

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



Diseño del control y monitorización de las compuertas de las tomas de agua de los ríos Pejibaye y Tapantí, centro producción Río Macho.

Instituto Costarricense de Electricidad

Informe de proyecto de graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Melvin Solano Marín
Carné: 200017332

Cartago, diciembre del 2009



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

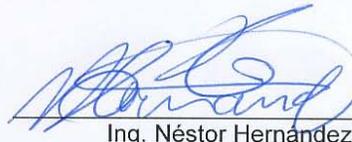
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. William Marín Moreno

Profesor lector



Ing. Néstor Hernández

Profesor lector



Ing. Juan Carlos Jiménez Robles

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 15 de diciembre de 2009



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, 10 de diciembre de 2009

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Melvin', is written over a solid black horizontal line.

Melvin Solano Marín

Cédula: 1-1127-0677



Resumen

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es el mayor productor de energía eléctrica en Costa Rica, cuenta con más de 10 plantas hidroeléctricas, las cuales generan más del 80% de la electricidad que consumen los costarricenses.

La planta generadora Río Macho, ubicada en Orosí de Paraíso de Cartago, al ser una planta de hidroeléctrica, debe canalizar gran cantidad de agua sin afectar el ecosistema circundante.

Actualmente el control de estos sistemas de cierre y apertura se realiza de forma artesanal, pues un operario, basado en su experiencia, es quien acciona un botón para activar desde una electroválvula hasta una bomba hidráulica; con ello se hace necesario tener un operario por turno, pero esto conlleva un riesgo, en especial en la toma de agua de Pejibaye, pues el acceso a esta toma es difícil y peligroso (se accesa por un túnel en donde los niveles de agua son elevados). Además, el sistema esta prácticamente obsoleto pues se basa en sensores de mercurio y relés que han ido perdiendo su fiabilidad.

Ante esto la propuesta de diseño que se da, busca operar y monitorear las compuertas, tanto en modo local donde el sistema es autónomo, (sin dependencia del sistema SCADA) y modo remoto donde es controlado y monitorizado en su totalidad por el sistema SCADA, además de presentar sistemas de seguridad que prevengan posibles accidentes durante su operación, como lo son modos de mantenimiento, el cual bloquea el acceso al control de las compuertas o bombas durante su reparación o verificación y el paro de emergencia (EMO), el cual trabaja en todos los modos de operación aún sin presencia del sistema SCADA.

Agregando a las anteriores algoritmo el cual tiene la capacidad de determinar si la compuerta se detiene antes de llegar a su posición de reposo, éste determina si



existen obstrucciones o fallos en el sistema durante el desplazamiento de las compuertas y en caso de ocurrir un problema de éste tipo desactiva las electroválvulas y motores que intervienen en la operación.

La comunicación ínter tomas fue diseñada basados en enlaces de fibra óptica, los cuales brindan una distancia de transmisión máxima de 3 km. aún con el cable sumergido en el cause del río, esto por las características propias de humedad y distancia del túnel que comunica las tomas de agua Tapantí y Pejibaye.

Por otro lado al activarse las protecciones termo-magnéticas, el sistema indica al usuario, cual de las partes del sistema presenta fallos, por medio del programa de usuario, en modo remoto, o por luces indicadoras, en modo local.

Además de presentar de forma amigable para el usuario la información de posición de las compuertas, alarmas y protecciones termo-magnéticas, y manejo de las compuertas presentes en las tomas de agua.

Palabras clave:

Caudal, control de compuertas, I.C.E (Instituto Costarricense de Electricidad), monitorización, monitorización remota, S7-300, SCADA, sistemas remotos, tomas de agua, túneles.



Abstract

The Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) is the main provider of electrical energy in Costa Rica: it has more than 10 hydroelectrical plants, generating over the 80% of the electrical supply consumed by Costa Rican population. Due to this, there is an special need to focus hydraulic electricity, inically, redirecting the water from a river to a damming where it is stored, then it is entered into a conduction structure where it becomes hydroelectric energy and lately it is directed to the turbines to make them spin with the water pressure. Rio Macho generating plant, located in Paraiso de Cartago Orosi, being a hydroelectric plant, should channel a large amount of water without affecting the surrounding ecosystem.

Currently these systems control opening and closing is done craft, as an operator, based on his experience, who operated from a button to activate a solenoid valve to a hydraulic pump, thus it is necessary to have one operator per shift But this carries a risk, especially in water intake Pejibaye, since access to this shot is difficult and dangerous (is accessed through a tunnel where water levels are high). In addition, the system is practically outdated as it relies on mercury sensors and relays that have been losing their reliability.

Given this design proposal is given, seeking to operate and monitor the floodgates, both in local mode where the system is autonomous (not dependent on SCADA system) and which is remotely controlled and monitored in its entirety by the SCADA system, addition to providing security systems that prevent possible accidents during its operation, as are methods of maintenance, which blocks access to the control of gates or pumps for repair or verification and emergency stop (EMO), which works modes in all operation even without the presence of the SCADA system.



Adding to the above algorithm which has the ability to determine if the gate is stopped before reaching its resting position, it determines whether there are obstructions or failures in the system during the displacement of the gates and in the event of a problem this type off the solenoid valves and motors involved in the operation. Interpersonal communication outlets was designed based optical fiber links, which provide maximum transmission distance of 3 km. even with the cable immersed in the course of the river, that by the characteristics of moisture and distance from the tunnel. On the other hand to activate the thermal-magnetic protection, the system tells the user which of the parties present system failures either by way of the user program, in remote mode or local mode indicator lights.

In addition to presenting on a user-friendly location information of the gates, alarms and thermal-magnetic protection and management of gates present in the water intakes.

Key words:

Flow control gates, ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), monitoring, remote monitoring, S7-300, SCADA, remote systems, water mains, tunnels.



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Electrónica



Dedicatoria

A Dios, mis padres, tíos, tías, en especial Danilo, mis hermanos y hermanas, mi familia en sí y a mis compañeros del TEC, en los cuales encontré verdaderos amigos....



Agradecimiento

A todos los que de una forma u otra me ayudaron a avanzar, en los momentos difíciles y en los momentos de alegría. A mis compañeros y amigos, juntos, nos impulsamos y apoyamos.

A mis padres por los sacrificios que hicieron para que pudiera lograr mi crecimiento profesional.

A los ingenieros Juan Carlos Jiménez, Edward Astúa Fernández, Santiago Quirós Vargas, Marcos Rivera Barquero y Sergio Morales Quirós, a todos los técnicos del taller eléctrico, por su asesoría, colaboración y por todas las facilidades brindadas.

Gracias a su cooperación es que el desarrollo de este proyecto se hizo posible.

Y a mis profesores por las lecciones recibidas y por impulsarme siempre a dar más.



INDICE GENERAL

| | | |
|------------|--|----|
| Capítulo 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Problema existente e importancia de su solución..... | 1 |
| 1.2 | Solución seleccionada:..... | 3 |
| Capítulo 2 | Meta y objetivos | 5 |
| 2.1 | Meta..... | 5 |
| 2.2 | Objetivo General | 5 |
| 2.3 | Objetivos Especificos | 5 |
| Capítulo 3 | Marco Teórico..... | 7 |
| 3.1 | Descripción del sistema o proceso por mejorar..... | 7 |
| 3.2 | Antecedentes Bibliográficos..... | 10 |
| 3.3 | Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema | 10 |
| 3.3.1 | Principio de reflexión de la luz en la fibra óptica..... | 10 |
| 3.3.2 | Principio de funcionamiento de la bomba de engranajes [2]..... | 11 |
| 3.3.3 | Principio de funcionamiento electroválvula [5]..... | 13 |
| 3.3.4 | Principio de Funcionamiento de Pistón Hidráulico..... | 13 |
| 3.3.5 | Linealización de la curva de salida del Sensor de Nivel [6]..... | 15 |
| Capítulo 4 | Procedimiento Metodológico | 17 |
| 4.1 | Reconocimiento y definición del problema | 17 |
| 4.2 | Obtención y análisis de información..... | 18 |
| 4.3 | Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución..... | 19 |
| 4.4 | Implementación de la solución..... | 20 |
| 4.5 | Reevaluación y rediseño | 22 |
| Capítulo 5 | Descripción detallada de la solución..... | 23 |
| 5.1 | Análisis de soluciones y selección final..... | 23 |
| 5.2 | Principio de funcionamiento..... | 25 |
| 5.3 | Las bombas hidráulicas y motores..... | 25 |
| 5.4 | Los pistones hidráulicos | 26 |
| 5.5 | Descripción del hardware | 27 |
| 5.5.1 | Bloque de control | 28 |
| 5.5.1.1 | El PLC S7 315-2DP..... | 28 |
| 5.5.1.2 | Entradas y salidas del bloque de control:..... | 30 |
| 5.5.2 | Bloque de comunicaciones..... | 31 |



| | | |
|---|--|----|
| 5.5.3 | Bloque Periferia Distribuida ET 200M | 32 |
| 5.5.4 | Bloque Potencia | 32 |
| 5.5.5 | Diagramas de conexión de dispositivos de monitorización remota. | 34 |
| 5.5.6 | Circuitos de para control local Pejibaye y control local Tapantí..... | 38 |
| 5.6 | Descripción del software..... | 47 |
| 5.6.1 | Descripción del software y lenguaje de programación del PLC S7-300 | 47 |
| 5.6.2 | Estructura del Programación del PLC | 48 |
| 5.6.3 | Set de instrucciones del PLC..... | 51 |
| 5.6.4 | Programa local del PLC..... | 51 |
| 5.6.5 | Programa local de PC | 63 |
| Capítulo 6 Análisis de Resultados | | 67 |
| Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones | | 71 |
| 7.1 | Conclusiones:..... | 71 |
| 7.2 | Recomendaciones:..... | 72 |
| Capítulo 8 Referencias..... | | 73 |
| Apéndices..... | | 74 |
| A.1 | Glosario y Abreviaturas | 74 |
| A.1.1 | Glosario. | 74 |
| A.1.2 | Abreviaturas..... | 77 |
| A.2 | Información sobre la empresa/institución | 78 |
| A.2.1. | Descripción de la empresa. | 78 |
| A.2.2. | Descripción del departamento o sección en la cual se realizó el proyecto. | 79 |
| A3. | Manual de usuario..... | 81 |



INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1. Distribución de las compuertas Toma de Agua Tapantí..... | 7 |
| Figura 3.2. Detalle compuerta T3 y zona interior..... | 8 |
| Figura 3.3. Distribución de las compuertas Toma de Agua Pejibaye | 9 |
| Figura 3.4. Ley de Snell para diferentes valores de a_i | 11 |
| Figura 3.5. Bomba Rotativa de Engranajes Externos | 12 |
| Figura 3.6. Distribución de las fuerzas electromotrices | 13 |
| Figura 3.7. Diagrama de componentes del pistón hidráulico | 14 |
| Figura 3.8. Área efectiva del pistón hidráulico..... | 14 |
| Figura 3.9. Representación línea recta en forma punto..... | 15 |
| Figura 5.1. Fases de la Descripción de Hardware. (Paint) | 27 |
| Figura 5.2. Esquema de bloques etapa de control. (Paint)..... | 28 |
| Figura 5.3. Detalle de conexión de salida con aislamiento | 33 |
| Figura 5.4. Detalle de conexión de entrada con aislamiento | 33 |
| Figura 5.5. Detalle de conexión de monitorización de protección termo-magnética | 34 |
| Figura 5.6. Diagrama de conexión de entradas digitales Tapantí | 35 |
| Figura 5.7. Diagrama de conexión de entradas y salidas digitales Tapantí..... | 36 |
| Figura 5.8. Diagrama de conexión de sistema de reset remoto Tapantí..... | 36 |
| Figura 5.9. Diagrama de conexión de entradas digitales Pejibaye | 37 |
| Figura 5.10. Diagrama de conexión de salidas digitales y..... | 38 |
| Figura 5.11. Detalle configuración botón EMO (Paint) | 39 |
| Figura 5.12. Circuito de conexión de relé de accionamiento, protección | 39 |
| Figura 5.13. Diagrama de conexión para control Local/Remoto | 40 |
| Figura 5.14. Diagrama eléctrico control local compuerta P1..... | 41 |
| Figura 5.15. Fase de potencia compuerta P1. | 42 |
| Figura 5.16. Diagrama eléctrico control local compuerta P2..... | 43 |
| Figura 5.17. Diagrama eléctrico control local Bomba hidráulica P. | 44 |
| Figura 5.18. Diagrama eléctrico control local compuertas Tapantí. | 45 |
| Figura 5.19. Diagrama eléctrico control local Bombas hidráulicas B1 y B2..... | 46 |
| Figura 5.20. Diagrama de flujo secuencia de inicialización (parte 1) | 52 |
| Figura 5.21. Diagrama de flujo secuencia de inicialización | 53 |
| Figura 5.22. Diagrama de flujo de funcionamiento de sensor de nivel..... | 55 |
| Figura 5.23. Diagrama de flujo rutina de subir compuerta T1 | 56 |
| Figura 5.24. Diagrama de flujo rutina de subir compuerta P1..... | 59 |
| Figura 5.25. Diagrama de flujo rutina de subir compuerta P2..... | 61 |
| Figura 5.26. Pantalla de introducción de usuario | 63 |
| Figura 5.27. Pantalla de monitorización de sistema | 64 |
| Figura 5.28. Pantalla de Control de Toma de Agua Tapantí..... | 64 |
| Figura 5.29. Falla en sistema termo-magnético | 65 |
| Figura 5.30. Pantalla de Eventos..... | 66 |
| Figura A.1. Esquema del Centro de Producción Río Macho..... | 79 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 5.1. Comparación ventajas y desventajas implementación PLC y PIC | 24 |
| Tabla 5.2. Características Eléctricas de los Motores en la Toma de Agua Pejibaye | 26 |
| Tabla 5.3. Características Eléctricas de los Motores en la Toma de Agua Tapantí..... | 26 |
| Tabla 5.4. Datos Técnicos CPU S7 315-2DP | 29 |
| Tabla 5.5. Datos Técnicos modulo OLM/G11-1300 | 31 |
| Tabla 5.6. Sistema de Periferia Distribuida ET 200M..... | 32 |
| Tabla 5.7. Módulos de Usuario..... | 49 |
| Tabla 5.8. Módulos del Sistema | 50 |
| Tabla 5.9. Codificación de colores para evento y alarmas para la pantalla de evento..... | 65 |



Capítulo 1 Introducción

En el siguiente capítulo se presenta una descripción del problema existente y la importancia de su solución a través de los beneficios que obtendrá la Institución al establecer control y monitorización en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye. Además se hace una descripción general del tipo de solución por implementar.

1.1 Problema existente e importancia de su solución:

La planta de generación eléctrica Río Macho ubicada en Orosí de Paraíso, Cartago, tiene como principal actividad la generación de energía eléctrica, entre las tomas de agua presentes en dicho centro de generación se encuentran la Tapantí ubicada en el Parque Nacional Tapantí, la cual cuenta con un acceso por calle de lastre, la toma de Pejibaye, igualmente ubicada en dicho parque, cuenta con características de difícil acceso, como el ingreso por un túnel de 2.6 km, o el uso de una ruta alterna a través de la montaña con una distancia de 7 km, aproximadamente en relación con la toma Tapantí.

En este momento el sistema se controla de manera artesanal, con base en la experiencia de la persona encargada, ello implica la presencia de un operario por turno los 365 días del año.

El control del caudal y el nivel de agua presentes en las tomas de agua que alimenta los generadores eléctricos es vital para su correcto funcionamiento.

El sistema de control actual, basado de sensores de mercurio y relés al pasar del tiempo va perdiendo su fiabilidad, generando un aumento en las incertidumbres de las mediciones de caudal y nivel de agua presentes en las tomas de agua.



El sistema de control actual al basarse en la experiencia del operario está propenso a fallos, tanto por falta de conocimiento formal como de error humano. Esto puede generar daños al equipo de la casa de máquinas, ya sea por sobrepresión en las vías de alimentación de agua o en su defecto por la inserción de bolsas de aire por poca presión en las vías de alimentación.

La planta de generación eléctrica Río Macho se encuentra en una fase de modernización, pues algunos de sus sistemas datan desde su apertura en 1963 y por este motivo las labores de reparación y mantenimiento son cada vez más complicadas, además otro factor que coadyuva es la dificultad del acceso.

Si se automatizara la producción o sea si se instalaran sistemas hidráulicos modernos, esos cambios rondarían los veinte millones de colones, sin embargo al solucionarse este problema la empresa obtendrá una serie de beneficios como:

- Sistema de monitorización en tiempo real del sistema.
- Modos de operación que permiten un mayor control del proceso e implementación de sistemas de seguridad.
- Un sistema más fiable en cuanto a mediciones.
- Sistemas de control local y remoto que permiten realizar el control a distancia como en el sitio.



1.2 Solución seleccionada:

La solución cuenta con cinco fases, en la primera se realizó la investigación sobre el alcance de proyectos formulados anteriormente [8 y 9], esta fase nos permitió determinar posibles puntos débiles del proyecto además de generar un marco de referencia sobre posibles métodos de solución y alternativas de diseño.

En la segunda fase se realizó el funcionamiento de los actuadores por medio del sistema de control y la toma de datos por parte de los sensores, además de integrar un sistema de interfaz entre el usuario final y el sistema de control, en la tercera fase se desarrolló un sistema de detección de fallas y la toma de decisiones para eliminar o, en el peor de los casos reducir su efecto y finalmente la cuarta fase implementó un sistema de comunicación con respecto a las tomas de agua Tapantí y Pejibaye.

El sistema cuenta con actuadores de tipo hidráulico que se encargan del accionar de las compuertas, el sistema de automatización es encargado de enviar los pulsos, para su control.

Basados en las características de robustez y precio se toma en cuenta que este sistema de automatización puede ser implementado usando un PLC, dado que es un sistema que cumple con las características de trabajo en zonas de alta humedad y cuenta con las interfaces de comunicación Profibus DP y MPI, lo cual facilita el acoplamiento del sistema de control con los sensores, actuadores y sistemas de comunicación que deben ser implementados.

Para esta fase se realizaron las rutinas de lectura de sensores, encendido y apagado de motores y bombas.

En la tercera fase se realizó las conexiones que permiten la interfaz con el usuario final, la implementación del sistema SCADA y la comunicación de la Toma



Pejibaye mediante un módulo de fibra óptica, en donde se permite visualizar en tiempo real la planta y el accionamiento de algún actuador en específico.

En la cuarta fase se implementó los algoritmos para detectar y corregir de fallas, en caso de encontrar alguno en el sistema debe tomar medidas para la mitigación, aunque en esta parte el sistema no puede generar alarmas externas, bien puede tomar decisiones como: mantener abierta o cerrada una compuerta, o detener el sistema de control, para este sistema y basados en criterios de experto se considera adecuado una tasa de fiabilidad del 95%.

Para la última fase de interconexión de las tomas de agua el sistema tiene la capacidad de visualizar las condiciones de ambos sistemas, además podrá generar alarmas externas que permitan alertar a la estación de monitorización sobre qué fallo ocurrió y qué medidas está tomando el sistema. En caso de no ser el idóneo el operario puede cambiar la configuración para que tome otra con la cual se obtenga una repuesta más rápida u oportuna.



Capítulo 2 Meta y objetivos

2.1 Meta

Realizar la integración del sistema de control y monitorización con los sistemas presentes la planta de generación Río Macho.

Indicador: Sistema verificación de compatibilidad suministrado por el ICE (IEEE Std 1138-1994, IEEE 802.3, RS-485, ProfiBus DP)

2.2 Objetivo General

Diseñar un sistema para el control y la monitorización en forma remota y local sobre el estado de las compuertas, las protecciones termomagnéticas, sensores de nivel y bombas hidráulicas presentes en las tomas de agua Pejibaye y Tapantí.

Indicador: Diagramas de flujo de describen el funcionamiento del programa

2.3 Objetivos Específicos

- Desarrollar un algoritmo de control que permita la configuración y monitorización en modo remoto las compuertas, protecciones termomagnéticas, sensores de nivel y bombas hidráulicas presentes en las tomas de agua Pejibaye y Tapantí.



Indicador: Diagramas de flujo que describen el funcionamiento del algoritmo.

- Diseñar un dispositivo de control que permita la vigilancia de modo local en las compuertas, las protecciones termo-magnéticas y las bombas hidráulicas presentes las tomas de agua Pejibaye y Tapantí.

Indicador: Circuitos y diagramas de conexión para modo local.

- Idear un sistema que faculte la lectura de los sensores de nivel de agua y el control de los actuadores presentes en las tomas Pejibaye y Tapantí, con un rango de incertidumbre de 5%.

Indicador: Diagramas de flujo de describe el monitorización y funcionamiento del sistema.

- Confeccionar un sistema que permita la comunicación entre los sistema de control presentes en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye.

Indicador: Certificación de cumplimiento de transmisión con especificación de taza de error menor al 5%.

Capítulo 3 Marco Teórico.

3.1 Descripción del sistema o proceso por mejorar

El sistema basado en contactores, sensores de mercurio y relés, presenta diversos inconvenientes como: la tendencia a generar valores erróneos en la medición, esto por el deterioro producido por el uso extensivo, lo cual deriva en un sistema poco confiable a largo plazo, además de no presentar un modo de operación mantenimiento o local/remoto.

El sistema de control acciona las electroválvulas que manejan la apertura y cierre de las compuertas, además del accionamiento de las bombas hidráulicas que presurizan el sistema en las compuertas situadas en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye.

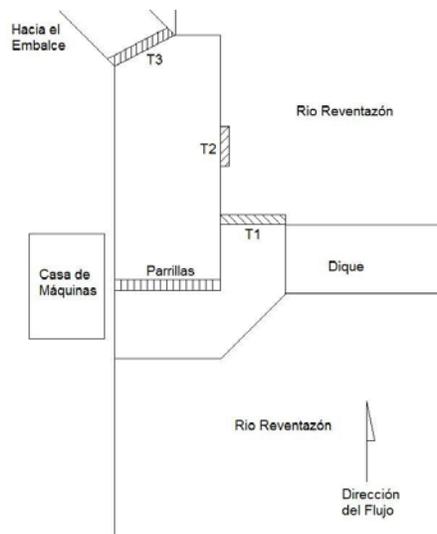


Figura 3.1. Distribución de las compuertas Toma de Agua Tapantí

Este proceso se realiza en forma individual (sólo modo local), no existen sistemas de monitorización de las variables de sistema como: compuertas abiertas, compuertas cerradas o bombas accionadas, además en caso de presentarse obstáculos en la apertura o cierre de compuerta; el sistema no cuenta con aditamentos de emergencia o corrección como válvulas de alivio o sistemas para detener el motor.

La operación se realiza de la siguiente manera: normalmente la compuerta T3 se encuentra abierta y las compuertas T1 y T2 se encuentran cerradas, cuya distribución se muestra en la figura 3.1. Para realizar labores de mantenimiento o limpieza, se inicia con la apertura de la compuerta T2 y cierre de la T3, esta genera un vórtice, que elimina el sedimento presente en la zona interior (posterior a las parrillas mostrada en la figura 3.2), una vez eliminado este sedimento se cierra la compuerta T2 y se realiza la apertura de la compuerta T1, que desvía el flujo de agua nuevamente al cauce del río.



Figura 3.2. Detalle compuerta T3 y zona interior
(nota la compuerta T2 no se observa por estar sumergida)

Una vez concluida la fase de limpieza o mantenimiento se procede a la apertura de la compuerta T3 para iniciar la conducción de agua al embalse, ya abierta la T3 se inicia el cierre de la compuerta T1, para encausar una parte del río.

La operación de las compuertas presentes en la toma de agua Pejibaye mantiene la compuerta P1 abierta y la compuerta P2 cerrada durante su operación normal, cuya distribución se muestra en la figura 3.3, vale la pena aclarar que en este momento la compuerta P1 también está cerrada, dado que por falta de mantenimiento los controles remotos se encuentran sin uso, esto para evitar cualquier riesgo a los operadores quienes deben atravesar el túnel de alimentación, en caso de una “cabeza de agua”.

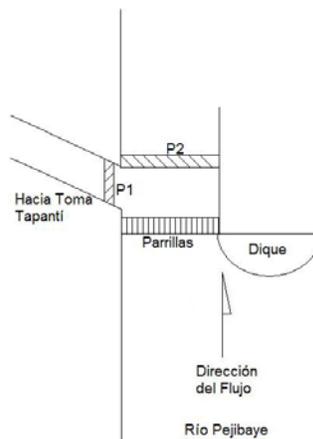


Figura 3.3. Distribución de las compuertas Toma de Agua Pejibaye

La operación en modo normal debería ser de la siguiente manera en una eventual entrada de operarios se realiza la apertura de la compuerta P2, para regresar el flujo de agua presente en la toma de agua al río, seguidamente se realiza el cierre de la compuerta P1, se detiene el ingreso de agua al túnel, una vez terminadas las labores de mantenimiento se realiza la apertura de la compuerta P1 y al cierre de la compuerta P2, regresando al estado normal de operación.



3.2 Antecedentes Bibliográficos

En lo consecuente con la investigación sobre los distintos módulos y protocolos como lo son el Profibus DP, MPI y comunicación basada en fibra óptica, presentes las distintas fases del proyecto, se realizó una investigación orientada a la búsqueda de hojas de datos, manuales sobre la puesta en marcha y ejemplos de código, que permitieran tener una visión más global del proceso en cuestión.

Dentro de las páginas consultadas se encuentran el sitio web oficial de los productos de automatización SIEMENS [1], además la página oficial del software InTouch(R) HMI [7].

Por otro lado dentro de la investigación se realizó un apartado concerniente a los principios físicos y eléctricos relacionados con la solución del problema donde se abarca las ecuaciones matemáticas que son necesarias para explicación del funcionamiento de distintos equipos empleados.

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

3.3.1 Principio de reflexión de la luz en la fibra óptica [10]

$$n_1 \text{sen}(a_i) = n_2 \text{sen}(a_t) \quad (3.1)$$

Partiendo del principio que n_1 es mayor que n_2 , se aumenta el valor de a_i (siempre con $a_i < 90^\circ$), hasta encontrar un valor que haga $a_t = 90^\circ$ (como se

muestra en la figura 3.4), a este valor de a_i , se le denomina “ángulo límite”, es ahí en donde se realiza una reflexión total del rayo luminoso

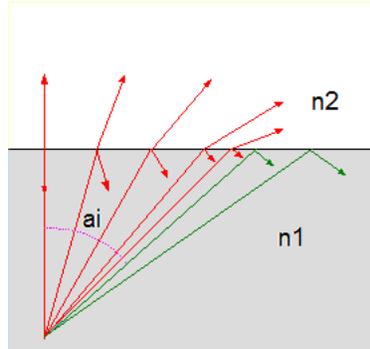


Figura 3.4. Ley de Snell para diferentes valores de a_i

3.3.2 Principio de funcionamiento de la bomba de engranajes [2]

Con el movimiento rotacional de los engranajes, se genera en la entrada de la bomba presión negativa; como el aceite presente en el depósito esta a presión ambiente, se crea un diferencial de presión, lo cual permite el traslado desde el depósito hacia la entrada de las bombas. Así los engranes pueden tomar aceite entre los dientes y trasladarlo a la salida de la bomba, por el efecto de hermetismo de algunas zonas, el aceite queda impedido de retroceder y es obligado a circular en el sistema, como se muestra en la figura 3.5.

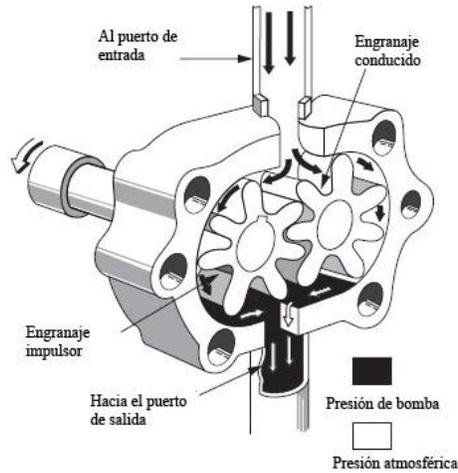


Figura 3.5. Bomba Rotativa de Engranajes Externos ¹

El caudal que puede ser manejado por estas bombas puede calcularse como:

$$c = \frac{\pi \times (D^2 - d^2) \times l}{4} \quad (3.2)$$

Donde:

D = diámetro mayor del engranaje [cm]

d = diámetro menor del engranaje [cm]

l = ancho del engranaje [cm]

c = volumen de aceite desplazado [cm³/revolución]

$$Q_T = c \times N \quad (3.3)$$

Donde:

c = volumen de aceite desplazado [cm³/revolución]

N = revoluciones por minuto [rpm]

Qt = caudal [cm³/minuto]

¹ Imagen editada de figuras obtenidas en la página web:

http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm#Bomba%20de%20engranajes

3.3.3 Principio de funcionamiento electroválvula [4]

Basados en la figura 3.6, la cual muestra la distribución de las fuerzas electromagnéticas en un conductor

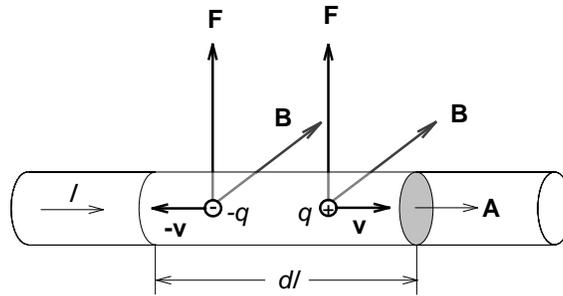


Figura 3.6. Distribución de las fuerzas electromotrices dentro de un conductor ²

$$\vec{F} = \int_C I d\vec{l} \times \vec{B} = I \left(\int_C d\vec{l} \right) \times \vec{B} = I \vec{L} \times \vec{B} \quad (3.4)$$

Donde:

- \vec{F} = Fuerza magnética
- I = Corriente por el conductor
- $d\vec{l}$ = diferencial de longitud
- \vec{B} = campo magnético

3.3.4 Principio de Funcionamiento de Pistón Hidráulico[2]

La principal característica de los pistones hidráulicos es la capacidad de transformar la potencia presente en un fluido a lineal. La presión del fluido

² Imagen obtenida en la página web: <http://petra.euitio.uniovi.es/docencia/cursos/primerofisica/Tema%2010%20Campo%20magn%20E9tico.doc>

determina la fuerza aplicada por parte del cilindro además el caudal nos determina la velocidad de desplazamiento lineal del pistón.³

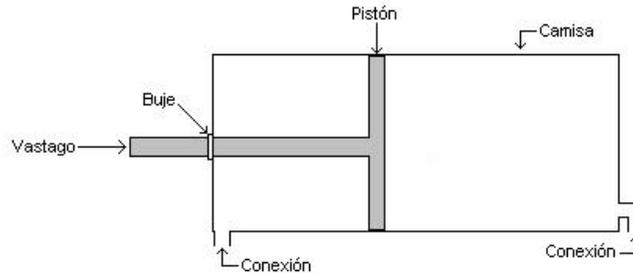


Figura 3.7. Diagrama de componentes del pistón hidráulico

La fuerza aplicada por el pistón se puede calcular como la presión manométrica multiplicada por la superficie del pistón.

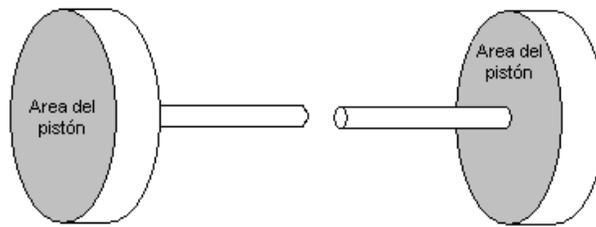


Figura 3.8. Área efectiva del pistón hidráulico

$$F(kg) = P(kg / cm^2) \times A(cm^2) \quad (3.5)$$

Para el cálculo de la velocidad de desplazamiento realizamos la división del flujo total entrante al pistón entre el área real efectiva del mismo.

³ Información obtenida de: http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm



$$V(\text{cm/s}) = \frac{\phi(\text{cm}^3/\text{s})}{A(\text{cm}^2)} \quad (3.6)$$

3.3.5 Linealización de la curva de salida del Sensor de Nivel [6]

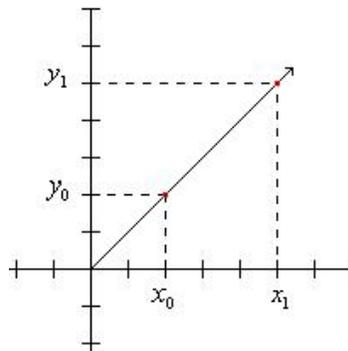


Figura 3.9. Representación línea recta en forma punto

Partiendo de la figura 3.9, se puede obtener los valores para el cálculo de los parámetros

$$y = mx + b \quad (3.7)$$

Donde

x es la variable independiente de la ecuación

y es la variable dependiente de la ecuación

m es la pendiente de la curva

b es el coeficiente de posición de la recta

Para el cálculo de los valores de m y b es necesario el conocimiento de dos o más puntos de la ecuación, una vez obtenidos se procede a utilizar la siguiente relación:

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (3.8)$$



$$\frac{y-0}{x-5500} = \frac{8-0}{27648-5500}$$

$$\frac{y}{x-5500} = \frac{8}{22148}$$

$$\frac{y}{x-5500} = 3,61206 \times 10^{-4}$$

$$y = 3,61206 \times 10^{-4} (x - 5500)$$

$$y = 3,61206 \times 10^{-4} x - 1.98$$



Capítulo 4 Procedimiento Metodológico

En el siguiente capítulo se describen las etapas seguidas para llegar a la solución del problema. De acuerdo con el método de diseño en ingeniería.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para identificar el problema se partió de la información obtenida en la entrevista con los Ingenieros Santiago Quirós y Edward Astua Fernández en la primera visita realizada al proyecto. Ahí se describió el funcionamiento y las necesidades del sistema, y se proporcionaron informes para realizar búsquedas posteriores de datos suministrados por el fabricante.

Además se utilizó la información proporcionada por personeros del Área Técnica, quienes son los encargados de realizar el mantenimiento del equipo eléctrico presente en las tomas de agua, y de los operadores los cuales son los usuarios finales del sistema. Sumado a esto se efectuaron varias visitas al campo de trabajo para observar el funcionamiento del control y anotar el comportamiento del sistema actual.

Al analizar los resultados obtenidos, y comparándolos con los datos del fabricante se logró definir el problema: En las tomas de agua no existe el monitoreo ni el control remoto necesarios para darles mantenimiento y brindar seguridad a los operarios ante una eventual reparación de las tomas.



4.2 Obtención y análisis de información

La recopilación de informes necesarios para conocer el problema y determinar la solución se obtuvo de fuentes como personeros del área técnica, operadores de las tomas de agua y del material suministrado por el fabricante almacenados en el centro de documentación de la planta de generación Río Macho.

Además se empleó la herramienta Internet para investigar sobre datos técnicos de los distintos componentes presentes en las tomas de agua, entre ellas electroválvulas y bombas hidráulicas y datos técnicos de los nuevos componentes, así como tecnologías y software, requeridos en la implementación de la solución.

Para el análisis de esta información se procedió a la lectura de los documentos, se extrajo lo más relevante de cada uno, apoyado con ejemplos de funcionamiento y datos técnicos de puesta en marcha suministrados por los fabricantes. Además se dio un especial énfasis a los criterios utilizados por los operadores y a las sugerencias técnicas basadas en el conocimiento previo del funcionamiento de los sistemas de control presentes en las tomas de agua y el uso de varios elementos utilizados en la solución como PLC, software SCADA y módulos de comunicación por fibra óptica, entre otros.

La búsqueda de información se centró en la operación y en las características de funcionamiento de los componentes presentes en las tomas de agua.



4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Una vez analizados los datos se determinó que la solución de este problema requería un sistema de control. Para la implementación de dicho sistema de control debía determinar qué tipo de dispositivo iba a ser utilizado. Las dos alternativas que presentaban características más afines fueron un micro controlador o un PLC.

Con base en la investigación de las características de ambos sistemas, en las hojas técnicas de los fabricantes y tomando en cuenta las características propias del sitio.

Se determinó que el PLC era mejor opción debido a que está diseñado para soportar las condiciones adversas como: alta humedad y baja temperatura, presentes en las tomas de agua. Condiciones para las que no está preparado el micro controlador lo cual generaría el riesgo de un posible daño y mal funcionamiento.

Para validar la solución con el PLC se partió de las características y habilidades del mismo. Se determinó usar un PLC con un conjunto de entradas y salidas, módulo PROFIBUS para la comunicación vía fibra óptica con la toma Pejibaye por periferia distribuida, comunicación MPI para la comunicación con el sistema SCADA, que permitieran implementar el controlador requerido.

Además la utilización del PLC ofrecía ventajas en cuanto a rapidez de implementación, dado que los dispositivos para su correcto funcionamiento están disponibles y son de fácil acoplamiento.



4.4 Implementación de la solución

Primeramente se debe realizar un estudio de las características tanto físicas como eléctricas e hidráulicas de los distintos dispositivos presentes en las tomas de agua a través del siguiente procedimiento:

- Estudio de las características técnicas de las compuertas.
- Pruebas de funcionamiento de las compuertas.
- Tabulación de resultados obtenidos con las pruebas a las compuertas.

Las características de funcionamiento de los actuadores de las tomas de agua, se realizaron mediante la verificación directa de los mismos, se toman en cuenta las características eléctricas como tensión y corriente de operación nominal y mecánicas (torque y distancia de elongación).

Posteriormente con base en los datos anteriores se determinó el modelo de entradas y salidas, de las cuales se toman en cuenta las características de los actuadores, las compuertas, las bombas, datos de comunicación inter bombas y comunicaciones PROFIBUS, alarmas, datos de usuario, tanto remoto como local.

Para determinar si los actuadores y controladores presentes en las tomas de agua son los adecuados, se realiza una comparación de las características del sistema de control diseñado, como lo es el PLC y dichos actuadores tanto en voltaje y corriente de operación nominal además de la vida útil de los mismos.



Además para la programación del PLC, se hace indispensable el aprendizaje del lenguaje Escalera, para ello se recurriró a tutoriales y ejemplos procedentes de la página web del fabricante.

Una vez determinado el modelo de entradas salidas se prosiguió con el diseño del control para las tomas de agua, de acuerdo con:

- Diagrama de flujo del sistema en funcionamiento normal, para esta fase se tomaron en cuenta los valores máximos y mínimos presentes en el sistema.
- Diagrama de flujo para operación con errores presentes, cuenta con rutas alternativas para mitigar o informar según sea el caso, además se debe enviar información al sistema remoto de configuración
- Diagrama de comprobación de señales, este sistema permite detectar errores en la transmisión de datos tanto entre las tomas de agua como con los sensores utilizados o los sistemas de configuración remota.

Para la realización de las pruebas de control y toma de datos se recurre a la utilización del protocolo de verificación del sistema.

En lo concerniente al sistema de comunicación inter-tomas se determina basado en proyectos formulados anteriormente que la utilización de radio frecuencia para el envío de datos no es viable por lo cual se verá la posibilidad de utilizar enlaces de fibra óptica, los cuales presentan tolerancia a la humedad y condiciones adversas presentes en el túnel, usando la norma IEEE 1138-1994.

Una vez finalizadas las pruebas se realiza la transferencia de tecnología; en esta fase se efectuaron capacitaciones y demostraciones a los operarios del sistema,



con el fin de que puedan realizar su labor eficientemente, por lo cual es indispensable la confección de un manual de usuario, además de presentaciones en las cuales se muestre el funcionamiento paso a paso, así como recomendaciones sobre su funcionamiento y mantenimiento.

4.5 Reevaluación y rediseño

En la implementación del sistema se replanteó la opción de utilizar un sistema de comunicación basado en el protocolo Modbus TCP/IP, MESR9xx (utiliza la interfaz de comunicación serie o TCP Modbus), dado que este protocolo de comunicación está siendo utilizado en otras aplicaciones presentes en la planta, con el inconveniente de la incompatibilidad de conexión directa con el PLC S7-315-2DP, el cual fue escogido para esta implementación.

Para realizar esta integración se puede recurrir al modulo CP 343-1, el cual cuenta con interfaz tanto PROFIBUS como TCP/IP, la cual es compatible con Modbus TCP, en el lado de la periferia distribuida podemos utilizar el modulo ET200S, el cual también cuenta con interfaz TCP Modbus, además de la necesidad de integrar al software de programación las librerías S7 OpenMODBUS/TCP PN PLC además del software open modbus TCP Wizard, (disponible gratuitamente en www.automation.siemens.com)

Incrementando el presupuesto dado que implica la compra de más dispositivos como lo es el modulo CP 343-1 además generar más posibles fuentes de fallo en el sistema.



Capítulo 5 Descripción detallada de la solución

En el siguiente capítulo se describe la solución de una forma detallada. Además se incluye la descripción de los elementos de hardware y software del sistema que son de gran importancia para el entendimiento de la solución. Para esto se hace uso de figuras, diagramas eléctricos, diagramas de flujo y fotografías.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Para la realización de este proyecto se debe contar con un dispositivo que pueda resistir tanto una humedad relativa cercana al 100% posibles golpes por manejo como transporte además de presentar un sistema de alimentación capaz de soportar posibles sobrevoltajes de alimentación o ausencia del mismo (Baterías de back up), por otro lado ser compatible con sistemas de comunicación y monitorización industrial, poder interpretar entradas tanto de tipo digital como valores analógicos y presentar salidas de tipo digital para manejo de sistemas de media potencia (120 o 220V y 2 a 20 A).

Además este sistema debería ser capaz de procesar información proveniente de sensores y poder envía y recibir los datos provenientes y destinados a la periferia distribuida por medio de enlaces de fibra óptica.

De acuerdo con estos requisitos se consideraron dos sistemas: un micro controlador o un PLC. Se analizó un dispositivo contra el otro de forma general es decir sin entrar en detalles de fabricantes específicos. Se obtuvo una tabla comparativa, tabla 5.1.



Tabla 5.1. Comparación ventajas y desventajas implementación PLC y PIC

| | Ventajas | Desventajas |
|-----|---|---|
| PLC | Resistente a condiciones ambientales extremas, protección por voltajes inadecuados y baterías de back up. | Alto costo |
| | No necesita demasiados implementos externos para su puesta en marcha. | Necesidad de capacitación para adecuada instalación |
| | Cuenta con sistemas de comunicación (no integrados) listos para el uso | |
| | Sistema industrial y certificado | |
| | Alta disponibilidad en el país | |
| PIC | Bajo costo | Necesita una armadura externa para poder resistir las inclemencias del medio. |
| | Alta disponibilidad en el país | No cuenta con sistemas de protección para sobre voltaje o baterías de back up |
| | | En el mercado no existen dispositivos de comunicación de fibra óptica de escala industrial. |
| | | No es un sistema certificado a escala industrial |

Con base en ésta tabla, se dio énfasis a las condiciones extremas del área de montaje además de los dispositivos de comunicación y se agregó el criterio de experto se decide la utilización del PLC como herramienta.

Tomando en cuenta que el PLC es el dispositivo con mayor valor económico este se justifica al ser un dispositivo que garantiza una mejor prestación además de no



tener que invertir en sistemas de protección adicionales o invertir tiempo en la implementación de sistemas de comunicación que sean acordes al proyecto en sí.

5.2 Principio de funcionamiento

En lo concerniente a la solución de este problema se busca un sistema que pueda controlar el funcionamiento de los actuadores hidráulicos tanto de apertura como de cierre, además de la monitorización de las compuertas presentes en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye ubicadas en el Parque Nacional Tapantí, se agregó a esto la capacidad de poder realizar la lectura de los sensores de nivel de agua presentes en el sitio.

Las rutinas de apertura y cierre de las compuertas se basan en la experiencia de los operadores, por lo cual no existe un documento que describa su ejecución o pasos a seguir, únicamente se suministra las operaciones deseadas por los operadores como lo son abrir, cerrar y detener, el sistema debe ser capaz de activar la bomba hidráulica por utilizar, detectar posibles fallos e informar al operador y de ser posible tomar medidas correctivas.

5.3 Las bombas hidráulicas y motores

El accionamiento de las compuertas existentes en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye no es realizado directamente por el sistema eléctrico, éste se realiza por medio de electroválvulas que direccionan el flujo del líquido hidráulico hacia los pistones, encargadas del proceso de apertura o cierre de las compuertas, además controlan el encendido y apagado de las bombas, excepto la compuerta P2 en la cual el sistema eléctrico sí realiza la apertura o cierre en forma directa por inversión de giro al intercambiar dos fases en la alimentación.



Tabla 5.2. Características Eléctricas de los Motores en la Toma de Agua Pejibaye

| Motor | Voltaje (v) | Corriente (A) | Potencia Real (KW) | FP | Número de Fases | Velocidad rotacional (RPM) |
|--------------|-------------|---------------|--------------------|------|-----------------|----------------------------|
| Compuerta P1 | 230 - 460 | 12 | 5.5 | 0.80 | 3 | 1465 |
| Compuerta P2 | 220 - 440 | 17 - 34 | 9.8 | 0.80 | 3 | |
| Bomba P | 220 | 6.2 | 1.5 | 0.80 | 3 | |

Fuente: Datos de placa.

Nota: en el sitio solo existe alimentación de 120 y 220 V trifásica, para sistemas que necesiten alimentación monofásica estas es tomada de la fase R de la alimentación trifásica

Tabla 5.3. Características Eléctricas de los Motores en la Toma de Agua Tapantí

| Motor | Voltaje (v) | Corriente (A) | Potencia Real (KW) | FP | Número de Fases | Velocidad rotacional (RPM) |
|-------------------|-------------|---------------|--------------------|------|-----------------|----------------------------|
| Compuerta T1 y T2 | 220 | 5.2 - 9 | 2.2 | 0.80 | 3 | 1720 |
| Compuerta T3 | 220 | 6.2 | 1.5 | 0.80 | 3 | 1680 |
| Bomba B1 y B2 | 220 | 6.2 | 1.5 | 0.80 | 3 | |

Fuente: Datos de placa.

5.4 Los pistones hidráulicos

Los pistones hidráulicos presentes en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye, son tipo cilindro de doble efecto, aunque dadas las características de peso de las compuertas y dirección de accionamiento, la operación de cierre es realizada por la fuerza de gravedad, el sistema hidráulico se encarga de limitar la velocidad de cierre.

5.5 Descripción del hardware

En lo concerniente al sistema actual se desactivará el sistema de control, dejando únicamente el sistema hidráulico y las electroválvulas, además de implementar sensores de sobrepresión y baja presión, para prevenir problemas con el sistema hidráulico.

Para la realización de este proyecto se dividió en 5 fases:

- Bloque de control
- Bloque de comunicaciones
- Bloque periferia distribuida
- Bloque de potencia
- Bloque de interfaz de usuario

En la figura 5.4 se muestran los bloques del Sistema de Control y Monitorización de las Tomas de Agua Tapantí y Pejibaye.

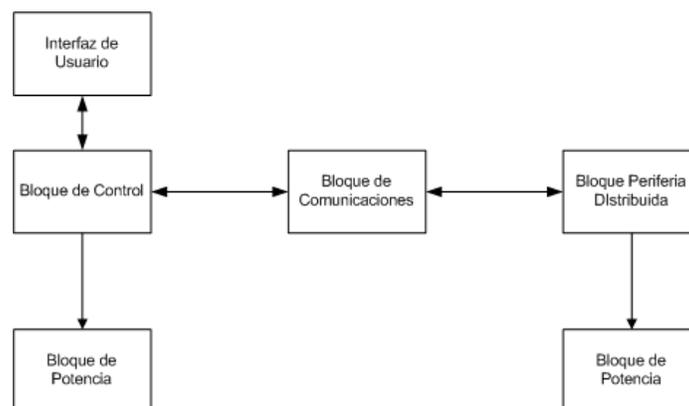


Figura 5.1.Fases de la Descripción de Hardware.

Nota: la fase Bloque de Potencia se repite dado que en ambos lados del Bloque de Comunicaciones existen sistemas de control de potencia.

5.5.1 Bloque de control

Este bloque consiste principalmente en el PLC y los sensores de nivel, además de las señales de entrada y salida provenientes tanto del sistema local como de la periferia distribuida, los cuales gobiernan las fases de potencia y son visualizados por el usuario a través de la interfaz de usuario, como se muestra en la figura 5.2.

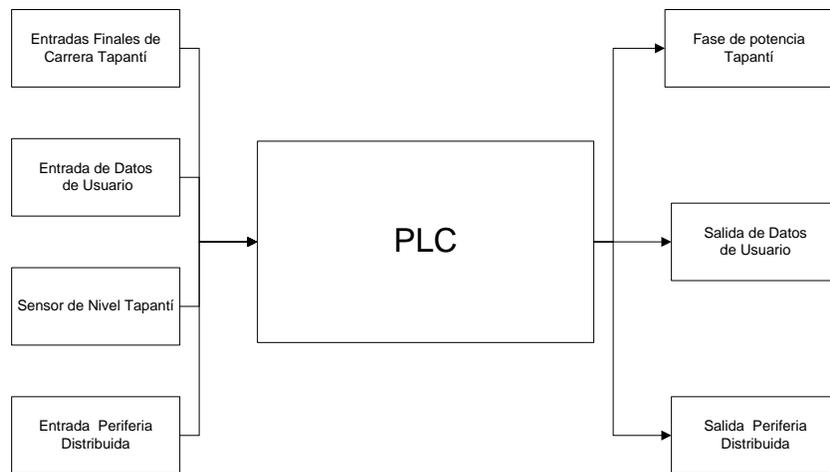


Figura 5.2. Esquema de bloques etapa de control.

5.5.1.1 El PLC S7 315-2DP

El PLC utilizado es de la familia S7-300 del fabricante Siemens. El modelo es el CPU-315-2DP, este es un PLC con capacidad para comunicación MPI, ProfiBus, cuenta con el software ProfiNet para la creación de la red de comunicación, posee unidad para cálculos de punto flotante, sistema a prueba de fallas, contadores y temporizadores internos, además de tener amplio soporte y facilidad de sustitución en caso de falla.



A continuación se presentan los datos técnicos del CPU S7-315-2DP.

Tabla 5.4. Datos Técnicos CPU S7 315-2DP ⁴

| Característica | Capacidad |
|---|--|
| Memoria central | 128 kbytes |
| Contadores S7 Remanencia Predefinidos Rango de contaje | 256 Ajustable de Z 0 a Z 7 0 a 999 |
| Temporizadores S7 Remanencia Predefinidos Rango de contaje | 256 Ajustable Sin remanencia 10ms a 9990s |
| Area de datos ramanente total (incl. marcas; temp.; cont.) | todos |
| Marcas Remanencia Predefinidos | 2048 bytes Si MB0 a MB15 |
| Cantidad y tamaño de los bloques OB FB FC DB | Depende de la lista de de operaciones/ máx. 8 KB 256 / máx. 16 KB 256 / máx. 16 KB 511 / máx. 16 KB |
| Area de direcciones de periferia total | 2048 bytes/2048 bytes (libremente direccionable) |
| Canales digitales, máx | 16384 |
| Canales analógicos, máx. | 1024 |
| Número de maestros DP Integrado | 1 |

⁴ Datos tomados de: www.automation.siemens.com



Tabla 5.4. Datos Técnicos CPU S7 315-2DP (continuación)

| Característica | Capacidad |
|--|-----------------------|
| puerto RS 485 integrado 1 | MPI |
| puerto RS 485 integrado 2 | PROFIBUS DP |
| Voltaje de alimentación: Valor nominal Rango permitido | 24 V 20,4 a 28,8 V |
| Dimensiones | 40 x 125 x 130 mm |

Además de la versatilidad de este PLC y el número de instrucciones que es capaz de realizar, ofrece una serie de ventajas como el amplio número de entradas y salidas, tanto digitales como análogas, característica necesaria para implementar el proyecto. El software de programación utilizado para configurar este PLC fue el Step 7 Profesional V5.4 SP3 en la etapa de programación, y el PLCsim V5.4 SP3 en la parte de simulación.

5.5.1.2 Entradas y salidas del bloque de control:

Los finales de carrera son interruptores que indican si el sistema ha llegado a su final, cumplen con lógica booleana, mantienen un estado bajo mientras no se encuentren activos y al llegar al final pasan a estado alto.

Los datos del usuario son enviados por medio del protocolo MPI, desde PC hasta el PLC, este protocolo usa el puerto serial (rs485), para la transmisión es administrado por el programa de SCADA InTouch(R) de WonderWare(R),



Los sensores de nivel cumplen con el protocolo de 4 a 20 mA, en donde el sensor envía una señal de 4 mA al módulo analógico en caso de tener un valor de medición de 0 metros, y un valor de 20 mA al realizar una medición de valor máximo, utiliza la tecnología de radar y funciona a una frecuencia de 5,8 GHz.

5.5.2 Bloque de comunicaciones

Dado que el sistema debe integrar dos módulos manejadores de variables es necesaria la implementación de un sistema que realice esta función.

El módulo OLM/G11-1300 de Siemens es un acoplador óptico de Profibus, realiza la conversión de protocolo Profibus a fibra óptica, de esta manera se puede transportar los datos a través del túnel sin necesidad de usar radio frecuencia o transmisión eléctrica.

Tabla 5.5. Datos Técnicos **modulo OLM/G11-1300**⁵

| | |
|--|-----------------------|
| Número de puertos Eléctricos Ópticos | 1 1 |
| Distancia de transmisión | 3000 m |
| Velocidad de transmisión | 9.6 kBit/s a 12 MBit/ |
| Protocolos | PROFIBUS DP |
| Voltaje de alimentación: Valor nominal Rango permitido | 24 V 16 a 32 V |
| Dimensiones | 39.5 x 110 x 73.2 mm |

⁵ Datos tomados de: www.automation.siemens.com



5.5.3 Bloque Periferia Distribuida ET 200M

Este sistema realiza la función de manejar los actuadores, sensores y finales de carrera de la toma de agua Pejibaye, sin necesidad de un PLC en el sitio, dado que permite realizar una extensión de un PLC, se reducen gastos a la hora de la implementación, incluso da la posibilidad de integrar bastidores.

Tabla 5.6. Sistema de Periferia Distribuida ET 200M ⁶

| Característica | Capacidad |
|--|-----------------------|
| Interfaz PROFIBUS DP: | hasta 12 Mbaudios |
| Direcciones PROFIBUS | Entre 1 y 125 |
| Interfaz | RS 485 |
| Voltaje de alimentación: Valor nominal Rango permitido | 24 V 20,4 a 28,8 V |
| Dimensiones | 40 x 125 x 117mm |

5.5.4 Bloque Potencia

Este bloque es el encargado del manejo de potencia del aislamiento de las partes de baja potencia y de alta potencia, esto para evitar posibles fallos en el sistema.

⁶ Datos tomados de: www.automation.siemens.com

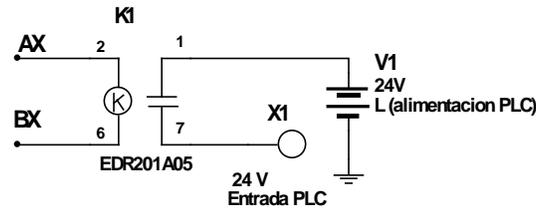


Figura 5.3. Detalle de conexión de salida con aislamiento

Tanto entradas como salidas del sistema de control que manejan sistemas en donde intervenga la potencia, deben estar aisladas, así el sistema no estará en riesgo de sobrevoltaje o sobrecorriente, para eso se utilizó un relé de acople, el cual aísla magnéticamente el sistema como se muestra en las figuras 5.3 y 5.4.

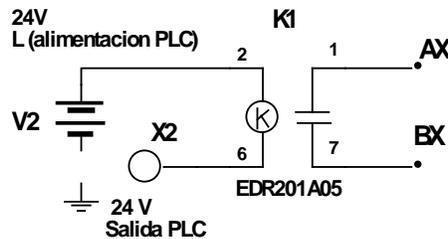


Figura 5.4. Detalle de conexión de entrada con aislamiento

Por otra parte el sistema de control y monitorización cuenta con dispositivos que censan el estado de las protecciones termo-magnéticas, realizando una lectura directa en la entrada del PLC, donde al accionarse la protección conecta los bornes 97 y 98, como se muestra en la figura 5.5, además de poder realizar acciones de *reset* de forma remota empleando el sistema SCADA y aplicando un pulso en los bornes E1 y E2.

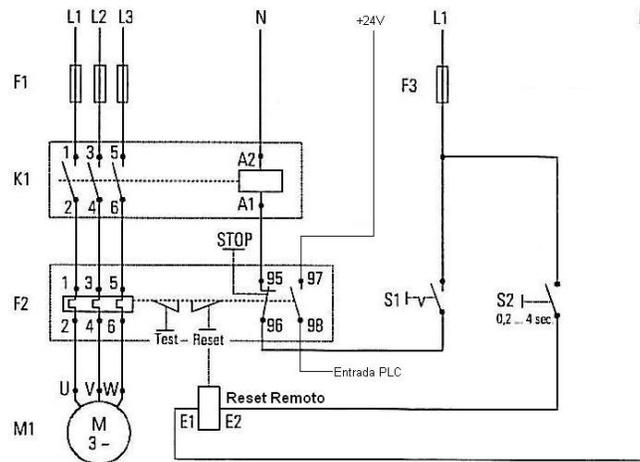


Figura 5.5 Detalle de conexión de monitorización de protección termo-magnética ⁷

5.5.5 Diagramas de conexión de dispositivos de monitorización remota.

El bastidor R1, mostrado en la figura 5.6, contiene la primera parte de las entradas digitales pertenecientes a la toma de agua Tapantí, estas corresponden a los finales de carrera, llaves de mantenimiento y protecciones termo-magnéticas además los indicadores de sensor de nivel activo para las compuertas T1 y T3.

⁷ Figura tomada de: www.automation.siemens.com y editada con Paint

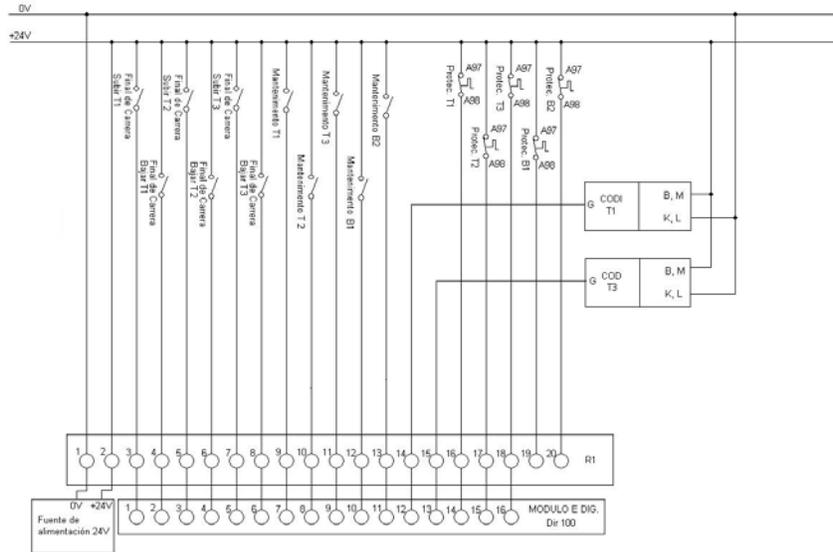


Figura 5.6. Diagrama de conexión de entradas digitales Tapantí

El bastidor R2, mostrado en la figura 5.7, contiene la segunda parte de las entradas digitales de la toma de agua Tapantí, correspondientes protecciones termo-magnéticas, paros de emergencia (EMO), el selector de modo local/remoto y las entradas del sensor de nivel para las compuertas T1 y T3, además de las salidas de sistema para el control de la fase de potencia.

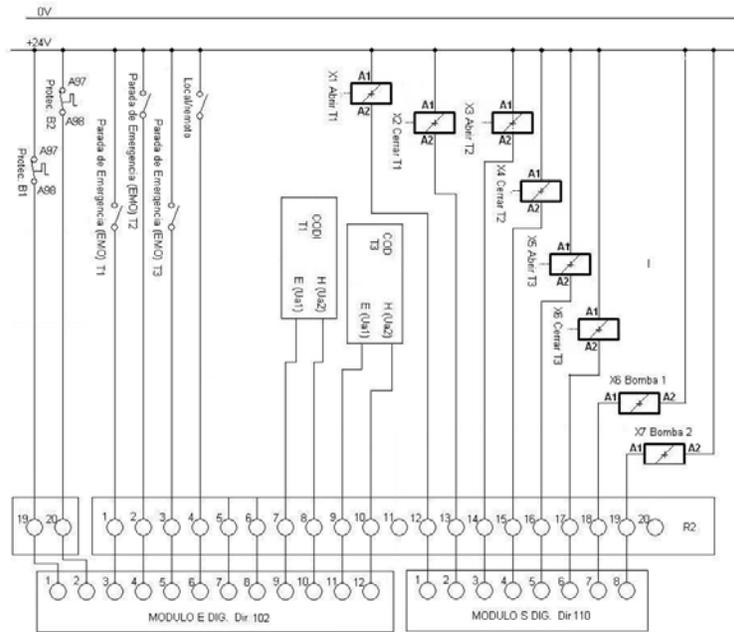


Figura 5.7. Diagrama de conexión de entradas y salidas digitales Tapantí

El bastidor R5 mostrado en la figura 5.8, contiene la segunda parte de las salidas digitales pertenecientes a la toma de agua Tapantí, correspondientes al sistema de *reset* remoto controlado por SCADA.

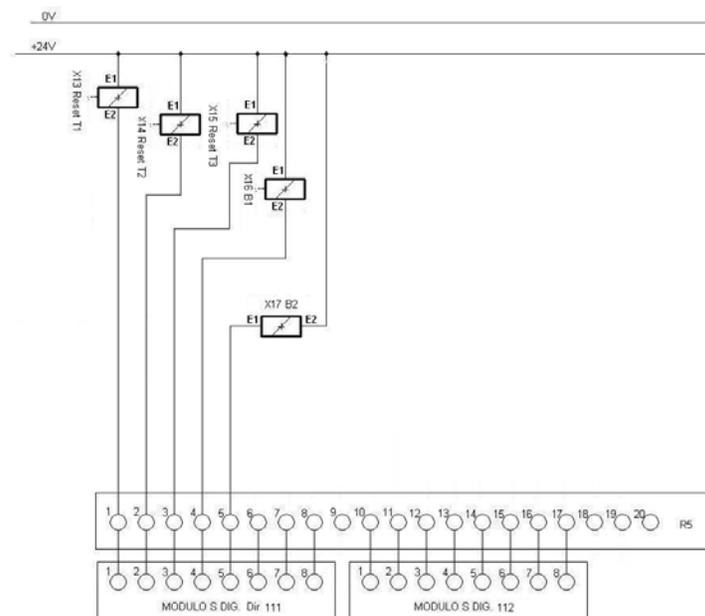


Figura 5.8. Diagrama de conexión de sistema de *reset* remoto Tapantí

El bastidor R3 mostrado en la figura 5.9, contiene las entradas digitales pertenecientes a la toma de agua Pejibaye, correspondientes a los finales de carrera, llaves de mantenimiento, paro de emergencia (EMO), selectores de modo local/remoto y protecciones termo-magnéticas.

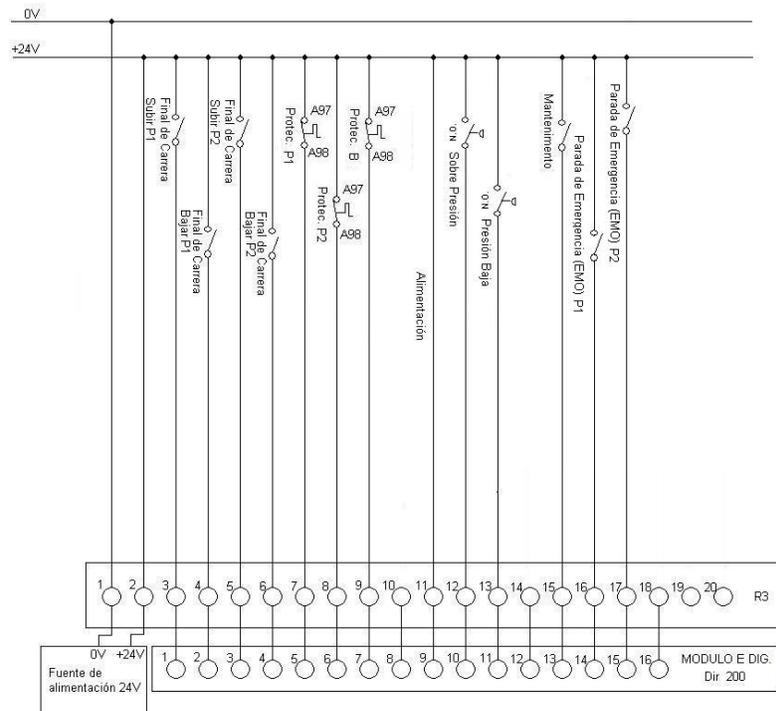


Figura 5.9. Diagrama de conexión de entradas digitales Pejibaye

El bastidor R4 mostrado en la figura 5.10, contiene las salidas digitales de la toma de agua Pejibaye, correspondientes al sistema de *reset* remoto controlado por SCADA, además de las salidas de sistema para el control de la fase de potencia para la toma Tapantí.

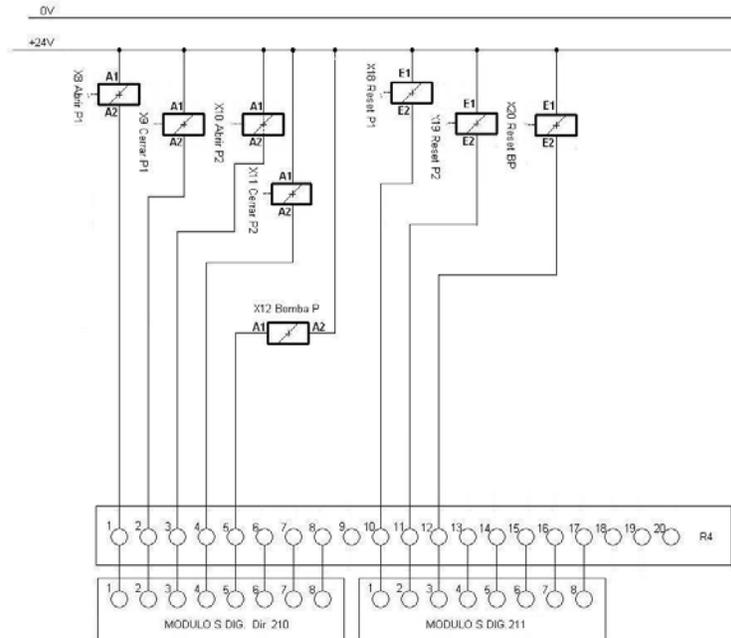


Figura 5.10. Diagrama de conexión de salidas digitales y sistema de *reset* remoto Pejibaye

5.5.6 Circuitos para control local de Pejibaye y control local Tapantí.

El sistema cuenta con un modo de control local o en el sitio, este modo desactiva los controles provenientes del SCADA, la función de este modo de operación es controlar las compuertas independientemente de la comunicación con el control remoto, está basado en relés y contactores, tiene como principal característica la supervisión del operario para determinar factores como atascamiento de las compuertas o fallos del sistema hidráulico.

Para realizar la monitorización del sistema en modo local, se recurre a la revisión del estado de las protecciones termo-magnéticas, revisando directamente el estado del contactor de activación de la protección termo-magnética en las patillas 97 y 98, donde una luz indicadora es activada en caso de existir una falla en dicha protección como se muestra en la figura 5.12.

El sistema de botón de emergencia (EMO), debe contar con “memoria”, esto para que pueda mantener el estado de paro hasta que se hagan las labores correctivas, además debe contar con 2 interruptores (figura 5.11), normalmente abiertos uno desactivar la alimentación del sistema y otro para la conexión al sistema monitorización.

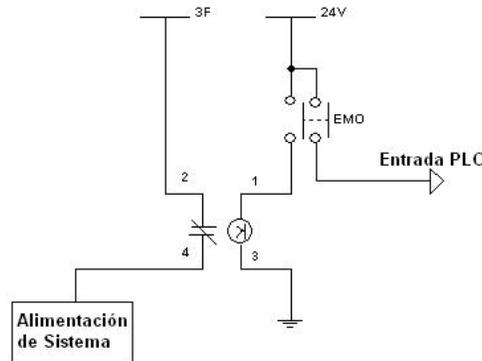


Figura 5.11. Detalle configuración botón EMO

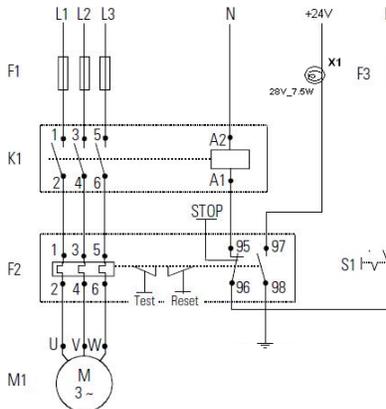


Figura 5.12. Circuito de conexión de relé de accionamiento, protección termo-magnética y luz de monitorización⁸

Para la selección del modo de operación local/remoto se utiliza un interruptor el cual alimenta los contactores (figura 5.13), que van a realizar el control del sistema, garantizando una vez seleccionado el modo de operación, que el sistema no pueda ser interferido por el control complementario.

⁸ Figura tomada de: www.automation.siemens.com y editada con Paint

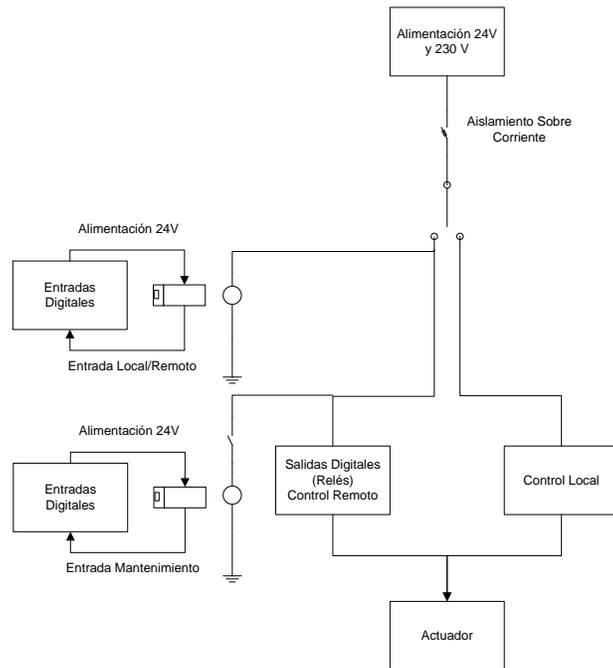


Figura 5.13. Diagrama de conexión para control Local/Remoto de la toma de Agua Pejibaye

Los botones S y B figura 5.14, accionan las rutinas para descenso o apertura de la compuerta respectivamente, además el sistema cuenta con un interruptor para el paro de emergencia (botón EMO), se puede observar que los relés K1 y K2 funcionan como enclavamiento del sistema, esto para no mantener presionado los activadores durante el funcionamiento del sistema; los relés k3 y k4 funcionan como discriminadores, imposibilitando el accionamiento o activación de una rutina de apertura cuando se encuentra en rutina de cierre o viceversa, además los finales de carrera J2 y J3 desactivan los actuadores de la compuerta una vez que ha llegado a su posición final. Por último los relés K5 y k6 realizan la interfase entre el sistema de control y el sistema de potencia

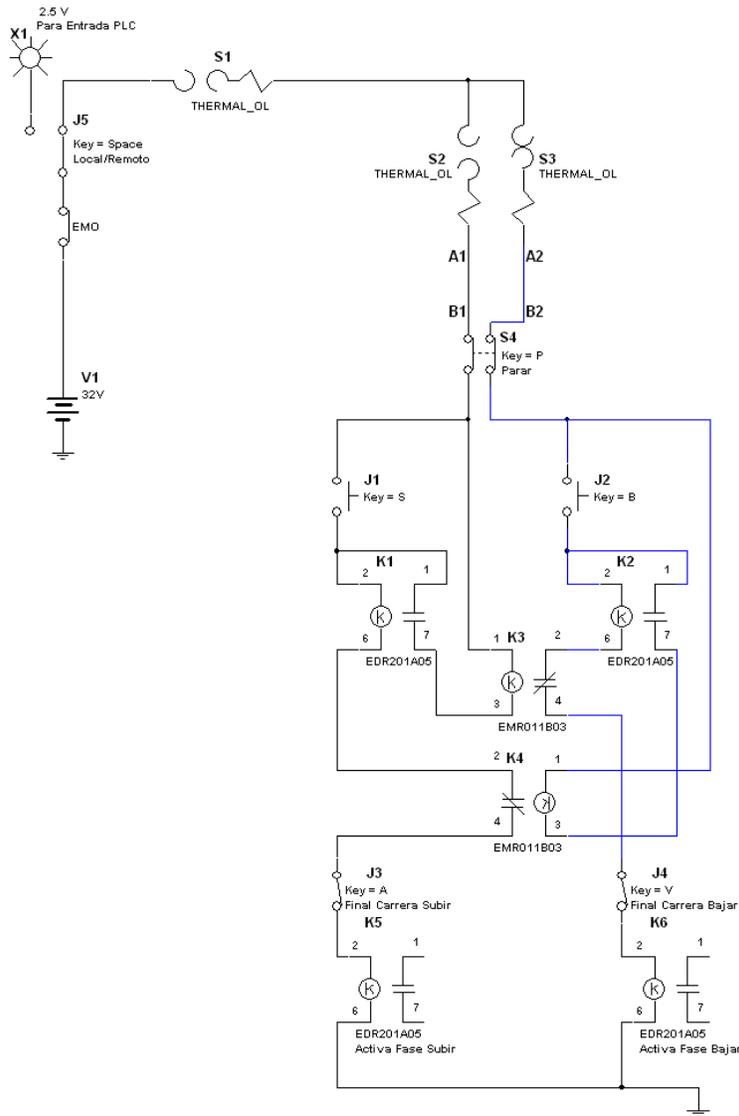


Figura 5.14. Diagrama eléctrico control local compuerta P1.

La fase de potencia controla dos relés de tipo trifásico, figura 5.15, los cuales aplican el orden de las fases necesario para dar el sentido de giro indicado para la operación sea subir o bajar; dado que el motor es de tipo trifásico se debe realizar la inversión de dos de sus fases para cambiar la dirección de giro, esto se realiza con los contactos de la fase S y T del relé k6.

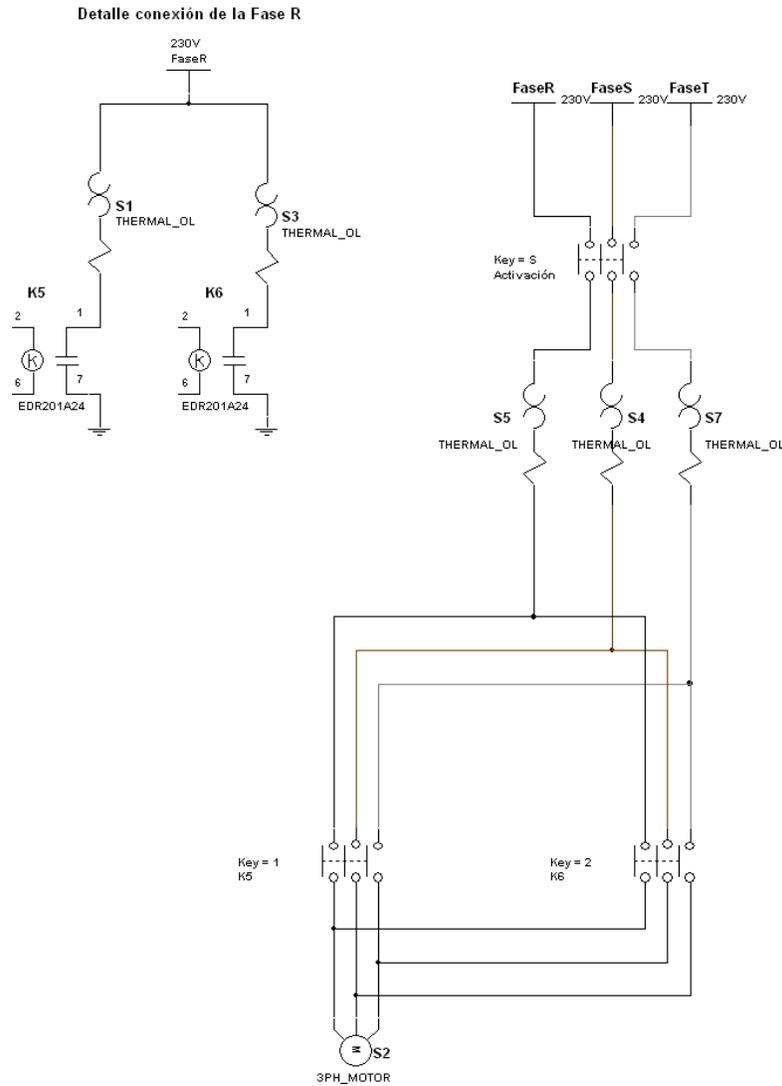


Figura 5.15. Fase de potencia compuerta P1.

Para el control de la compuerta P2 vale la pena recalcar la existencia de una bomba hidráulica, la cual se debe y deshabilitar independientemente del accionamiento de la compuerta, pues son sistemas independientes.

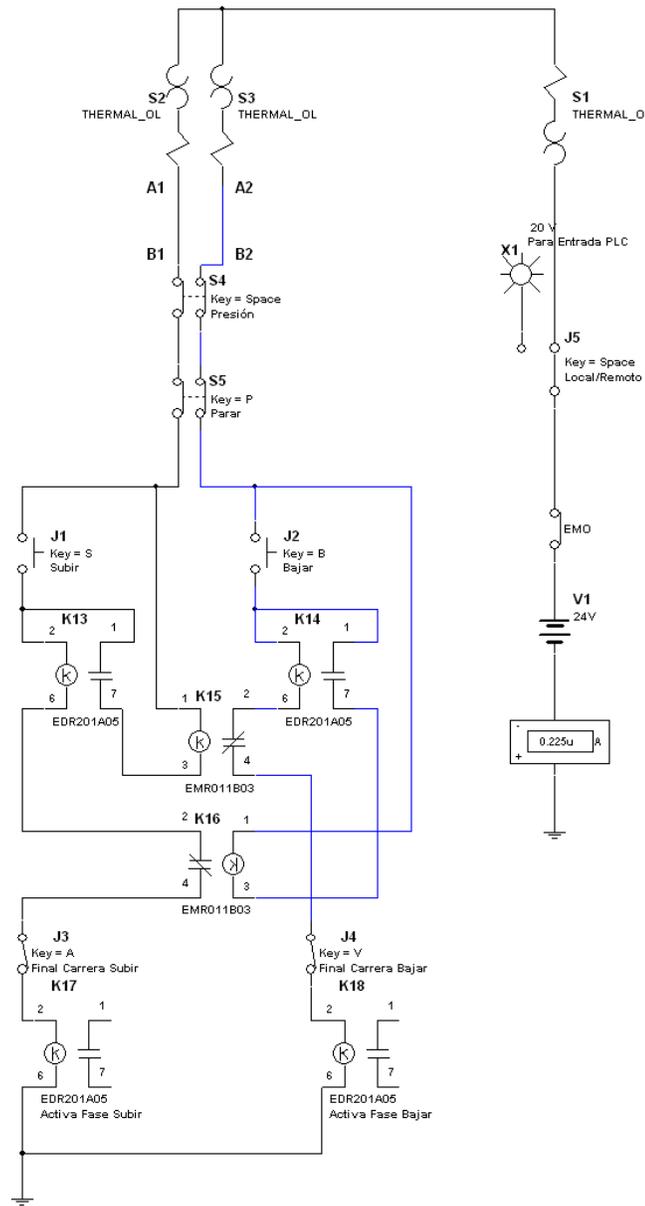


Figura 5.16. . Diagrama eléctrico control local compuerta P2.

De manera análoga a la compuerta P2, los botones S y B, figura 5.16, accionan las rutinas para descenso o apertura de compuerta respectivamente, el sistema cuenta con un botón para el paro de emergencia (botón P) y un sistema de parada de emergencia por sobrepresión, se puede observar que los relés K13 y K14

funcionan como enclavamiento del sistema; los relés k15 y k16 funcionan como discriminadores, imposibilitando el accionamiento o activación de una rutina de apertura cuando se encuentra en etapa de cierre o viceversa, además los finales de carrera J3 y J4 desactivan los actuadores de la compuerta una vez que ha llegado a su posición final. Por último los relés K17 y k18 realizan la interfase entre el sistema de control y el sistema accionador de válvulas hidráulicas.

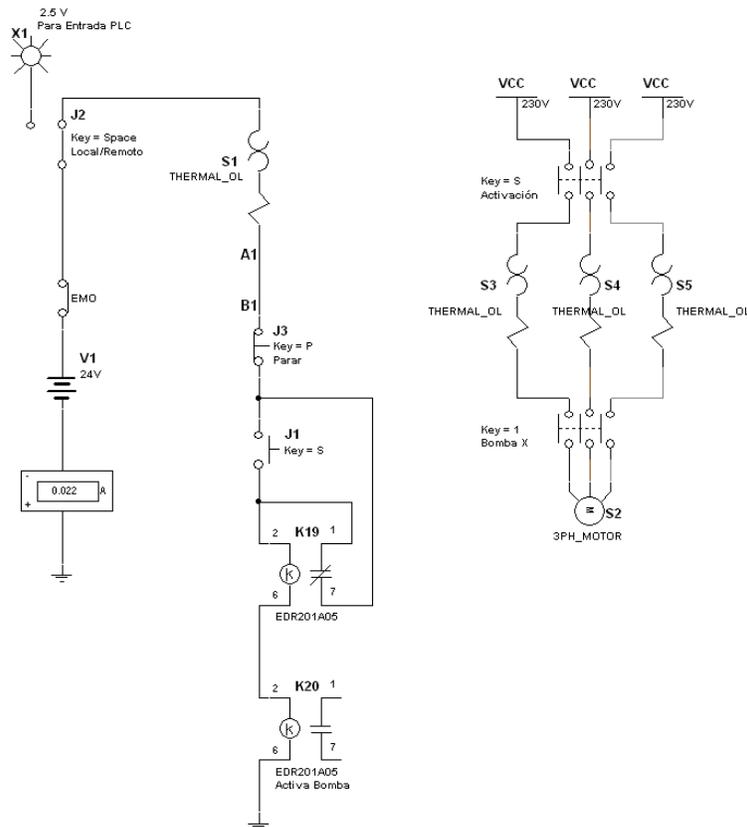


Figura 5.17. Diagrama eléctrico control local Bomba hidráulica P.

De manera similar a las compuertas del bloque Pejibaye, en el control local presente en la toma de agua Tapantí, los botones S y B figura 5.18, accionan las rutinas para descenso o apertura de compuerta respectivamente, además el sistema cuenta con un botón para el paro de emergencia (botón EMO), se puede observar que los relés K7 y K8 funcionan como enclavamiento del sistema, los

relés k9 y k10 funcionan como discriminadores, los finales de carrera J3 y J4 desactivan los actuadores de la compuerta una vez que ha llegado a su posición final. Por último los relés K11 y k12 realizan la interfase entre el sistema de control y el sistema de potencia

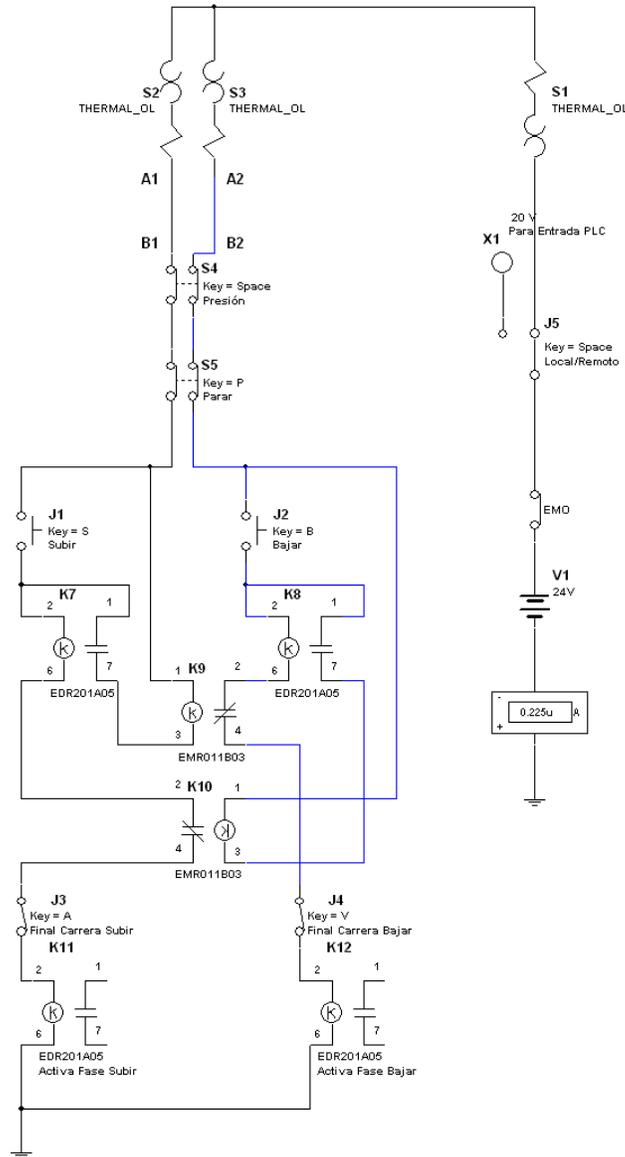


Figura 5.18 Diagrama eléctrico control local compuertas Tapantí.

Para la operación de las compuertas Tapantí es necesario un control que pueda seleccionar entre dos bombas hidráulicas (figura 5.19), de las cuales, sólo una va a estar en funcionamiento por cada operación. Estas deben ser accionar y deshabilitar independientemente del accionamiento de las compuertas, dado que existe la posibilidad de operación de otra compuerta y al deshabilitar la bomba presentaría un paro no deseado.

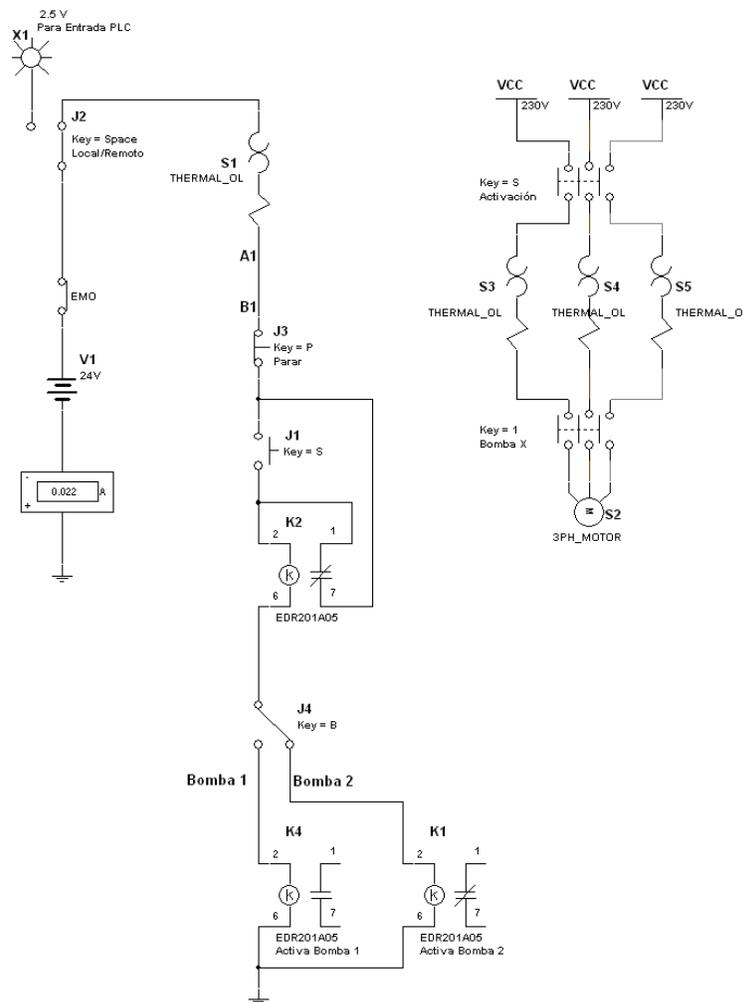


Figura 5.19 Diagrama eléctrico control local Bombas hidráulicas B1 y B2.



5.6 Descripción del software

Para una adecuada implementación de un sistema de control, comunicación e interfaz con el usuario, es indispensable el empleo de un software que integre estos aspectos. Por otro lado la utilización de un PLC nos ofrece ventajas notorias en seguridad tanto de funcionamiento como de resistencia a las inclemencias del tiempo y posibles golpes, además de reducir considerablemente la cantidad de hardware utilizado en el proceso de solución. En el presente proyecto se realizaron dos programas uno orientado al control de las compuertas y otro orientado a la interfaz con el usuario.

5.6.1 Descripción del software y lenguaje de programación del PLC S7-300

El software implementado por el fabricante para la programación del PLC S7-300, es el Step 7(R), permite la programación del dispositivo en alto nivel, además de crear las redes y configurar las tasas de transmisión entre los dispositivos, asignar las posiciones de los módulos en los bastidores y cuenta con programa adicional PLCSim(R), que permite la simulación del programa en tiempo real, el software permite la programación del PLC en tres lenguajes:

- Esquema de Contactos KOP
- Lista de Instrucciones AWL
- Diagrama de Funciones FUP



En el presente proyecto se escogió el lenguaje de programación basado en esquema de contactos KOP, esto por contar con mayor soporte y disponibilidad de ejemplos.

5.6.2 Estructura del Programación del PLC

En una CPU corren dos programas:

Sistema operativo: Está contenido en cada CPU y organiza todas las funciones y procesos de la CPU no relacionados con una tarea de control específica.

Entre sus funciones están:

- Gestionar el arranque normal y completo del PLC/API
- Actualizar la imagen del proceso de entradas y salidas
- Llamar al programa de usuario
- Detectar alarmas y llamar a los programas de atención a las mismas
- Reconocer y tratar los errores
- Administrar las áreas de memoria
- Comunicar con unidades de programación y otros sistemas de supervisión

Programa de usuario: Se debe crear y cargar a la CPU. Contiene todas las funciones necesarias para la tarea de control de una aplicación específica.



Entre las tareas del programa de usuario están:

- Definir las condiciones de arranque (completo ó normal) de la CPU
- Tratar datos del proceso (funciones combinatorias, valores analógicos.)
- Reaccionar a alarmas
- Tratamiento de perturbaciones en el funcionamiento normal del programa

Además existe una organización de distintos módulos internos llamados bloques los cuales cuentan con diferentes funciones específicas y están organizados de la siguiente manera:

Tabla 5.7. Módulos de Usuario⁹

| Tipo de Módulo | Características |
|-------------------------|--|
| Organización (OB) | <ul style="list-style-type: none">- Interfase de usuario entre el sistema operativo y el programa- Prioridades establecidas de (1a 122)- Información especial de inicio en la pila de datos locales- Definen la estructura del programa de usuario-El procesamiento controlado por alarmas del programa-El tratamiento de errores |
| Módulos de función (FB) | <ul style="list-style-type: none">- Módulos con memoria que puede programar el usuario (no borra las variables al deshabilitarse)-Las variables temporales se memorizan en la pila de datos locales-Los datos del DB de instancia no se pierden al finalizar la ejecución del FB |
| Función (FC) | <ul style="list-style-type: none">- Rutina de programa para funciones frecuentes.- Un valor de retorno es transferido. (Los parámetros deben ser asignados por la llamada.)- No retentivo (borra las variables al deshabilitarse)-A los datos locales de una FC no se le pueden asignar valores iniciales |
| Módulo de Datos (DB) | <ul style="list-style-type: none">- Estructurado, almacenamiento de datos locales- Estructurado, almacenamiento de datos globales (válido en todo el programa) |

⁹ Datos tomados de: www.automation.siemens.com



Tabla 5.8. Módulos del Sistema¹⁰

| Tipo de Módulo | Características |
|----------------------------------|---|
| Función del Sistema (SFC) | - Integrados en el sistema operativo de la CPU - Un usuario puede llamar esta función (sin memoria). |
| Módulos de Funciones del Sistema | - Integrados en el sistema operativo de la CPU - Un usuario puede llamar esta función (SFB) (sin memoria). |
| Dato de Sistema(SDB) | - Módulo de datos para datos de configuración y parámetros |

Los bloques de programa tanto de sistema como de usuario son los que realizan la ejecución del programa de ejecución del PLC, el OB 1 (módulo principal de usuario), realiza la operación cíclica del programa de usuario. Este ciclo se desarrolla de la siguiente manera: el sistema operativo inicia el tiempo de vigilancia del ciclo de trabajo, seguidamente el CPU escribe los valores de las salidas tanto locales (QX.X) como externos (PIQX.X), en el paso siguiente realiza la lectura de las entradas de sistema, al igual que en el caso anterior los datos locales (IX.X), como externos (PIIX.X), una vez realizadas estas operaciones se ejecuta el programa de usuario; contenidos en los módulos de usuario, una vez cumplido este paso, el sistema operativo realiza tareas pendientes como: cargar y borrar módulos, enviar y recibir datos de tipo global, actualizar alarmas, entre otros, seguidamente reinicia el ciclo.

El OB 1 puede ser detenido por:

- Una alarma del sistema
- Posición stop en los modos de operación del PLC
- Orden Stop desde PG
- Falta de alimentación
- Fallo del PLC o dispositivo insertado en el bastidor o periferia distribuida

¹⁰ Datos tomados de: www.automation.siemens.com



5.6.3 Set de instrucciones del PLC

El set de instrucciones disponibles del PLC;

- Operaciones Lógicas con bits (bit)
- Comparación (entero, palabra y real)
- Conversión (entero, doble palabra, real, bcd)
- Contaje (up, down)
- Llamada de DB
- Salto (dentro del programa)
- Números en coma fija (suma, resta, multiplicación, división y módulo)
- Números en coma flotante (suma, resta, multiplicación, división y módulo)
- Tránsito (resignación de valores en posiciones de memoria)
- Control de programa (llamadas a subrutinas)
- Desplazamiento y rotación
- Bits de estado (banderas para control de programa)
- Temporización (temporizadores de retardo o desconexión de variables)
- Operaciones lógicas con palabras

5.6.4 Programa local del PLC

El programa de usuario albergado en PLC, tiene que realizar una rutina inicial, (figuras 5.20 y 5.21), en la cual lee el estado de los componentes, ya sea estado

de apertura o cierre de las compuertas, protecciones termo-magnéticas activadas, o fallas en la alimentación del sistema.

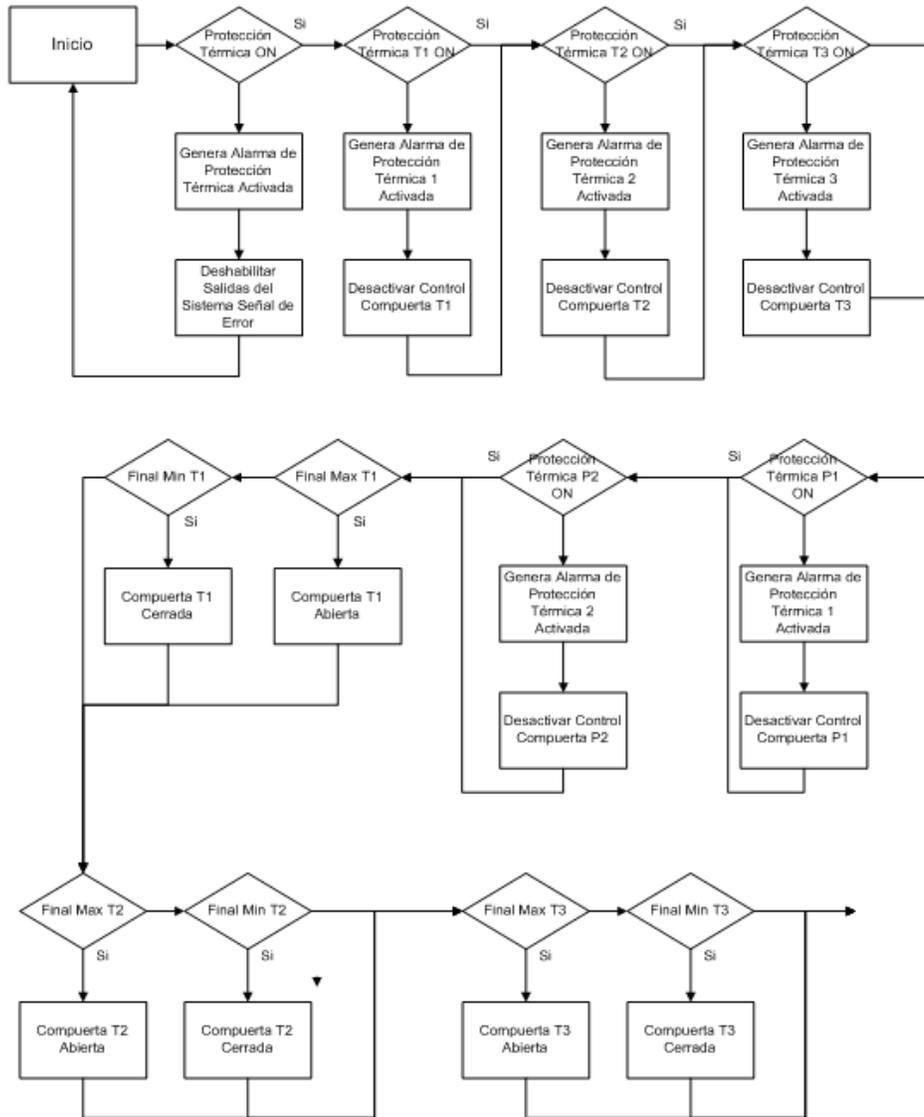


Figura 5.20. Diagrama de flujo secuencia de inicialización (parte 1)

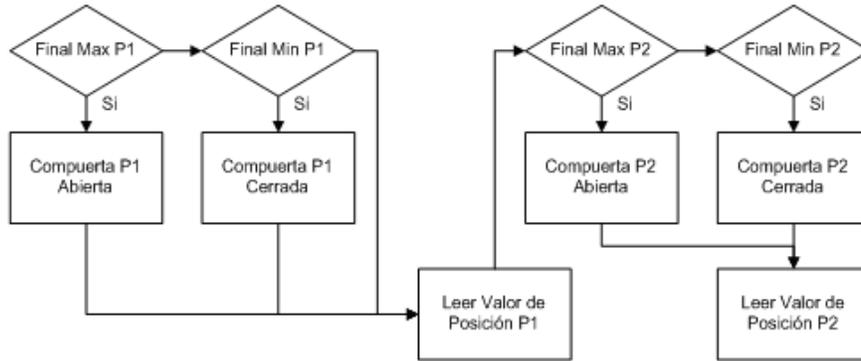


Figura 5.21. Diagrama de flujo secuencia de inicialización (parte 1)

Una vez realizada la comprobación inicial, se da inicio a la lectura de los valores presentes en los sensores de nivel y los sensores de posición implementados en un sistema de 3 hilos, donde los dos primeros indican la secuencia o dirección y cantidad de pasos desplazados y el tercero indica si existe un fallo de sistema.

El sensor de nivel envía un dato analógico en forma de lazo de corriente con valores comprendidos entre 4 y 20 mA, donde 4mA representa un nivel de cero metros y 20 mA representa un valor de 8 metros de nivel de agua en la toma de agua, el sistema al realizar la conversión de analógico a digital genera un valor equivalente entre 5500 y 27648 decimal equivalentes a 4mA y 20 mA correspondientemente, es por eso que el sistema debe linealizado a valores que puedan ser interpretados por usuario, por otro lado si el sistema detecta valores no permitidos como niveles negativos o niveles de altura superiores a 8 metros activa señales de alarma al usuario.

La linealización del sistema se hace tomando los pares ordenados (0, 5500) y (8, 27648), generando una pendiente de: $3,61206 \times 10^{-4}$ y punto de cruce por cero de 1.98, dando como resultado la siguiente ecuación.

$$y = 3,61206 \times 10^{-4} x - 1.98 \quad (5.1)$$



Esta ecuación genera un valor tipo real, el cual puede ser leído directamente por el software InTouch(R), para visualización por parte de usuario.

Para la lectura de posición es aplicado el siguiente algoritmo, primeramente se realiza la lectura de Ua0, esta señal nos indica si el sensor se encuentra en funcionamiento. De presentarse un valor bajo, activa la señal de falla en sistema de posición, alertando al operario del error y detiene las compuertas en caso de encontrarse en movimiento.

El valor máximo alcanzable por un contador en S7 es de 999, dado que los sensores de posición envían 1024 pulsos por revolución genera la necesidad de implementar dos contadores en cascada, para así alcanzar el valor de un millón de conteos, garantizando un amplio rango de acción, en este proyecto se denomina al contador de valor menor como contador miles y al contador de valores mayores contador millones.

Al detectarse un uno o señal de activación en alguno de las entradas Ua1 ó Ua2, figura 5.22, el algoritmo empieza a chequear los flancos de subida de la siguiente manera, si Ua1 está activa, chequea el flanco de Ua2 y de manera inversa.

En caso de obtenerse un valor alto de Ua1 y un flanco positivo en Ua2, se realiza la comparación del valor actual del contador miles con 999, de ser igual se realiza una comparación del contador millones con 999, de ser igual nuevamente el contador no realiza acción de contaje, pero de ser diferente, asigna el valor de cero a contador miles e incrementa en una unidad el valor de contador millones, regresando al estado de espera.

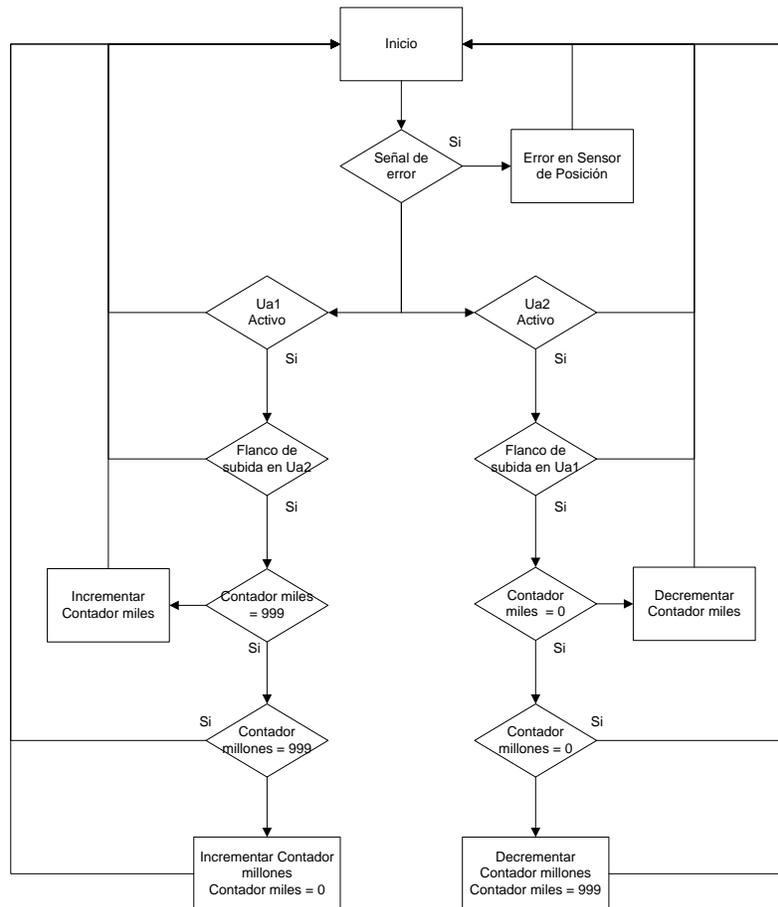


Figura 5.22. Diagrama de flujo de funcionamiento de sensor de nivel

En caso de no cumplirse las condiciones de las comparaciones se realiza el incremento del valor de contador miles en una unidad.

Por otro lado en caso de obtenerse un valor alto de Ua2 y un flanco positivo en Ua1, se realiza la comparación del valor actual del contador miles con 0, de ser igual se realiza una comparación del contador millones con 0, de ser igual nuevamente el contador no realiza acción de contaje, pero de ser diferente, asigna el valor de 999 al contador miles y disminuye en una unidad el valor de contador millones, regresando al estado de espera.

En caso de no cumplirse las condiciones de las comparaciones realiza el decremento del valor de contador miles en una unidad.

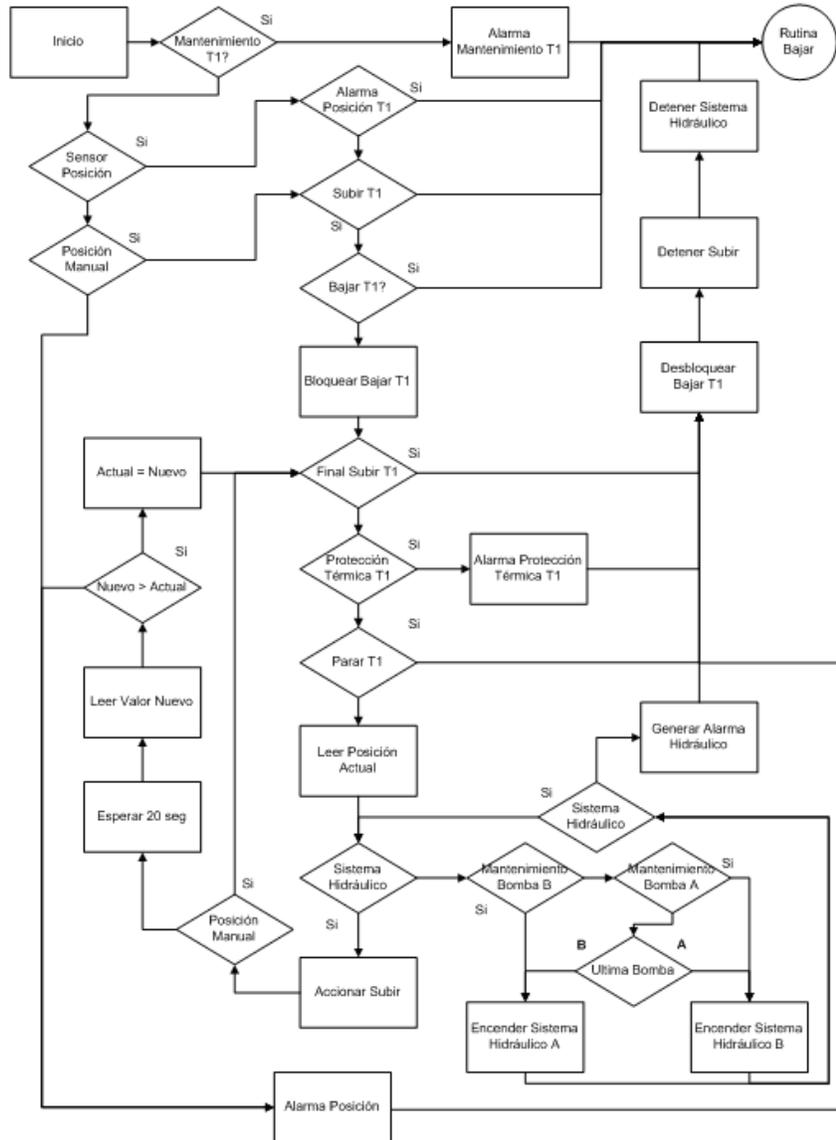


Figura 5.23. Diagrama de flujo rutina de subir compuerta T1

El control de las Compuertas de la Toma Tapantí, figura 5.23, cuenta con tres modos de operación el modo normal, local y el modo mantenimiento. En el modo normal la compuerta o bomba puede ser operada por el usuario remoto de manera normal, mas en modo mantenimiento la compuerta o bomba a la cual se está



realizando labores de mantenimiento queda deshabilitada para su uso por parte del operario remoto, esto para evitar accidentes por factor humano durante las labores en la rutina de control. Vale la pena aclarar que durante el modo mantenimiento la monitorización se mantiene ininterrumpida, dando la posibilidad por parte del sistema, de visualizar el estado de los actuadores y compuertas.

Para la realización de la rutina de subir, debe existir una orden de abrir compuerta (SubirT1), el sistema de protección no debe estar disparado (Protección Térmica T1) alguna de las bombas debe estar disponible (Bomba A y Bomba B), además no debe estar en cierre (Bajar T1), no puede estar en mantenimiento (Mantenimiento T1) y contar con el sensor de posición.

El sistema tiene la cualidad de deshabilitar sensor de posición, esto por la posibilidad de daño del mismo en la operación y que sea necesario operar la compuerta, tomando la salvedad que el control de esta acción debe ser monitoreado por un operador.

En operación normal una vez cumplidas las condiciones solicitadas anteriormente lee el valor del final de carrera "final Subir T1" para determinar si la compuerta ya está abierta, de no ser así, lee el valor de la posición actual, e inicia el proceso de habilitación del sistema hidráulico.

La para activación de las bombas hidráulicas existen dos modos de operación el modo Toggle o el modo Activar Bomba Individual. El modo Toggle está sujeto a dos factores relacionados con estas, primero el estado del modo de mantenimiento presente en las bombas y el segundo, la activación de la protección termo-magnética en ambas bombas, para ambos casos si existe una alarma o evento de este tipo deshabilita este modo de operación, obligando a encender en modo Activar Bomba Individual, en modo Toggle el sistema almacena cual fue la última bomba activada y enciende la siguiente esto para distribuir el desgaste de las mismas.



Otro aspecto es que si una bomba se encuentra activa y se realiza una operación de cierre o apertura en alguna de las otras compuertas el sistema mantiene la bomba que se encontraba en modo activo, y mantiene la otra apagada.

Continuando con la rutina de apertura, seguidamente habilita la salida que activa la electroválvula de subir la compuerta y activa el generador de ventana de tiempo, el cual tiene como labor el comparar los valores anteriores con los actuales, para determinar si existe un desplazamiento de la compuerta, el cual está estimado en 20 segundos, por la velocidad de apertura de las compuertas; una vez transcurrido este tiempo compara el valor actual con el valor leído anteriormente, de ser un valor menor o igual activa la señal compuerta detenida para ser mostrada al usuario y desactiva la electroválvula de apertura, el sistema hidráulico no es deshabilitado directamente por este módulo dado que puede estarse realizando operaciones en las otras compuertas y serían interrumpidas prematuramente, el sistema puede volver a iniciar el ciclo de apertura nuevamente.

Si la comparación resulta mayor, se realiza la reasignación del valor actual al valor de anterior inicia otro ciclo de espera para realizar otra comparación.

La desactivación del actuador de subida de la compuerta T1, se realiza por, la activación del final de carrera de apertura, paro por parte del usuario, falla en el relé de protección termo-magnética, además de falla en el relé de protección de la bomba 1, mientras está en operación la bomba 1, o en su defecto falla en el relé de protección de la bomba 2, mientras está en operación la bomba 2 o en su defecto señal de estancamiento de la misma, estando el sensor de posición activo.

Para la desactivación de las bombas se implementa una lógica donde se chequea la activación de los actuadores de cierre o apertura de las compuertas si no hay ninguno activo se realiza la labor de desconexión de las bombas, este proceso no genera dependencia con el modo de operación o los sistemas de protección termo-magnética, por lo cual se hace el sistema menos susceptible a fallas.

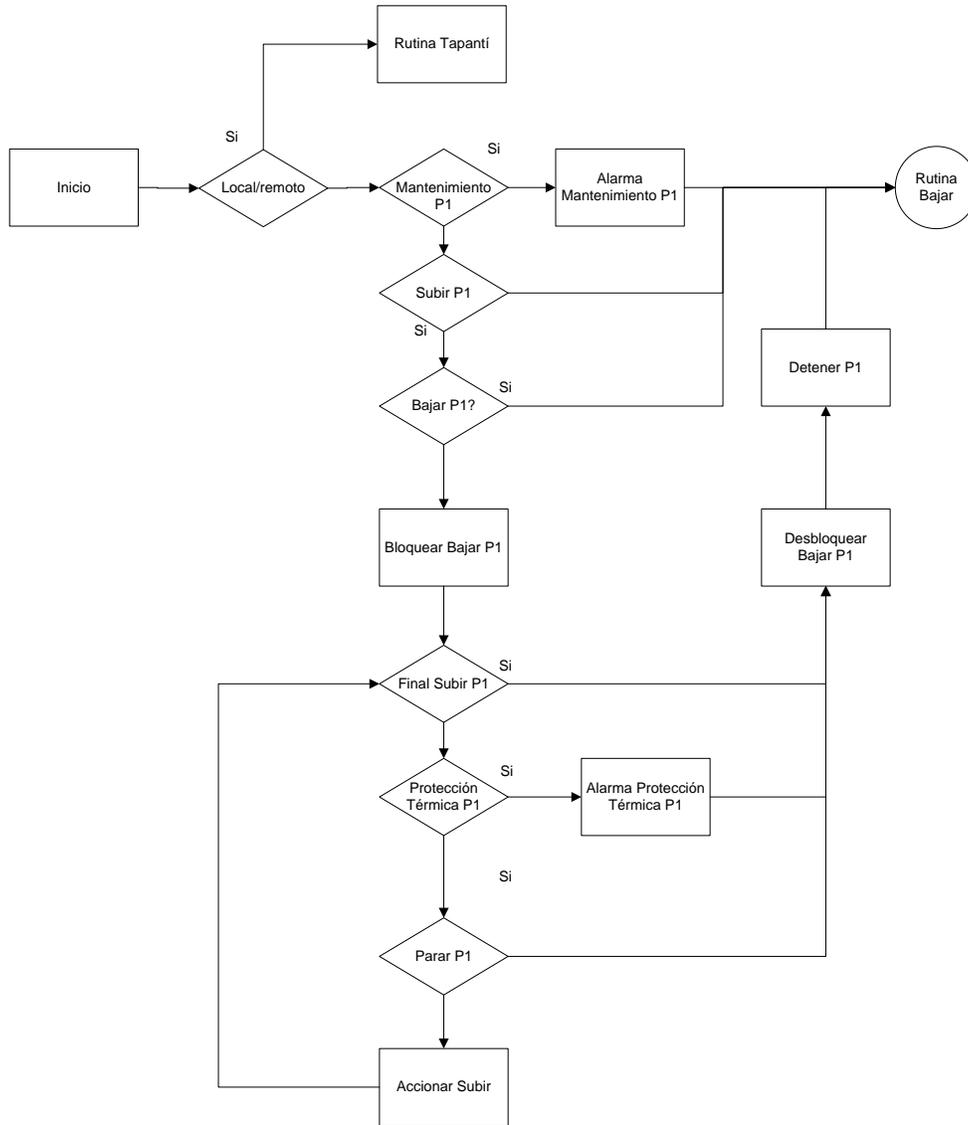


Figura 5.24. Diagrama de flujo rutina de subir compuerta P1

El control de las compuertas presentes en la Toma de Agua Pejibaye (figura 5.24), cuenta con 3 modos de operación: el modo normal, donde la compuerta o bomba puede ser operada por el usuario remoto de manera normal, el modo de operación mantenimiento, en la cual las compuertas y bomba queda deshabilitada para su uso por parte del operario remoto, esto para garantizar que no ocurran accidentes durante las labores en la rutina de control. Vale la pena aclarar que durante el modo mantenimiento al igual que en caso de la toma de agua Tapantí, la



monitorización se mantiene ininterrumpido, dando la posibilidad por parte del sistema, de visualizar el estado de los actuadores y compuertas y el modo local donde el sistema tampoco es controlado por el usuario remoto, pero tiene la particularidad de ser operado por el usuario local con un sistema de control independiente del SCADA, basado en interruptores y relés, esto por la posibilidad de una interrupción en la comunicación entre el mando remoto y el PLC, este sistema no garantiza la monitorización remoto por la posibilidad antes mencionada de pérdida de comunicación.

El actuador presente en la compuerta T1 es un motor trifásico, el cual realiza la inversión de giro intercambio de dos de sus fases, a diferencia de las otras compuertas que funcionan por principio hidráulico, por lo tanto el sentido de giro del motor depende únicamente de la forma de alimentación a la que es sometido.

La activación del actuador de apertura se realiza por la señal del mando remoto (señal del SCADA), el sistema en modo Remoto (local/remoto activa), las protecciones termo-magnéticas funcionando y que el sistema no esté bajando.

Las condiciones necesarias para detener el sistema mientras se encuentra en condición de subir son que el sistema ya haya llegado a su posición de descanso superior (final de carrera superior), un paro por parte del usuario, o que la protección termo-magnética de la compuerta se active.

Para el sistema de control correspondiente a la apertura de la compuerta 2 (figura 5.25), se realiza en dos fases la primera activa el sistema hidráulico, se observa que la activación del actuador hidráulico es realizada por la señal del mando remoto, el sistema en modo Remoto (local/remoto activa), las protecciones termo-magnéticas desactivadas y que el sistema no esté bajando, además que la bomba hidráulica esté disponible (por medio del contactor Fusible_Bomba) y no esté en la posición de descanso superior, con el fin de evitar que el motor de la bomba hidráulica se mantenga accionado más del tiempo necesario.



Las condiciones necesarias para detener el sistema mientras se encuentra en condición de subir, son: que el sistema ya haya llegado a su posición de descanso superior, un paro por parte del usuario, que la protección termo-magnética de la compuerta se active o por activación de la protección termo-magnética de la bomba hidráulica

Por último el sistema cuenta con un sistema de control de presión mencionado anteriormente, este sistema se acciona cuando la presión en el sistema hidráulico este en niveles críticos, además, el sistema se encuentra en modo remoto (local/remoto activado), la protección termo-magnética de la bomba hidráulica este activa, no se encuentre en posición de reposo inferior (compuerta cerrada) y no esté en modo mantenimiento o local.

Este sistema pretende compensar posibles pérdidas de presión, en las líneas que puedan poner en peligro el correcto funcionamiento del sistema.

5.6.5 Programa local de PC

El programa de usuario albergado en PC, tiene la función de realizar la visualización y gobierno del estado de los componentes por parte del usuario remoto, ya sea estado de apertura o cierre de las compuertas, protecciones termomagnéticas activadas, o fallas en la alimentación del sistema. El sistema no realiza funciones de control es solo una interfaz entre el usuario y el PLC.



Figura 5.26. Pantalla de introducción de usuario

El programa residente en PC debe contar con un sistema de seguridad que permita su manipulación solo por parte de usuarios autorizados, figura 5.26, para esto se integró un sistema identificación con nombre de usuario y contraseña.

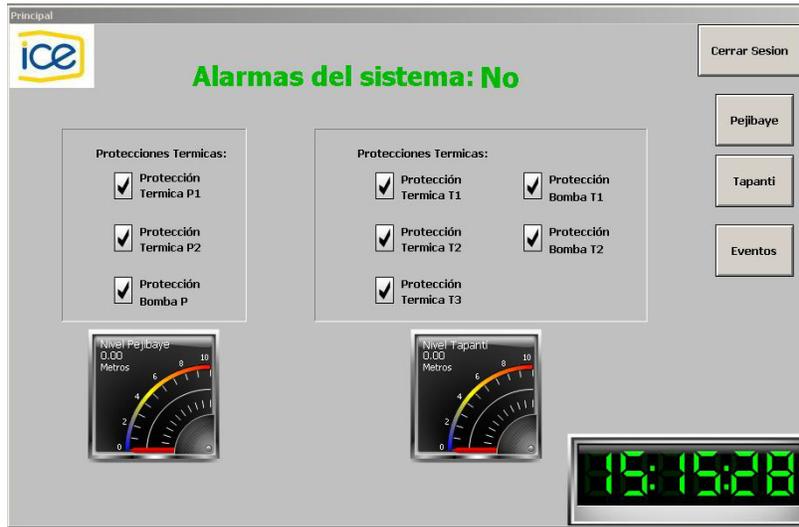


Figura 5.27. Pantalla de monitorización de sistema

Además el sistema cuenta con una pantalla donde se pueden visualizar los estados de las protecciones termo-magnéticas del sistema y el nivel del caudal presente en las tomas de agua, figura 5.27. Desde esta pantalla se puede acceder a las pantallas de control de las tomas de agua Pejibaye y Tapantí, además de una pantalla que muestra los eventos presentes en sistema desde la última verificación hasta la fecha.

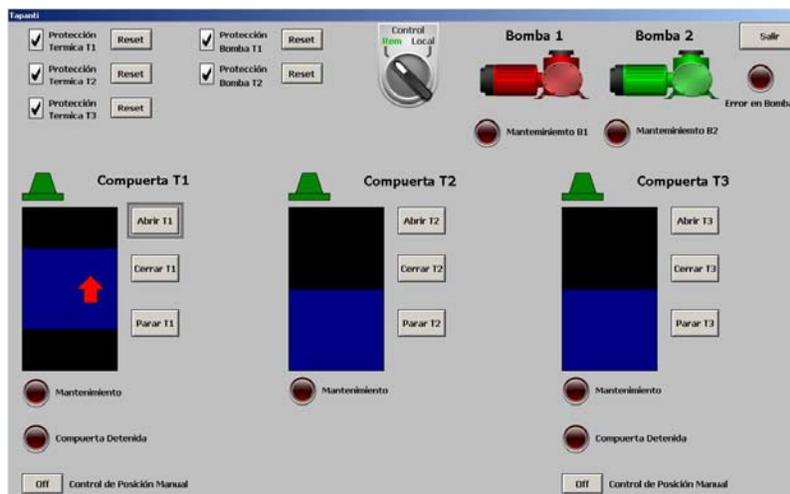


Figura 5.28. Pantalla de Control de Toma de Agua Tapantí

En la pantalla de control de la toma de agua Tapantí, figura 5.27 se puede visualizar las variables del sistema como lo son el estado de las compuertas, protecciones termo-magnéticas, bombas hidráulicas, y mantenimiento en cada compuerta o atasque de las mismas (disponible en las compuertas T1 y T3), además de poder manipular el accionamiento de las compuertas, ya sea en proceso de apertura o cierre además de poder realizar un paro de emergencia en caso de ser necesario, y en caso de fallo del sistema de posición se da la posibilidad de desactivarlo para realizar la rutina de control de posición manual.



Figura 5.29. Falla en sistema termo-magnético

En caso de ocurrir una activación en los sistemas de protección la pantalla indica donde está el problema figura, 5.29, dando la posibilidad de *reset* remoto por usuario.

Si después de realizar la acción de *reset* el sistema no responde se debe llamar a soporte técnico para que realice las medias correctivas pertinentes.

Tabla 5.9. Codificación de colores para evento y alarmas para la pantalla de evento.

| Color de la alarma o evento | Codificación de colores para evento y alarmas |
|-----------------------------|--|
| Rojo | Evento o alarma presente y no aceptado por usuario. |
| Azul | Evento o alarma no presente y no aceptado por usuario. |
| Negro | Alarma no presente y aceptado por usuario. (una vez cerrada la pantalla de eventos es borrada) |



En caso de ocurrir un evento, el sistema lo almacena en un registro, este queda almacenado como se muestra en la figura 5.30, hasta que un usuario los dé por aceptados.

| Time | State | Class | Type | Priority | Name | Group | Provider | Value |
|--------------------------|-----------|-------|------|----------|--------------|----------|----------|-------|
| 11.04/2009 09:57:22 a.m. | UNACK | DSC | DSC | 1 | Local_remoto | \$System | Wintouch | OFF |
| 11.04/2009 09:57:27 a.m. | UNACK | DSC | DSC | 1 | Prot_T1 | \$System | Wintouch | OFF |
| 11.04/2009 10:09:18 a.m. | UNACK_RTN | DSC | DSC | 1 | Prot_P1 | \$System | Wintouch | ON |

Figura 5.30. Pantalla de Eventos.



Capítulo 6 Análisis de Resultados

Este proyecto se debe entender como una herramienta para mejorar el control presente en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye, en donde se realiza una propuesta de actualización de dispositivos de monitorización y control.

El proyecto fue realizado en su totalidad, basado en simulación de procesos tomando en cuenta los ciclos de ejecución de las fases de apertura y cierre de las compuertas, donde se integra el uso de bombas hidráulicas además de sistemas de protección y distintos modos de operación y verificación de las normas de los dispositivos que van a ser utilizados en la implementación del proyecto.

Primero se hizo revisión del funcionamiento de las electroválvulas y bombas hidráulicas, las cuales demostraron tener un comportamiento binario, donde si tenían un pulso positivo presente en la entrada se accionaban o iniciaban su función, de manera análoga al eliminar o poner en bajo el pulso a la entrada regresaban a su estado de reposo, esto simplifica el diseño de la rutina de control dado que no necesita estados intermedios de pre encendido o pre apagado, para su correcto funcionamiento.

Además los finales de carrera funcionan como interruptores lógicos, pues envían una señal de cero en estado normal y uno, en caso de ser activados.

Según los resultados de la simulación, el sistema en modo de operación remoto inicia las rutinas de apertura o cierre de compuertas a partir de una orden del usuario; en primera instancia se realiza la comprobación de los estados del sistema tanto en posición de las compuertas como en activación de las protecciones termo-magnéticas y disponibilidad de las bombas hidráulicas cuando esto aplica, una vez determinadas las condiciones iniciales, el sistema pasa a estado de espera.



Al realizarse una acción de subir por parte de usuario, el sistema toma en cuenta si éste se encuentra en acción de bajar, los estados de las protecciones termomagnéticas tanto en los dispositivos de control de electroválvulas, como las bombas hidráulicas, si se cumplen todos estos requerimientos el sistema energiza la salida de accionamiento de la electroválvula correspondiente a subir la compuerta. En las compuertas P2, T1 y T3, se encuentra implementado un generador de ventana de tiempo cuya función es determinar la existencia de desplazamiento en estas compuertas. Para llevar acabo esta función se realiza una lectura del valor de la posición actual y transcurrida la ventana de tiempo se compara el valor actual del sensor de posición, si el valor es mayor, el sistema reinicia el ciclo de comparación hasta llegar al final de carrera superior, el cual determina la posición de compuerta abierta, si no, el sistema se detiene y envía un mensaje al usuario de compuerta detenida.

Para las otras compuertas el sistema al iniciar la rutina de subir, el sistema se detiene al llegar a la posición de reposo superior determinada por el final de carrera.

Adicionalmente, el sistema, puede detener la compuerta cuando se encuentra en movimiento de las siguientes maneras, por atasque como fue explicado anteriormente, por paro de parte del usuario remoto, paro de emergencia (EMO) y por fallo en las protecciones termo-magnéticas.

En caso de paradas, ya sea por parte del usuario o por fallos de sistema el operador puede reiniciar las acciones de subir o bajar las compuertas, con la salvedad de no contar con protecciones termo-magnéticas activadas.

Al ocurrir un fallo en la protección termo-magnética, el sistema reporta por medio de mensajes de alarma al usuario, el evento, este puede realizar acciones de corrección, sea presionando el botón para *reset* remoto de la protección termo-magnética o llamando a soporte técnico para que realice las medidas preventivas.



El *reset* remoto es un dispositivo que al energizarse acciona un contacto mecánico el cual presiona el pin de *reset* de la protección termo-magnética.

Al estar activado el modo mantenimiento, el sistema no puede acceder el dispositivo, envía una señal al usuario que indica la condición del mismo.

En la operación de modo local, el sistema tiene la capacidad de controlar el funcionamiento de las compuertas sin necesidad del sistema SCADA, aunque en caso de estar el SCADA en funcionamiento, éste puede monitorizar el estado de las compuertas y bombas hidráulicas.

El sistema en modo de operación local, consiste básicamente en un sistema de auto enclavamiento de relés, en donde al darse la orden de operación subir o bajar en alguna compuerta por medio de un botón, el relé mantiene el pulso que da la activación de la electroválvula, cerrando el circuito.

Una vez accionada la compuerta, ésta puede ser detenida por parte de usuario pulsando el botón “parar”, también al llegar a su posición de descanso determinado por el final de carrera o pulsando el botón de emergencia (EMO), los cuales abren el lazo de corriente.

El sistema en modo local, cuenta con una visualización de errores en las protecciones termo-magnéticas la cual consiste en una luz o bombilla indicadora de falla, la cual es activada por la protección al cerrarse el contactor entre los pines 97 y 98.

De la tabla 5.2 se puede observar que el consumo de la compuerta 1 no sobrepasa los 12 A, a 230V, lo cual implica un sistema de protección termo-magnética y control de alrededor de 15A, esto para mantener una ventana por corrientes de arranque sin poner en riesgo el motor por cortos en el sistema, además el motor presente en la compuerta P2, debe contar con una protección termo-magnética de aproximadamente 35A, al igual que el caso anterior esto para prevenir posibles



disparos en falso por corrientes iniciales, además los mantiene en valores comerciales facilitando su compra e implementación.

En la tabla 5.3 se puede ver como ninguno de los motores posee un consumo de corriente nominal superior a los 10A, es por eso que se considera que los relés de control podrían ser de aproximadamente 10A para las compuertas T1 y T2 y de 7A para la compuerta T3 y las bombas 1 y 2, esto para homologar las cargas o dispositivos y así mantener una cantidad mínima de dispositivos en bodega, aminorando gastos posteriores.

Por otro lado a la hora de determinar el dispositivo para el envío de datos, tomando en cuenta las características físicas del sitio, se determina que debe ser un sistema basado en enlaces de fibra óptica, dada la alta humedad y posibilidad de sufrir daños por inmersión tanto en la zona del túnel como en el paso del río, además el dispositivo debe contar con interfaz ProfiBus para su compatibilidad con el PLC, de determinó que debía ser el Optical Link Module OLM / P11 V4.0 dado que cuenta con la menor cantidad de puertos (1 puerto RS 485 que funciona como ProfiBus y un puerto para fibra óptica) optimizando los recursos a utilizar.

Estos dispositivos cuentan con velocidades de transmisión de hasta 12Mbits/seg con una tasa de error de transmisión de menor al 10^{-9} , con estos datos de fabricante se puede asegurar que la transmisión de datos válidos será superior al 5%.

El algoritmo de lectura de sensores de posición se realizó determinando los cambios en las patillas Ua1 y Ua2, los por un contador incremental-decremental, el cual consta de dos contadores up/down, en cascada, esto por la poca capacidad de los contadores que presentan un rango de 0 a 999 en su ámbito de acción.

Para evitar posibilidades de daño en los módulos digitales de entradas o salidas, se diseñó un acople por medio de un relé, esto para aislar las fases de control y de potencia, para evitar sobrecorrientes que puedan afectar el dispositivo.



Capítulo 7 : Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones:

Una vez concluido el proyecto se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Durante la rutina inicialización se realiza la comprobación de las condiciones iniciales: estado de las compuertas, protecciones termomagnéticas y disponibilidad de bombas hidráulicas.
2. El sistema de control en modos de operación local y remoto, permite la posibilidad de operar aún sin comunicación con el sistema SCADA.
3. El modo mantenimiento previene accidentes por factor humano durante las labores de mantenimiento.
4. La botonera de paro de emergencia (EMO), debe detener la operación de las compuertas y bombas hidráulicas.
5. La posición de las compuertas puede ser medida con base en los cambios de las salidas del sensor de posición.
6. La linealización de los valores enteros provenientes del sensor de nivel, genera un valor real del nivel de agua presente en las tomas de agua, fácil de interpretar por el usuario.
7. El uso de sistemas que certifican tasas de error en la transmisión de datos menores al 10^{-9} , garantiza una trasmisión mayor al 95% de datos válidos en el sistema.



7.2 Recomendaciones:

Al concluir este proyecto se plantearon las siguientes recomendaciones:

1. Las bombas hidráulicas especialmente la ubicada en Pejibaye deben ser sustituidas, estos modelos cuentan con tecnologías obsoletas y realizan un sobre consumo de potencia.
2. Las operaciones de mantenimiento en la toma de agua Pejibaye debe ser realizada entre los meses de febrero a abril, porque este lapso presenta menor índice de precipitaciones.
3. Para el ingreso a la toma de agua Pejibaye se recomienda el uso equipo de comunicación para la monitorización de las condiciones del río Tapantí, esto por la posibilidad de crecidas, lo cual imposibilita la salida por medio del túnel.
4. Realizar una capacitación a los miembros del departamento técnico, sobre acciones de instalación y mantenimiento de los dispositivos de control, específicamente el PLC, la periferia distribuida y los enlaces de fibra óptica.
5. Durante el proceso de implementación se debe tomar en cuenta el uso de interruptores de seguridad, para evitar la manipulación por personal no autorizado.
6. Para la correcta implementación del sistema robusto capaz de soportar el duro ambiente presente en la toma de agua Pejibaye y garantizar la protección de los equipos eléctricos y electrónicos, se requiere el uso de un gabinete con un grado de IP 65, que garantice hermetismo contra agua, polvo, calefacción y suciedad.



Capítulo 8 Referencias

1. Siemens. [En línea]: *Automation Technologies* [Alemania]: También disponible en: <<http://www.siemens-automation.com> > [Consulta: 3 de Agosto de 2009, 10:00 a.m.]
2. Neumatica, Conceptos Básicos y aplicaciones. [En línea]: *Teoría Sistemas Neumaticos*: También disponible en: < http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm#Bomba%20de%20engranajes > [Consulta: 10 de setiembre de 2009, 9:00 a.m.]
3. Grupo ICE. [En línea]: *Historia: ¿Cómo nacimos?* [San José, Costa Rica]: También disponible en: < <http://www.grupoice.com/esp/qsomos/infobase/historia.htm> > [Consulta: 4 de agosto de 2009, 03:00 p.m.]
4. Universidad de Oviedo. [En línea]: *Departamento de Física*: También disponible en: <<http://petra.euitio.uniovi.es/docencia/cursos/primerofisica/Tema%2010%20Campo%20magn%E9tico.doc> > [Consulta: 10 de setiembre de 2009, 1:00 p.m.]
5. Wikipedia. [En línea]: *Teoría Electroválvulas*: También disponible en:< <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula> > [Consulta: 10 de septiembre de 2009, 1:00 p.m.]
6. Escobar Marcelo. **Ecuación de la recta** [En línea]: Antofagasta British School También disponible en:< <http://www.docstoc.com/docs/292332/ecuaci%C3%B3n-de-la-recta> > [Consulta: 12 de septiembre de 2009, 11:00 a.m.]
7. WonderWare. [En línea]: *Automation Technologies* [Alemania]: También disponible en: <<http://www.wonderware.com> > [Consulta: 15 de octubre de 2009, 9:00 a.m.]
8. SALAZAR AGUILAR, Miguel. *Modernización del Control de las Tomas Pejibaye y Tapantí del Centro de Producción Río Macho*, Trabajo Final Ingeniería en Electrónica Bachiller, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2000
9. ARRIETA MARCHENA, Katiria. *Diseño de la Lógica de Control de las Compuertas de la Toma de Aguas del Río Pejibaye y del Río Tapantí, Centro Producción Río Macho*, Trabajo Final Ingeniería en Electrónica Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2003
10. Hayt, William, *Teoría electromagnetica*, McGraw-Hill, Mexico, 1991.



Apéndices

A.1 Glosario y Abreviaturas

A.1.1 Glosario.

Compuerta: Plancha fuerte de madera o de hierro que se desliza por carriles o correderas, y se coloca en los canales, diques, etc. para graduar o cortar el paso del agua.

Entrada/salida analógica: puertos con los que está dotado un dispositivo, diseñados para responder a o emitir señales eléctricas de tensión o corriente, con intensidad proporcional a la información contenida.

Entrada/salida digital: puertos con los que está dotado un dispositivo, diseñados para responder a o emitir señales en forma de pulsos.

Final de carrera: Dispositivo que activa una señal digital que marca un límite de un desplazamiento físico.

Gabinete: Caja herméticamente sellada utilizada para la instalación de circuitos eléctricos.



Motor hidráulico: máquina que transforma energía hidráulica del fluido incompresible en energía mecánica.

Periferia descentralizada: Dispositivo electrónico que permite el acceso de variables físicas por el PLC a distancia, se conecta al equipo físicamente y lee los datos de estado como los estados abierto/cerrado y valores de señales analógicas.

PIC (Microcontrolador): Circuito integrado por medio del cual se puede procesar información o señales para obtener salidas deseables.

PLC (Controlador lógico Programable): Dispositivo electrónico. Utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y ejecutar funciones específicas que incluyen activación y desactivación, temporización, conteo, secuencia, aritméticos y manejo de datos.

Redes industriales: Comunicación de maquinaria o dispositivos industriales entre sí para intercambiar información y compartir recursos, por medio de reglas definidas.

Relé: dispositivo interruptor controlado a través de un solenoide.



SCADA: Aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

Sistema automático: Proceso que se realiza con una mínima participación del hombre.

Toma de agua: Estación destinada a la canalización de un porción de río para ser utilizado en la producción del energía hidroeléctrica.

Túnel: Es un tramo de conducción, usualmente de gran longitud, ubicado dentro de una montaña. Si se inicia en una de las paredes del embalse, la entrada está constituida por la toma de aguas, en cuyo frente existe un enrejado para impedir que objetos voluminosos y restos de árboles y animales ingresen al túnel. En el extremo posterior, la toma de aguas cuenta con una compuerta de acceso que permite o impide el ingreso del agua al túnel.



A.1.2 Abreviaturas

AWL: lista de instrucciones.

FB: Bloque funcional de S7 con capacidad de manejo de memoria.

FC: Bloque funcional de S7 sin capacidad de manejo de funciones.

FUP: programación de diagrama de funciones.

KOP: lenguaje de esquema de contactos.

PLC: Controlador lógico programable de sus siglas en inglés Programmable Logic Controller.

SCADA: Registro de datos y control de supervisión de sus siglas en inglés Supervisory Control and Data Acquisition.



A.2 Información sobre la empresa/institución

A.2.1. Descripción de la empresa.¹¹

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue creado por el Decreto – Ley No.449 del 8 de abril de 1949. Su creación fue el resultado de una larga lucha de varias generaciones de costarricenses que procuraron solucionar, definitivamente, los problemas de la escasez de energía eléctrica presentada en los años 40 y en apego de la soberanía nacional, en el campo de la explotación de los recursos hidroeléctricos del país. Como objetivos primarios el ICE debe desarrollar, de manera sostenible, las fuentes productoras de energía existentes en el país y prestar el servicio de electricidad. Posteriormente, en 1963 se le confirió al ICE un nuevo objetivo: el 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.

Con el devenir del tiempo, ha evolucionado como un grupo de empresas estatales, integrado por el ICE (Sectores Electricidad y Telecomunicaciones) y sus empresas: Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL), las cuales han trazado su trayectoria, mediante diversos proyectos de modernización desarrollados en las últimas décadas.

La globalización de los mercados y la revolución tecnológica llevan a las empresas del Grupo ICE a redoblar esfuerzos con una clara orientación hacia el cliente, con los mejores y más innovadores productos y servicios, con menos recursos y en el menor tiempo posible.

¹¹ Tomado textualmente de: <http://www.grupoice.com/esp/qsomos/infobase/historia.htm>

A.2.2. Descripción del departamento o sección en la cual se realizó el proyecto.

La planta generadora Río Macho ubicada en Orosí de Paraíso, Cartago, inaugurada el 1° de junio de 1963, utiliza los ríos Macho y Grande de Tapantí, los que al unirse originan el río Reventazón. En 1972 se concluyó el Proyecto Hidroeléctrico Tapantí, la primera ampliación de Río Macho, mediante la incorporación de las unidades números 3 y 4, el 23 de marzo y el 20 de octubre de ese año, respectivamente; con ello la potencia de dicha planta ascendió a 90 000kW. Con esta ampliación al embalse de Río Macho, llamado El Llano, se le adicionan las aguas de los ríos Tapantí, Porras, Humo y Villegas.

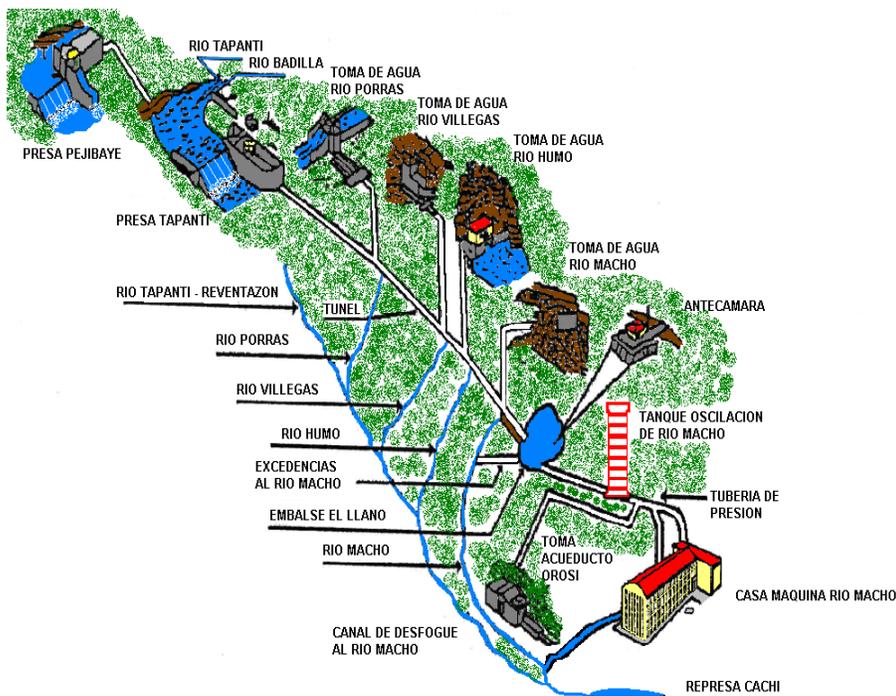


Figura A.1. Esquema del Centro de Producción Río Macho¹²

¹² Fuente Centro de Producción Río Macho



La toma de agua Tapantí la cual se ubica en el Parque Nacional del mismo nombre esta cuenta con un acceso por calle de lastre y la toma de agua Pejibaye igualmente se encuentra en el Parque Nacional, cuenta con características de difícil acceso, como lo son el tener que atravesar un túnel de 2.6 km, o el uso de una ruta alterna a través de la montaña con una distancia de 7 km, aproximadamente en relación a la toma Tapantí.

La Planta de Generación Eléctrica Río Macho se encuentra en una fase de modernización dado en algunos de sus sistemas datan de su apertura y por este motivo las labores de reparación y mantenimiento son cada vez más complicadas, dada la escases de componentes y el deterioro cada vez mayor en el sistema de control en sí, además la dificultad del acceso como lo son el tener que atravesar un túnel de 2.6 km, o el uso de una ruta alterna a través de la montaña con una duración aproximada de 2 horas eleva los costos en transporte.



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Electrónica



A.3 Manual de usuario

Instituto Costarricense de Electricidad
Planta Generadora Río Macho



Control y Monitoreo de las Compuertas de la Toma de Aguas del Río
Pejibaye y del Río Tapantí, Centro Producción Río Macho

Manual de usuario

Noviembre 2009



1. Descripción general de los sistemas.

Las aplicaciones de control de sistema son:

- Pantalla de Bienvenida.
 - Login y password para usuario.
- Pantalla de monitoreo de sistema.
 - Muestra las variables de nivel de agua presentes en las tomas Tapantí y Pejibaye.
 - Muestra el estado de las protecciones termo-magnéticas presentes en las tomas de agua Tapantí y Pejibaye.
- Pantalla de Control Toma Tapantí.
 - Muestra el estado de las compuertas T1, T2 y T3 y las bombas hidráulicas B1 y B2.
 - Muestra las alarmas presentes en la Toma de agua Tapantí.
 - Muestra el estado de las protecciones termo-magnéticas.
 - Contiene los controles de las compuertas T1, T2 y T3.
- Pantalla de Control Toma Pejibaye.
 - Muestra el estado de las compuertas P1, P2 y la bomba hidráulica P.
 - Muestra las alarmas presentes en la Toma de agua Pejibaye.
 - Muestra el estado de las protecciones termo-magnéticas.
 - Contiene los controles de las compuertas P1 y P2.
- Pantalla de Eventos.
 - Muestra en forma cronológica las alarmas y eventos ocurridos desde el inicio de sesión.



2. Operación del sistema

Para el acceso al sistema se debe ingresar un nombre de usuario y un password valido



Figura 1. Pantalla de Login



Figura 2. Pantalla de ingreso de usuario

Una vez ingresado debe presionarse el botón continuar.

El nombre de usuario determinado es operador y el password es riomacho



Manual de Usuario Sistema de Control Tomas
de Agua Tapantí y Pejibaye



Figura 3. Pantalla usuario aceptado

Una vez aceptado el usuario se presiona continuar

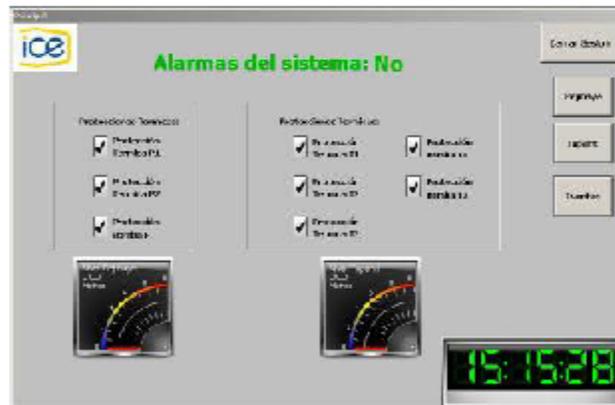


Figura 4. Pantalla de monitoreo de sistema

En la pantalla de monitoreo del sistema se puede visualizar el estado general del sistema muestra el estado de las protecciones termo magnéticas y el nivel de agua presente en las tomas de agua, además de poder acceder a las pantallas de control de las compuertas de las tomas de agua y el registro de eventos.



Manual de Usuario Sistema de Control Tomas
de Agua Tapantí y Pejibaye

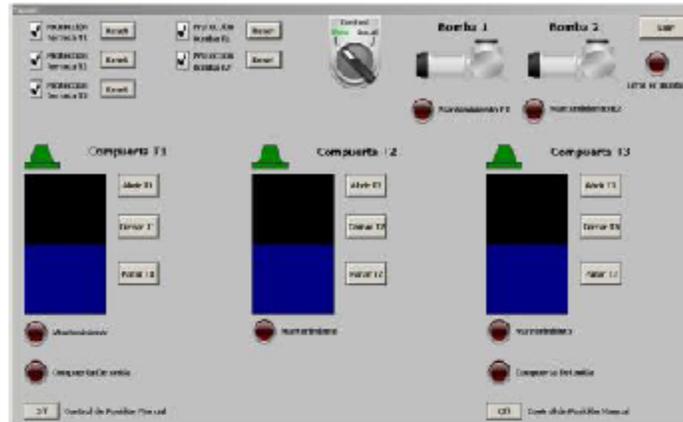


Figura 5. Pantalla de Control Toma Tapantí

El indicador de protección térmica indica el estado de la protección de tener presente un check esta se encuentra en funcionamiento, de no ser así el sistema cuenta con un problema de funcionamiento, para poder solucionarlo podemos apretar el botón de reset, este envía una señal de reinicio del módulo, si el acontecimiento que produjo el evento ya no está presente, el sistema regresa al estado normal de operación, de no ser así se debe contactar a soporte para realizar las medidas correctivas en el sitio.

El selector de Control Rem/Local nos indica el modo de operación presente en la toma de agua, si se encuentra en posición Rem el sistema puede ser operado desde pantalla, pero si se encuentra en Local esta función queda deshabilitada.

Los indicadores de Bomba 1 y Bomba 2 nos muestran el estado de la misma, si el símbolo se encuentra de color rojo indica la bomba en operación y si es de color verde indica que está disponible, el texto protección bomba indica el estado de la bomba, en caso de estar en estado parpadeante indica un fallo en la bomba y debe ser reiniciada para continuar con su funcionamiento (reset),



Manual de Usuario Sistema de Control Tomas
de Agua Tapantí y Pejibaye



además de existir un problema en ambas bombas se indica mediante la señal de "Error en Bombas" ubicado en el costado superior derecho de la ventana.

Los indicadores verdes en las partes superiores de los símbolos de estado de compuerta, si están en estado normal permanecen en tonalidad verde, pero si existe algún evento anormal como falla en la compuerta o paro de emergencia, parpadean alternando color verde con color rojo.

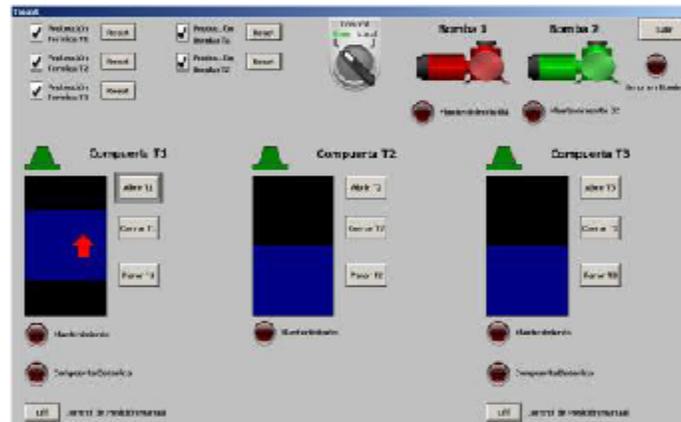


Figura 6. Pantalla de Control Toma Tapantí en fase apertura de T1 y Bomba 1 activa

Manual de Usuario Sistema de Control Tomas de Agua Tapantí y Pejibaye

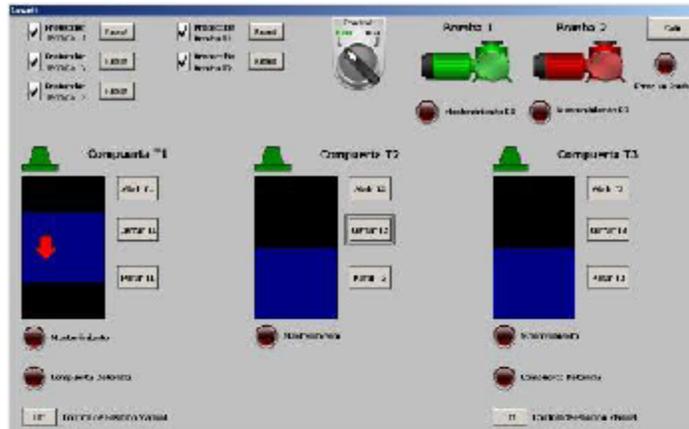


Figura 7. Pantalla de Control Toma Tapantí en fase cierre de T1 y Bomba 2 activa

Para realizar una apertura de compuerta se debe presionar el botón *Abrir*, de la misma manera para cerrar la compuerta se debe presionar el botón *Cerrar*, en caso de paro de emergencia se debe presionar el botón *Parar*.

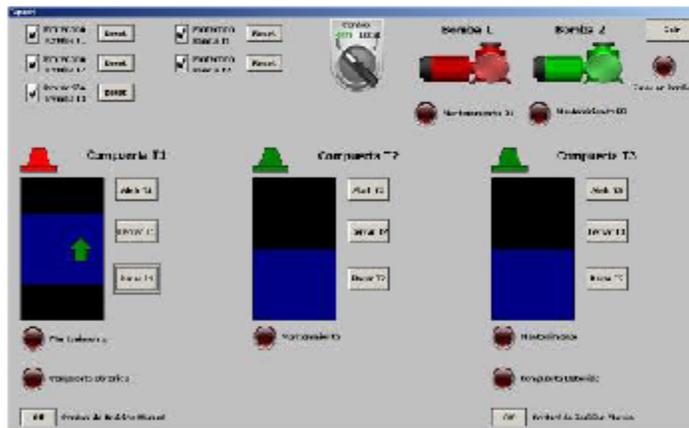


Figura 8. Pantalla de Control Toma Tapantí con señal de paro de T1



Manual de Usuario Sistema de Control Tomas
de Agua Tapantí y Pejibaye



Cuando la compuerta se encuentra detenida se puede volver a accionar ya sea el proceso de abrir o cerrar, para terminar el proceso deseado.

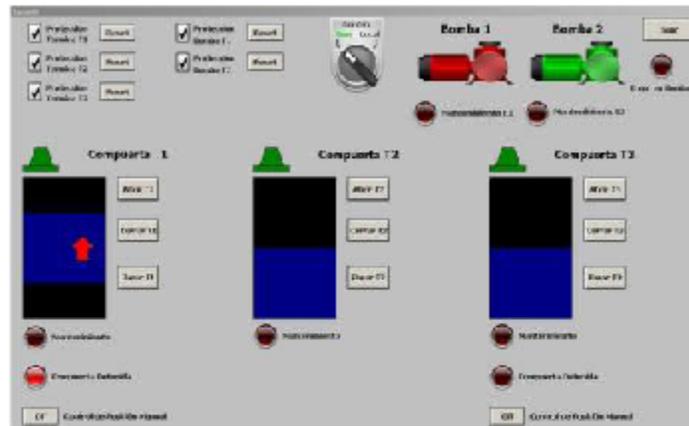


Figura 9. Pantalla de Control Toma Tapantí con señal de compuerta detenida

En caso de atasco de la compuerta, el indicador de compuerta detenida empieza a parpadear, esto puede suceder por dos situaciones la primera el atascamiento de la compuerta o una falla en el sensor. En caso de falla de sensor, la compuerta puede operarse, sin necesidad de este sensor por lo que accionamos el *Control de Posición Manual*.

Manual de Usuario Sistema de Control Tomas de Agua Tapantí y Pejibaye

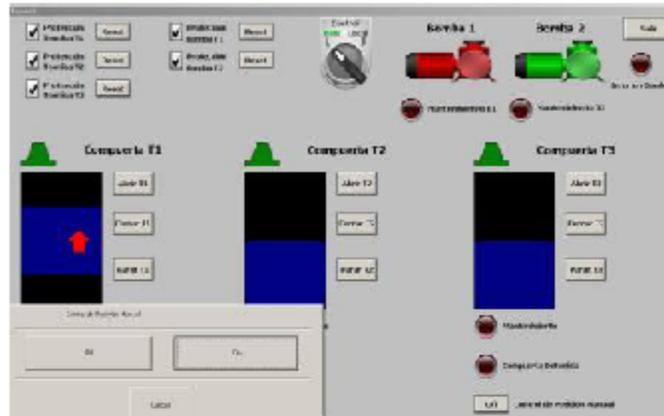


Figura 10. Pantalla de Control Toma Tapantí con señal de control de posición manual

En caso de ocurrir un disparo de sistema termo-magnético, la pantalla de control indica al usuario cual fue la protección activada y da la posibilidad de aplicar un reset al dispositivo, esto en caso de ya haber pasado el evento que disparó el sistema pueda volver al estado original, si el evento continúa debe ser llamado los encargados de soporte para solucionar dicho evento



Figura 11. Protección Termo-magnética activada

La alarma de protección termo-magnética activada puede ser visualizada desde la pantalla de monitoreo del sistema.

Manual de Usuario Sistema de Control Tomas
de Agua Tapantí y Pejibaye



Figura 12. Pantalla de monitoreo de sistema con
protección termo-magnética activada

La pantalla de monitoreo de eventos nos permite la visualización de eventos ocurridos durante el proceso, como lo son la apertura de compuertas o la activación de protecciones termo-magnéticas, además de paros y accionamiento de bombas hidráulicas, en color rojo se visualizan los eventos actuales en el proceso, en azul los eventos que ocurrieron en el proceso pero ya no están presentes, una vez que sean atendidos o ya no sean de interés puede presionarse el botón de *Aceptar Eventos*.

Nota: si el evento no está presente la alarma se borra pero si el evento continúa el evento se mantiene pero cambia su color a negro



Manual de Usuario Sistema de Control Tomas de Agua Tapanti y Pejibaye



| Tipo | Sub | Clas | Tipo | Evento | Hora | Hora | Estado | Valor |
|----------------------|----------------------|------|------|--------|------------------------|------------------------|---------|-------|
| 11045000000000000000 | 11045000000000000000 | ACC | ACC | 1 | 11/04/2019 10:21:44 AM | 11/04/2019 10:21:44 AM | Abierto | 0.00 |
| 11045000000000000000 | 11045000000000000000 | ACC | ACC | 1 | 11/04/2019 10:21:44 AM | 11/04/2019 10:21:44 AM | Cerrado | 0.00 |

Figura 13. Pantalla de monitoreo de Eventos, con eventos no aceptados.

| Tipo | Sub | Clas | Tipo | Evento | Hora | Hora | Estado | Valor |
|----------------------|----------------------|------|------|--------|------------------------|------------------------|---------|-------|
| 11045000000000000000 | 11045000000000000000 | ACC | ACC | 1 | 11/04/2019 10:21:44 AM | 11/04/2019 10:21:44 AM | Abierto | 0.00 |
| 11045000000000000000 | 11045000000000000000 | ACC | ACC | 1 | 11/04/2019 10:21:44 AM | 11/04/2019 10:21:44 AM | Cerrado | 0.00 |

Figura 14. Pantalla de monitoreo de Eventos, con eventos aceptados.



Figura 15. Pantalla cierre de sesión



3. Posibles Fallas

| Falla | Solución |
|---|--|
| El sistema no acepta el nombre de usuario | Revisar que la tecla de CAPS LOCK no este activada |
| Compuerta no abre | <ul style="list-style-type: none">• Revisar que no se encuentre en rutina de cierre, de ser así espere a que termine o presión la tecla <i>Parar</i> y seguidamente presiones la tecla <i>Abrir</i>.• Revisar si existe alguna alarma por protección termo-magnética presente.• Revisar si existe alguna alarma por falta de alimentación. |
| protección termo-magnética no resetea | Llamar a soporte técnico para solucionar evento |
| Las compuertas no responden al mando remoto | Revisar si esta activado el modo mantenimiento o modo local, de no ser así llamar a soporte técnico para solucionar evento |
| Sensor de nivel indica fallo de sistema | Llamar a soporte técnico para solucionar evento |