST	IIEEE	R	YES	NO	YES
166	SRST	IIEEE	R	YES	NO	YES
168	COS	IIEEE	R	YES	NO	YES
170	FREQ	IIEEE	R	YES	NO	YES
216	SEQUENCE	BYTE	R	YES	NO	NO

## B.5 Estándar IEEE754

### ANNEX 2.IEEE NOTATION USED. ( IEEE 754).

Notation IEEE754 is followed in floating point numbers. As extremely high precision is not required, the mantissa least significant byte is always zero. This could produce some disagreements between for instance, the value written and read for a high number, as 220,000 V, which can be read as 219,987.

BYTE1	BYTE2	BYTE3	BYTE4
SIGN+	MANTISSA	MANTISSA	MANTISSA
EXPONENT	HIGH	MEDIUM	LOW

SIGN: sign of the number.

0H means a positive number.

1H means a negative number.

MANTISSA: FRACTION 0, XXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX

M1	M23

EXPONENT: Number exponent, with offset 127.

0: 127. (7FH)

1: 128. (80H)

-1: 126. (7EH)

To find the value:

VALUE:  $(-1)^S * 2^{EXP-127} * (1 + \text{FRACTION})$

FRACTION:  $\sum_{i=1}^{i=23} 2^{-i} * M(i)$

THE BYTE CONFIGURATION IS AS FOLLOW:

BYTE1:

7	6	5	4	3	2	1	0
SIGN -----		EXPONENT				-----	
E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	

BYTE2:

7	6	5	4	3	2	1	0
EXP -----		MANTISSA HIGH				-----	
E0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7

BYTE3:

7	6	5	4	3	2	1	0
----- MANTISSA MIDDLE -----							
M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15

BYTE4: (Always null).

7	6	5	4	3	2	1	0
----- MANTISSA LOW -----							
M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23



### **ANNEX 3. IEEE FLOATING POINT AND LONG INTEGERS DATA TRANSMISSION FORMAT.**

IEEE data are sent in the following order:

1. SIGN + EXPONENT BYTE
2. HIGH MANTISSA
3. MEDIUM MANTISSA
4. LOW MANTISSA (ALWAYS ZERO)

This mode of transmission is referred as JBUS mode.

In certain applications, data is required in the following order:

1. MEDIUM MANTISSA
2. LOW MANTISSA (ALWAYS ZERO)
3. SIGN + EXPONENT BYTE
4. HIGH MANTISSA

This mode of transmission is referred as MODBUS mode.

Both formats are supported in the CP3000 protocol. The standard way is the JBUS mode.

This is applicable also to the long integer format. They are sent as MSB.....LSB in JBUS mode, and as LSB.....MSB in MODBUS mode.

To select the protocol type, the one byte variable, named TIPO\_PROT, must be used.

00H select the mode to JBUS.

01H selects the mode to MODBUS

## B.6 Hoja de datos: Ultra Slimpak G408.001



# Ultra SlimPak®

## DC Input Field Configurable Isolator

### Model G408-0001/1001



Provides a Fully Isolated DC Output in Proportion to a DC Input

- Eliminates Ground Loops with 1800 VDC Input-to-Output Isolation
- Easy Field Configurable Input Ranges: 10mV to 100V, 1mA to 100mA
- Field Configurable Output Ranges: 0-5V, 0-10V, 0-1mA, 0-20mA, 4-20mA, or  $\pm 5V$ ,  $\pm 10V$
- Ultra Slim 12.6mm Housing Mounts on Din Rail for High-Density Installations
- Flexible Power Supply Accepts 9 to 30VDC
- ASIC Technology for High Reliability
- Lifetime Warranty

### DESCRIPTION

The Ultra SlimPak G408 is a DIN rail mount, DC input signal conditioner with 1800VDC isolation between input, output and power. The field configurable input and output offers flexible, wide ranging capability for DC current and voltage signals.

The input of the G408 Ultra SlimPak can be configured for any one of 12 voltage ranges from 10mV to 100V or 6 current ranges from 1mA to 100mA (see table 1). The output is linear to the input and can be set for either 0-5V, 0-10V, 0-1mA, 0-20mA or 4-20mA (for models G408-0001) and -5 to +5V or -10 to +10V (for model G408-1001).

Wide ranging, precision zero and span pots allow 50% adjustability of offset and span turn-down within each of the 18 switch selectable ranges. For example, the 0-2mA input range could be turned down to 0-1mA and provide a full scale output signal (e.g. 4-20mA), or turned down and offset to achieve a 1-2mA/4-20mA I/O combination.

The G408 also accepts bipolar inputs (e.g. 10V range set to bipolar = -10 to +10V) and offers selectable

normal, or reverse operation (e.g. 4-20mA/20-4mA). The ASIC based I/O channel is optically isolated to 1800VDC and is transformer isolated from the power supply.

### APPLICATION

The Ultra SlimPak G408 field configurable isolator is useful in eliminating ground loops, converting signal levels, and providing signal drive. The field configurable, wide ranging capability ensures maximum flexibility for most DC to DC applications, minimizing spare part requirements.

### DIAGNOSTIC LED

The G408 is equipped with a dual function LED signal monitor. The green, front mounted LED indicates both DC power and input signal status. Active DC power is indicated by an illuminated LED. If the input signal is more than 110% of the full scale range, the LED will flash at 8Hz. Below -10%, the flash rate is 4Hz.

### CONFIGURATION

A major advantage of the G408 is its wide ranging capability and ease of configuration. The G408 has 18 input range settings. Trim potenti-

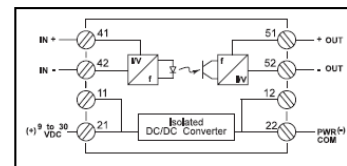


Figure 1: G408 block diagram.

ometers allow 50% input zero and span adjustability within each of the 18 full scale input ranges.

Unless otherwise specified, the factory presets the Model G408-0001 and G408-1001 as follows:

#### G408-0001

Input Range: 4-20mA  
Output Range: 4-20mA

#### G408-1001

Input Range: 4-20mA  
Output Range: -10 to +10V

The DC power input accepts any source between 9 and 30V; typically a 12V or 24VDC source is used (see Accessories).

To minimize interference from electrical and magnetic fields, the use of



shielded, twisted pair wires on the input and output is recommended.

**WARNING!** Do not attempt to change any switch settings with power applied. Severe damage will result!

Refer to Tables 1 through 4 for the proper switch settings. Use the switches on SW1 to select the input type (voltage or current) and also to select the desired input range and function setting. Use SW2 to select the desired type of output.

**CALIBRATION**

1. After configuring the dip switches, connect the input to a calibrated DC source. Connect the output to the actual device load (or a load approximately equivalent to the actual device load value) and apply power.

*Note: To maximize thermal stability, final calibration should be performed in the operating installation, allowing approximately 1 to 2 hours for warm up and thermal equilibrium of the system.*

2. Set the calibrator to the desired minimum input and adjust the zero potentiometer for the desired minimum output.

3. Set the calibrator to the desired maximum input and adjust the span potentiometer for the desired maximum output.

4. Repeat steps 2 and 3, as necessary, for best accuracy.

**FACTORY ASSISTANCE**

For additional information on calibration, operation and installation please contact Action's Technical Services group. Call toll-free:

800-767-5726

KEY

■ = ON

Table 1: Input Range Selector- Switch settings for both G408-0001 and G408-1001.

INPUT RANGES		SW1			
Voltage	Current	1	2	3	4
20mV	2mA			■	■
50mV	5mA		■		
100mV	10mA		■		■
200mV	20mA		■	■	
500mV	50mA		■	■	■
1V	100mA	■			
2V		■			■
5V		■		■	■
10V		■	■		
25V		■	■		■
50V		■	■	■	
100V		■	■	■	■

Table 2: Input Range and function settings for both G408-0001 and G408-1001.

TYPE	SW1			
	5	6	7	8
UNIPOLAR	■			
REVERSE		■		
CURRENT				■
VOLTAGE			■	

Table 3: Output Range Selector-Switch settings for G408-0001.

RANGE	SW2							
	1	2	3	4	5	6	7	8
G408-0001								
0 to 5V	■	■	■	■				
0 to 10V	■		■	■				
0 to 1mA		■	■	■				
4 to 20mA						■	■	■
0 to 20mA	■	■				■	■	■

Table 4: Output Range Selector-Switch settings for G408-1001.

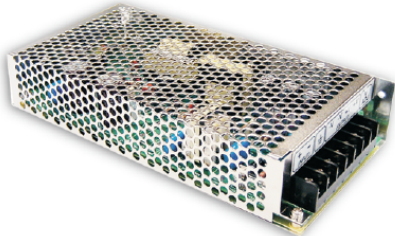
RANGE	SW1	
	9	10
-5V to 5V		■
-10V to +10V		

## B.7 Convertidor CD-CD SD-100 Series



100W Single Output DC-DC Converter

**SD-100** series



### ■ Features :

- 2:1 wide input range
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage
- 1500VDC I/O isolation
- Built-in EMI filter, low ripple noise
- 100% full load burn-in test
- Fixed switching frequency at 83KHz
- 24V and 48V input voltage design refer to LVD
- Low cost
- High reliability
- 1 year warranty

**CB** (for D type only) **CE**

### SPECIFICATION

MODEL	SD-100B-5	SD-100C-5	SD-100D-5	SD-100B-12	SD-100C-12	SD-100D-12	SD-100B-24	SD-100C-24	SD-100D-24		
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V			12V			24V			
	RATED CURRENT	20A			8.5A			4.2A			
	CURRENT RANGE	0 ~ 20A			0 ~ 8.5A			0 ~ 4.2A			
	RATED POWER	100W			102W			100.8W			
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	100mVp-p			120mVp-p			150mVp-p			
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 ~ 5.5VDC			11 ~ 16VDC			23 ~ 30VDC			
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%			±1.0%			±1.0%			
	LINE REGULATION	±0.5%			±0.3%			±0.2%			
	LOAD REGULATION	±0.5%			±0.3%			±0.2%			
	SETUP, RISE TIME	2s, 50ms(only D mode) at full load									
HOLD UP TIME (Typ.)	20ms(only D mode) at full load										
INPUT	VOLTAGE RANGE	B:19 ~ 36VDC		C:36 ~ 72VDC	D:72 ~ 144VDC or 85 ~ 132VAC						
	EFFICIENCY (Typ.)	74%	75%	76%	75%	77%	80%	78%	81%	83%	
	DC CURRENT (Typ.)	4.8A/24V	2.4A/48V	1.8A/96V	4.8A/24V	2.4A/48V	1.8A/96V	4.8A/24V	2.4A/48V	1.8A/96V	
	INRUSH CURRENT (Typ.)	D:18A/96VDC									
	LEAKAGE CURRENT	<0.75mA/120VAC(SD-100D)									
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power Protection type: Fold back current limiting, recovers automatically after fault condition is removed									
	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.75V/10% load			16.8 ~ 20V/10% load			31.5 ~ 37.5V/10% load			
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-10 ~ +60°C (Refer to output load derating curve)									
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing									
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH									
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)									
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes									
SAFETY & EMC (Note 4)	SAFETY STANDARDS	IEC60950-1 CB approved by TUV (for D type only)									
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:1.5KVAC			I/P-FG:1.5KVAC	O/P-FG:0.5KVAC					
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 500VDC / 25°C / 70% RH									
	EMI CONDUCTION & RADIATION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B									
OTHERS	EMS IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,6,8; ENV50204, light industry level, criteria A									
	MTBF	356.7K hrs min.(SD-100B)			355.5K hrs min.(SD-100C)			341.9K Hrs min.(SD-100D)			MIL-HDBK-217F (25°C)
	DIMENSION	199*98*38mm (L*W*H)									
	PACKING	0.65Kg; 20pcs/13.8Kg/0.8CUFT									
NOTE	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 24,48,96VDC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</li> <li>2. Ripple &amp; noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf &amp; 47uf parallel capacitor.</li> <li>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</li> <li>4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives.</li> </ol>										



## B.8 Medidor de nivel de agua: Finder 72.01



### Serie 72 - Relé de control 16 A

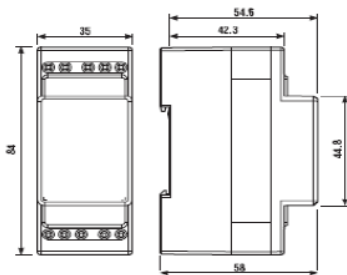
#### Características

Relé de control de nivel para líquidos conductivos

72.01 - Sensibilidad ajustable

72.11 - Sensibilidad fija

- Funciones de vaciado o llenado
- Indicador LED
- Doble aislamiento (6 kV - 1.2/50 µs) entre:
  - alimentación y contactos
  - sondas y alimentación
  - contactos y sondas
- Montaje en carril de 35 mm (EN 50022)
- Control sobre un único nivel o entre límites Mín/Máx
- 72.01 disponible también para alimentación a 400V



PARA CARGAS DE MOTORES Y "PILOT DUTY" HOMOLOGADAS POR UL VER "Información Técnica General" página V

#### Características de los contactos

Configuración de contactos	1 contacto conmutado		1 contacto conmutado
Corriente nominal/Máx. corriente instantánea A	16/30		16/30
Tensión nominal/Máx. tensión de conmutación V AC	250/400		250/400
Carga nominal en AC1 VA	4000		4000
Carga nominal en AC15 (230 V AC) VA	750		750
Motor monofásico (230 V AC) kW	0.55		0.55
Capacidad de ruptura en DC1: 30/110/220 VA	16/0.3/0.12		16/0.3/0.12
Carga mínima conmutable mW (V/mA)	500 (10/5)		500 (10/5)
Material estándar de los contactos	AgCdO		AgCdO

#### Características de la alimentación

Tensión nominal de alimentación (U <sub>N</sub> ) V AC	24 - 110...125 - 230...240	400	24 - 110...125 - 230...240
V DC	24	—	24
Potencia nominal en AC/DC VA (50 Hz)/W	2.5/1.5	2.5/1.5	2.5/1.5
Campo de funcionamiento	AC	{0.8...1.1}U <sub>N</sub>	{0.8...1.1}U <sub>N</sub>
	DC	{0.8...1.1}U <sub>N</sub>	{0.8...1.1}U <sub>N</sub>

#### Características generales

Vida útil eléctrica a carga nominal AC1 ciclos	100 · 10 <sup>3</sup>		100 · 10 <sup>3</sup>
Tensión sonda V AC	4		4
Corriente sonda mA	0.2		0.2
Retardo a la intervención s	0.5 - 7 (seleccionable)		1
Máxima sensibilidad kΩ	5...150 (ajustable)		150 (fijo)
Aislamiento entre alimentación/contactos/sonda (1.2/50 µs) kV	6		6
Temperatura ambiente °C	-20...+60		-20...+60
Categoría de protección	IP20		IP20

Homologaciones (según los tipos)



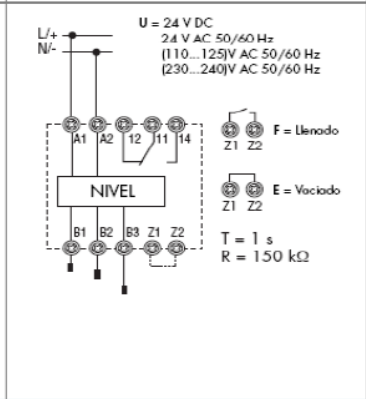
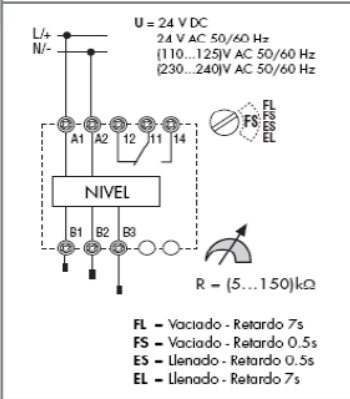
72.01

72.11



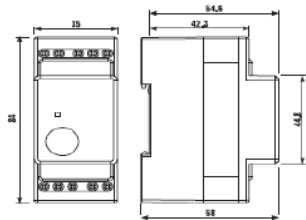
- Sensibilidad ajustable (5...150)kΩ
- Retardo a la intervención seleccionable (0.5s o 7s) mediante selector
- Funciones de vaciado o de llenado seleccionable mediante selector

- Sensibilidad fijo 150 kΩ
- Retardo a la intervención fijo: 1s
- Funciones de vaciado o de llenado seleccionable mediante selector



- Ⓘ Rele di controllo livello 16 A
- ⒼB Level Control Relay 16 A
- Ⓕ Relais de Contrôle de Niveau 16 A
- Ⓓ Niveau-Überwachungs-Relais 16 A
- Ⓝ Niveaubewakingsrelais, 16 A
- Ⓔ Relé de Control de Nivel
- Ⓟ Relé de controle de nivel 16 A

- Ⓛ DIMENSIONI
- ⒼB DIMENSIONS
- Ⓕ DIMENSIONS
- Ⓓ ABMESSUNGEN
- Ⓝ AFMETINGEN
- Ⓔ DIMENSIONES
- Ⓟ DIMENSÕES

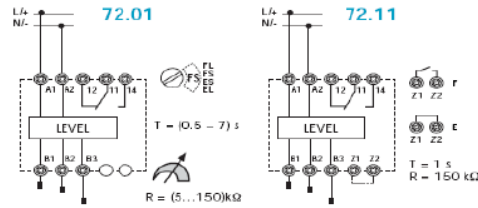


**UL US**

- Open Type Device
- Pollution degree 2 Installation Environment
- Maximum Surrounding Air Temperature 50°C
- Use 60/75°C copper (Cu) conductor only and wire ranges No. 14-18-20 AWG, stranded or solid
- Terminal tightening torque of 7.1 lb.in. (0.8 Nm)

	Ⓘ DATI TECNICI	Ⓝ TECHNISCHE GEGEVENS
	ⒼB TECHNICAL DATA	Ⓔ DATOS TÉCNICOS
	Ⓕ DONNEES TECHNIQUES	Ⓟ DADOS TÉCNICOS
	Ⓓ ALLGEMEINE DATEN	Ⓟ DADOS TÉCNICOS
	24 V DC 24 V AC (50/60 Hz) 110...125 V AC (50/60 Hz) 230...240 V AC (50/60 Hz)	$U_{min} = 0.8 U_N$ $U_{max} = 1.1 U_N$
		$U_{min} = 0.9 U_N$ $U_{max} = 1.15 U_N$
		(-20...+60)°C
		16 A 250 V 0.55 kW (230 V)
	IP 20	
Sensibilità Sensitivity Sensibilité Empfindlichkeit Gevoeligheid Sensibiliteit Sensibilidad	72.01	72.11
	(5...150) k	150 k
Ritardo all'Intervento Delay time Temporisation Verzögerungszeit Vertragingstijd Retardo a la Intervención Tempo de atraso	72.01	72.11
	(0.5 - 7) s	1 s

- Ⓛ SCHEMA DI COLLEGAMENTO
- ⒼB WIRING DIAGRAM
- Ⓕ SCHEMA DE RACCORDEMENT
- Ⓓ ANSCHLUSSBLD
- Ⓝ AANSLUITSHEMA
- Ⓔ ESQUEMA DE CONEXION
- Ⓟ ESQUEMAS DE LIGAÇÃO



- Ⓛ FUNZIONI
- ⒼB FUNCTIONS
- Ⓕ FUNCTIE
- Ⓓ FUNCIONES
- Ⓝ FUNCTIES
- Ⓔ FUNKTIONEN
- Ⓟ FUNÇÕES

**72.01**

**FS:**  
Riempimento - ritardo 0,5s  
Filling function - 0,5s delay time  
Remplissage - temporisation 0,5s  
Füllen, Ein- und Ausschaltverzögerung 0,5s  
Vullen - 0,5 s schakelvertraging  
Llenado - retardo 0,5s  
Função encher com 0,5s de tempo de atraso

**FL:**  
Riempimento - ritardo 7s  
Filling function - 7s delay time  
Remplissage - temporisation 7s  
Füllen, Ein- und Ausschaltverzögerung 7s  
Vullen - 7 s schakelvertraging  
Llenado - retardo 7s  
Função encher com 7s de tempo de atraso

**ES:**  
Svuotamento - ritardo 0,5s  
Emptying function - 0,5s delay time  
Vidange - temporisation 0,5s  
Entleeren, Ein- und Ausschaltverzögerung 0,5s  
Vaciado - retardo 0,5s  
Função esvaziar com 0,5s de tempo de atraso

**EL:**  
Svuotamento - ritardo 7s  
Emptying function - 7s delay time  
Vidange - temporisation 7s  
Entleeren, Ein- und Ausschaltverzögerung 7s  
Vaciado - retardo 7s  
Função esvaziar com 7s de tempo de atraso

**72.11**

**F:**  
Riempimento - ritardo 1s (Z1 - Z2 non ponticellati)  
Filling function - 1s delay time (Z1 - Z2 not connected)  
Vidange - temporisation 1s (Z1 - Z2 non pontos)  
Füllen (Z1 - Z2 nicht gebrückt), Verzögerungszeit 1s  
Vullen, vertragingstijd 1s (Z1 - Z2 niet doorverbonden)  
Llenado - retardo 1s (Z1 - Z2 no puenteados)  
Função encher com 1s de tempo de atraso (Z1 - Z2 não conectados)

**E:**  
Svuotamento - ritardo 1s (Z1 - Z2 ponticellati)  
Emptying function - 1s delay time (Z1 - Z2 connected)  
Vidange - Temporisation 1s (Z1 - Z2 pontos)  
Entleeren (Z1 - Z2 gebrückt), Verzögerungszeit 1s  
Leerpompen, vertragingstijd 1s (Z1 - Z2 doorverbonden)  
Vaciado - retardo 1s (Z1 - Z2 puenteados)  
Função esvaziar com 1s de tempo de atraso (Z1 - Z2 conectados)

- Ⓛ RIEMPIMENTO
- ⒼB FILLING
- Ⓕ REMPLISSAGE
- Ⓓ FÜLLEN
- Ⓝ VULLEN
- Ⓔ LLENADO
- Ⓟ ENCHIMENTO

**72.01 (FS - FL)**

Ⓛ Esempio con 3 sonde  
ⒼB Example with 3 electrodes  
Ⓕ Exemple avec 3 sondes  
Ⓓ Beispiel mit 3 Sonden  
Ⓝ Voorbeeld met 3 elektroden  
Ⓔ Ejemplo con 3 sondas  
Ⓟ Exemplo com 3 sondas

**72.01 (ES - EL)**

Ⓛ Esempio con 2 sonde  
ⒼB Example with 2 electrodes  
Ⓕ Exemple avec 2 sondes  
Ⓓ Beispiel mit 2 Sonden  
Ⓝ Voorbeeld met 2 elektroden  
Ⓔ Ejemplo con 2 sondas  
Ⓟ Exemplo com 2 sondas

**72.11 (F)**

Ⓛ Esempio con 3 sonde  
ⒼB Example with 3 electrodes  
Ⓕ Exemple avec 3 sondes  
Ⓓ Beispiel mit 3 Sonden  
Ⓝ Voorbeeld met 3 elektroden  
Ⓔ Ejemplo con 3 sondas  
Ⓟ Exemplo com 3 sondas

**72.11 (E)**

Ⓛ Esempio con 2 sonde  
ⒼB Example with 2 electrodes  
Ⓕ Exemple avec 2 sondes  
Ⓓ Beispiel mit 2 Sonden  
Ⓝ Voorbeeld met 2 elektroden  
Ⓔ Ejemplo con 2 sondas  
Ⓟ Exemplo com 2 sondas

- Ⓛ SVUOTAMENTO
- ⒼB EMPTYING
- Ⓕ VIDANGE
- Ⓓ ENTLEREEN
- Ⓝ LEGEN
- Ⓔ VACIADO
- Ⓟ ESVAZIAMENTO

**Ⓛ CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO**  
Utilizzare sonda ad elettrodo (modello FINDER consigliato):  
tipi 072.01.06, 072.01.15, 072.51, 072.53

**ⒼB WORKING CONDITIONS**  
Electrodes must be used (Finder types 072.01.06, 072.01.15, 072.51, 072.53 are suggested)

**Ⓕ CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT**  
Utiliser les sondes à électrodes (modèle Finder conseillé):  
type 072.01.06, 072.01.15, 072.51, 072.53

**Ⓓ BETRIEBSHINWEIS**  
Zum Betrieb der Niveaubewakings-Relais sind Sonden erforderlich. Wir empfehlen die Finder-Sonden (komplett) 072.01.06 oder 072.01.15 oder die Sondenhalter 072.51 oder 072.53 (für Stängelsonden mit Gwinnto M4)

**Ⓝ TIPS VOOR GEBRUIK**  
Voor de werking van het niveaubewakingsrelais zijn elektroden vereist. De volgende Finder types worden aanbevolen: 072.01.06, 072.01.15, 072.51 en 072.53

**Ⓔ CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**  
Utilizar sondas y electrodos (modelo FINDER aconsejado):  
tipos 072.01.06, 072.01.15, 072.53

**Ⓟ CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO**  
Utilizar sondas ao eletrodo (são sugeridos os tipos FINDER 072.01.06, 072.01.15, 072.51, 072.53)

## B.9 Sensor de presión sumergible: Huba Control 68



EDITION 07/2002

### Technical overview

The pressure transmitters of type series 681 with piezoresistive measuring elements have compensated, calibrated and amplified sensor signals which are available as standardized voltage or current outputs.

In the immersion-sensor version with a salt water and oil-resistant connection cable they are specially suited for level measurement, even in the presence of corrosive liquids.

The cable incorporates a tube for compensation of the ambient pressure.

All metal parts made of stainless steel are water-tight welded.

### The distinct advantages

- Mechanically protected diaphragm due to special head design
- Supplementary weight (option) improves stabilization of sensor in turbulent media
- Effective overload protection due to chemically etched chip diaphragm and specially designed glass gland
- Compact construction using SMD technology, enhances operational reliability in the presence of shock and vibration
- 100 % sealed against media because fully welded

### Pressure ranges

Relative pressure 0.1 to 25 bar (differential measurements to ambient pressure)

Absolute pressure as option.

DIN categories see order code selection table.

### Overload

3x measurement range, min. 3 bar.

### Rupture pressure

> 200 bar (0.1 ... 25 bar)

### Characteristic line deviation

Acc. Initial point setting DIN 16086, inclusive hysteresis and repeatability

≤ ±0.5% fs  
 ≤ ±0.25% fs (option)  
 ≤ ±0.1% fs up to pressure range 1 bar (option)

### Temperature influences

Compensated temperature ranges: 0 to 70 °C, -25 to +85 °C

### Temperature error

Zero point (0 to 70 °C)  
 0 ... < 0.5 bar < ±0.06% fs/°C  
 0.5 ... < 2 bar < ±0.03% fs/°C  
 2 ... 25 bar < ±0.015% fs/°C

Zero point (-25 to +85 °C)  
 0 ... < 0.5 bar < ±0.08% fs/°C  
 0.5 ... < 2 bar < ±0.04% fs/°C  
 2 ... 25 bar < ±0.02% fs/°C

Operating range (0 to 70 °C)  
 ±0.015% fs/°C

Operating range (-25 to +85 °C)  
 ±0.02% fs/°C

Storage -40 to +125 °C

### Dynamic response

Response time < 1 msec.  
 Suitable for static and dynamic measurements.

### Outputs and power supply

0 - 5 V 15 - 30 VDC (3-wire)  
 0 - 10 V 15 - 30 VDC (3-wire)  
 0 - 20 mA 9 - 33 VDC (3-wire)  
 4 - 20 mA 9 - 33 VDC (2-wire)

Short-circuit proof, with polarity reversal protection.

Other signal outputs on request.

Electromagnetic compatibility: CE conformity to EC directive 89/336 EEC (EMC) by application of harmonized standards EN 50081-2 and EN 50082-2.

### Load

0 - 20 mA:  $\frac{\text{supply voltage} - 6V}{0.02 A}$  [Ohm]  
 max. 1 kOhm

4 - 20 mA:  $\frac{\text{supply voltage} - 9V}{0.02 A}$  [Ohm]

### Intrinsically safe version

Intrinsic safety

II 16 EEx ia IIC T4 ... T6

for Fig. 1 and 2

Intrinsic safety

II 16 EEx ia IIB T4 ... T6 for Fig. 3

Output Power supply  
 4 - 20 mA 10 - 30 VDC

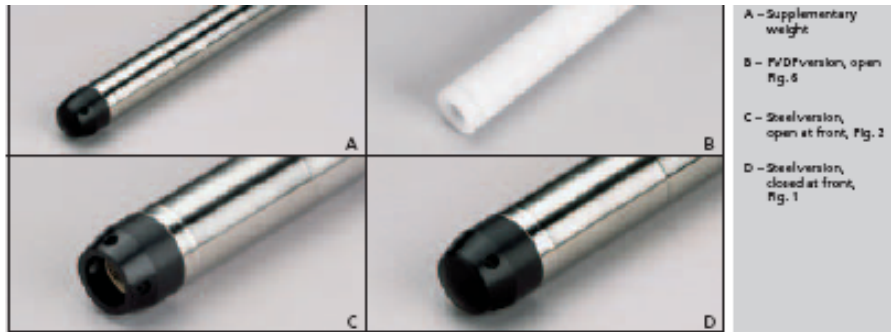
Load:  
 max.  $\frac{\text{supply voltage} - 10V}{0.02 A}$  [Ohm]

### Current consumption

0 - 5 V 2.5 mA  
 0 - 10 V 2.5 mA  
 0 - 20 mA 26 mA fs (max. 30 mA)  
 4 - 20 mA 20 mA fs (max. 31 mA)

### Electrical connections/Protection class

Test voltage 500 volts.



A - Supplementary weight  
 B - PVDF version, open at front, Fig. 6  
 C - Steel version, open at front, Fig. 2  
 D - Steel version, closed at front, Fig. 1

Versions

Order code selection table		EDITION 07/2002	681	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pressure ranges <sup>1</sup> (bar) Relative pressure	0 - 100 mbar		0	0										
	0 - 160 mbar		0	1										
	0 - 250 mbar		0	2										
	0 - 400 mbar		0	3										
	0 - 600 mbar		0	4										
	0 - 1 bar		0	5										
	0 - 1.6 bar		0	6										
	0 - 2.5 bar		0	7										
	0 - 4 bar		0	8										
	0 - 6 bar		0	9										
	0 - 10 bar		1	0										
	0 - 16 bar		1	1										
	0 - 25 bar		1	2										
Outputs	0 - 5 VDC				0									
	0 - 10 VDC				1									
	0 - 20 mA				2									
	4 - 20 mA				3									
	4 - 20 mA	Intrinsically safe version, II 1G EEx ia IIB / IIC T4 ... T6 <sup>†</sup>			4									
	4 - 20 mA	with overvoltage protection			5									
0 - 10 VDC	with overvoltage protection			6										
Characteristic line deviation	± 0.50 % fs				0									
	± 0.25 % fs				1									
	± 0.10 % fs (on request)				2									
Temperature ranges <sup>2</sup>	0 - 70 °C compensated (Medium temperature permissible 0 - 80 °C) <sup>‡</sup>							0						
	-25 - 85 °C compensated (Medium temperature permissible -25 - 85 °C) <sup>‡</sup>							1						
Temperature class	EEx T 6 (Ta: -25 ... 55 °C)				4			0						
	EEx T 4 (Ta: -25 ... 85 °C)				4			1						
Cable length	Data in meters	Example:	2	0										
Versions	Fig. 1 closed, short case													0
	Fig. 1 closed, with supplementary weight													1
	Fig. 2 open, short case													2
	Fig. 2 open, with supplementary weight													3
	Fig. 3 closed, short case, screwing version													4
	Fig. 3 closed, with supplementary weight, screwing version													5
	Fig. 4 open, short case, screwing version													6
	Fig. 4 open, with supplementary weight, screwing version													7
	Fig. 5 closed, PVDF													8
Fig. 6 open, PVDF													9	
Medium	Diesel oil, fuel oil, kerosen	Fig. 1/2/3/4	cable Teflon	0										
	Salt water, brackish water	Fig. 1/2/3/4	cable PUR <sup>‡</sup>	1										
	Drinking water, potable	Fig. 1/2/3/4	cable PE <sup>‡</sup>	2										
	Lake / river water	Fig. 1/2/3/4	cable PUR <sup>‡</sup>	3										
	Benzene <sup>‡</sup>	Fig. 1/2/3/4	cable Teflon	4										
	Chlorinated water	Fig. 5/6	PVDF / cable PUR <sup>‡</sup>	5										
	Acids and alkaline solutions <sup>‡</sup>	Fig. 5/6	PVDF / cable Teflon	6										
	Other medium, precise specification			9										
	All media must be specified precisely in relation to temperature and concentration.													
Standard seals with Viton. Other seals on request.														
Weight	Standard Fig. 1/2/3/4		- 160 grams											
	with supplementary weight		- 420 grams											
	Standard / Ex-Version Fig. 5/6		- 270 grams											
	Cable / meter PUR		- 50 grams											
	Cable / meter Teflon		- 50 grams											

<sup>1</sup> Other pressure ranges outside the DIN categories on request.      <sup>‡</sup> For temperature > 50 °C use cable Teflon.  
<sup>2</sup> Other temperature ranges on request.                                      <sup>†</sup> Indicate correct medium.  
<sup>3</sup> Specify type of benzene.