

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Instituto Costarricense de Electricidad

ICE

**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.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniera en Electrónica
con el Grado Académico de Licenciatura**

Katiria Arrieta Marchena

Cartago, agosto del 2003

RESUMEN

Este proyecto consiste en la elaboración del diseño de control de las tomas de agua de Pejibaye y Tapantí. Para ello se recopiló información de los controles en planos originales y se modernizó el diseño del sistema, realizando mejoras en seguridad operativa y de mantenimiento.

En el nuevo diseño se implementó la programación del PLC y del panel digital lo que permite dar la seguridad requerida tanto para los equipos como al personal de mantenimiento.

La lógica diseñada permite al personal de mantenimiento, la reconfiguración de tiempos de apertura, descenso y de recuperación de las compuertas, así como la definición del tiempo de trabajo adecuado para las motobombas.

El sistema cuenta con tres mandos de control. El mando principal se realiza a través del panel digital y permite la configuración de tiempos, sensado y el control de las compuertas, este mando se encuentra en la toma de Tapantí. Un segundo mando de respaldo se habilita cuando el panel falla y éste permite mediante una botonera abrir, cerrar o parar las compuertas y un tercer mando remoto por botoneras permite el control de compuertas y motobombas de la toma de Pejibaye y se encuentra ubicado en la misma toma.

En todo momento el operario puede visualizar en la pantalla digital el estado actual de cada compuerta y de las motobombas. Los mensajes que se pueden observar son: compuerta abriendo, compuerta cerrando, compuerta bloqueada, entre otros.

Este nuevo diseño de control permite a los operarios visualizar el estado real de las compuertas, así como una mayor seguridad para los encargados de mantenimiento de las compuertas.

Palabras claves: Diseño de control, PLC, panel digital, monitoreo, seguridad operativa, seguridad mantenimiento, Pejibaye, Tapantí, compuerta.

ABSTRACT

This project consists of the elaboration the design control of the dam at Pejibaye and Tapantí. For this information has been collected from the control original plans and the designed system has been modernized improving the operative security and maintenance.

The program on PLC and digital panel were implemented in the new design which offers required security both the equipment and the maintenance staff.

The designed logic allows the maintenance staff, the reconfiguration in times of opening, descendant and recovery of flood gates and the definition of right working time for the pumps.

The system has three control commands. The main command carries out through digital panel and allows the configuration of times, monitoring and the flood gates control, this command is found in dam at Tapantí. The second command of backing is activated when the panel has broken down and this permits through the select buttons, to open, to close and to stop the floodgates and one third command remote through select button allows floodgates control and pumps in dam at Pejibaye which can be found in the same dam.

The operator can see at any time the digital panel current state of each floodgate and of the pumps. The messages that can be seen are floodgate opening up, floodgate closing, floodgate blocked among others.

This new control design allows the operators to see the actual status of floodgates, that's like a greater security for the maintenance managers of the floodgates.

Keywords: Control design, PLC, digital panel, monitoring, operative security, operative maintenance, Pejibaye, Tapantí, floodgate.

Dedicatoria

A Dios, a toda mi familia y a Aura que me han ayudado y apoyado a hacerle frente a todas las dificultades, para lograr con éxito lo que soy hoy.

Agradecimiento

Desde hace varios años, no puedo dejar de tener presente el conjunto de circunstancias y personas que influyeron en mí, para llegar a este punto, por eso deseo expresar mi profundo agradecimiento a todo el personal de la Escuela de Electrónica, muy especialmente a mis profesores Ing. Carlos Incer Arias, Ing. Victorino Rojas, Ing. Paulino Méndez, Ing. Pedro Murillo que con su forma de ser me estimularon a seguir adelante.

Deseo expresar un sincero reconocimiento para el Ing. José Pablo Martínez y la Ing. Arys Carrasquilla, asesores durante el desarrollo del proyecto de graduación, ya que me han alentado y han sido testigos de las dificultades que se me han presentado.

Agradezco al Departamento de Soporte Técnico de la Región Huetar Brunca y al Ing. Adrián Coghi que me estimularon , apoyaron y para todos aquellos que contribuyeron de alguna manera , les digo Muchas Gracias!!

INDICE GENERAL

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción de la empresa	1
1.2 Definición del problema y su importancia	4
1.3 Objetivos	6
Capítulo 2: ANTECEDENTES	7
2.1 Estudio del problema a resolver	7
2.2 Requerimientos de la empresa	9
2.3 Solución propuesta	11
Capítulo 3: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	14
Capítulo 4: DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO	16
4.1 Descripción del PLC	16
4.1.1 Características Eléctricas.....	18
4.1.2 Funcionamiento de la UCP.....	19
4.2 Descripción de hardware del Panel ECT –16	21
Capítulo 5: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DEL SISTEMA	24
5.1 Mastertool	24
5.2 El Software UniOP Designer del panel digital 5.0 de programación de la Pantalla Digital	28
Capítulo 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS	30
6.1 Explicación del diseño	30
6.1.1 Diagrama asincrónico de estados de la compuerta P1.....	30
6.1.2 Diagrama Asincrónico de estados de la compuerta P2.....	35
6.1.3 Diagrama asincrónico del control de las motobombas de drenaje de Pejibaye.....	38
6.1.4 Diagrama asincrónico de la compuerta T1 y T2 de Tapantí.....	40
6.1.5 Diagrama asincrónico de estados de la compuerta hidráulica T3.....	44
6.1.6 Desarrollo de la programación del control por estados en el PLC.....	47
6.1.7 Diseño y programación de páginas del panel digital.....	49
6.2 Alcances y limitaciones	58
Capítulo 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
7.1 Conclusiones	59
7.2 Recomendaciones	61
Bibliografía	62

<i>Apéndices y anexos</i>	<i>63</i>
<i>Apéndice A.1: Glosario.....</i>	<i>64</i>
<i>Apéndice A.2: Simbología y Abreviaturas</i>	<i>67</i>
<i>Apéndice A.3: Tablas de asignación de variables y de estados para cada una de las compuertas y motobombas de drenaje de la galería.....</i>	<i>68</i>
<i>Apéndice A.4: Diagramas asincrónico de estados de las compuertas y las motobombas de drenaje.....</i>	<i>96</i>
<i>Apéndice A.5: Tablas de descripción de variables previas a la modernización del control de las compuertas y las motobombas de drenaje</i>	<i>149</i>
<i>Apéndice A.6: Diagramas de estados del control previo a la modernización de las compuertas de la toma de Pejibaye y Tapantí.....</i>	<i>158</i>
<i>Apéndice A.7: Diagramas de conexión de entradas y salidas del PLC</i>	<i>183</i>
<i>Apéndice A.8: Listado del programa de control modernizado de las compuertas y motobombas de drenaje de la toma de agua de Pejibaye y de la toma de Tapantí.....</i>	<i>216</i>
<i>Apéndice A.9: Manual de operario y de programación del panel digital.....</i>	<i>405</i>
<i>Anexo B.1: Diagrama de cableado de comunicación y programación del panel , PLC vrs PC</i>	<i>474</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Organigrama del departamento de Soporte Técnico -RHB</i>	2
<i>Figura 1.2 Organigrama del Area Eléctrica de Soporte Técnico -RHB</i>	3
<i>Figura 2.1 Distribución y ubicación de los controles de ambas tomas de agua</i>	11
<i>Figura 4.1 PLC de la serie Quark con un módulo de entrada o salida</i>	17
<i>Figura 4.2 Parte frontal del panel ECT-16</i>	21
<i>Figura 4.3 Vista frontal de la pantalla digital modelo ECT-16</i>	23
<i>Figura 5.1 Software Mastertool para la programación del QK801</i>	26
<i>Figura 5.2 Software Designer 5.0 para programar el panel digital ECT-16</i>	29
<i>Figura 6.1 Pantalla de mando de la compuerta de conducción de la toma de Tapantí</i>	50
<i>Figura 6.2 Pantalla de sensado de bombas de las compuertas T1 y T2 de la toma de Tapantí</i>	51
<i>Figura 6.3 Pantalla de configuración de tiempo de apertura y descenso de la compuerta T1 de la toma de Tapantí</i>	52
<i>Figura 6.4 Pantalla de configuración de tiempo de trabajo para las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye.</i>	52
<i>Figura 6.5 Pantalla de mando de compuerta P2 de conducción de la toma de Pejibaye</i>	53
<i>Figura 6.6 Pantalla de bloqueo de compuerta de desvío de la toma de Tapantí</i>	54
<i>Figura 6.7 Pantalla de desbloqueo de compuerta de desvío de la toma de Tapantí</i>	55
<i>Figura A.4.1 Control de estados modernizado de la compuerta P1 de la toma de Pejibaye.</i>	97
<i>Figura A.4.2 Control de estados modernizado de la compuerta P2 de la toma de Pejibaye.</i>	105
<i>Figura A.4.3 Control de estados modernizado de la compuerta T1 de la toma de Tapantí.</i>	115
<i>Figura A.4.4 Control de estados modernizado de la compuerta T2 de la toma de Tapantí.</i>	124
<i>Figura A.4.5 Control de estados modernizado de la compuerta T3 de la toma de Tapantí.</i>	133
<i>Figura A.4.6 Control de estados modernizado de las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye.</i>	140
<i>Figura A.6.1 Diagrama de control previo a la modernización de la compuerta P1 de la toma de Pejibaye.</i>	159

<i>Figura A.6.2 Diagrama de control previo a la modernización de la compuerta P2 de la toma de Pejibaye</i>	166
<i>Figura A.6.3 Diagrama de control previo a la modernización de la compuerta T1 de la toma de Tapantí</i>	172
<i>Figura A.6.4 Diagrama de control previo a la modernización de la compuerta T2 de la toma de Tapantí.</i>	176
<i>Figura A.6.5 Diagrama de control previo a la modernización de la compuerta T3 de la toma de Tapantí</i>	180
<i>Figura A.7.1 Diagrama de conexión de la botonera de respaldo de compuerta P1 de Pejibaye ubicada en Tapantí</i>	184
<i>Figura A.7.2 Diagrama de conexión de la botonera de control de compuerta P1 de Pejibaye ubicada en Pejibaye</i>	185
<i>Figura A.7.3 Diagrama de conexión de la botonera de control de emergencia ubicada en Pejibaye</i>	186
<i>Figura A.7.4 Diagrama de conexión del sensado de compuerta P1 de Pejibaye</i>	187
<i>Figura A.7.5 Diagrama de conexión de salidas de control de compuerta P1 de Pejibaye</i>	190
<i>Figura A.7.6 Diagrama de conexión de la botonera de respaldo de compuerta P2 de Pejibaye ubicada en Tapantí</i>	191
<i>Figura A.7.7 Diagrama de conexión de la botonera de control de compuerta P2 de Pejibaye ubicada en Pejibaye</i>	192
<i>Figura A.7.8 Diagrama de conexión de la botonera de control de emergencia ubicada en Tapantí</i>	193
<i>Figura A.7.9 Diagrama de conexión del sensado de compuerta P2 de Pejibaye</i>	194
<i>Figura A.7.10 Diagrama de conexión de salidas de control de compuerta P2 de Pejibaye</i>	197
<i>Figura A.7.11 Diagrama de conexión de la botonera de control de respaldo de compuerta T1 de Tapantí ubicada en Tapantí</i>	199
<i>Figura A.7.12 Diagrama de conexión del selector de bombas disponibles para apertura y descenso de compuertas T1 y T2 de la toma de Tapantí</i>	200
<i>Figura A.7.13 Diagrama de conexión del sensado de compuerta T1 de Tapantí</i>	201
<i>Figura A.7.14 Diagrama de conexión de salidas de control de compuerta T1 de Tapantí</i>	203
<i>Figura A.7.15 Diagrama de conexión de la botonera de control de respaldo de compuerta T2 de Tapantí ubicada en Tapantí</i>	204
<i>Figura A.7.16 Diagrama de conexión del sensado de compuerta T2 de Tapantí</i>	205
<i>Figura A.7.17 Diagrama de conexión de salidas de control de compuerta T2 de Tapantí</i>	206

<i>Figura A.7.18 Diagrama de conexión de la botonera de control de respaldo de compuerta T3 de Tapantí ubicada en Tapantí</i>	207
<i>Figura A.7.19 Diagrama de conexión del sensado de compuerta T3 de Tapantí</i>	208
<i>Figura A.7.20 Diagrama de conexión de salidas de control de compuerta T3 de Tapantí</i>	210
<i>Figura A.7.21 Diagrama de conexión de la botonera de control de motobombas de drenaje ubicada en Pejibaye</i>	211
<i>Figura A.7.22 Diagrama de conexión del selector de bombas disponibles de la galería ubicada en la toma de Pejibaye</i>	212
<i>Figura A.7.23 Diagrama de conexión del sensado de motobombas de drenaje y de nivel de agua en galería de la toma de Pejibaye</i>	213
<i>Figura A.7.24 Diagrama de conexión del sensado de motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye</i>	214
<i>Figura A.7.25 Diagrama de conexión de salidas de control de motobombas de drenaje de galería en la toma de agua de Pejibaye</i>	215
<i>Figura A.9.1 Menú principal del Sistema de Control programado en el panel digital.</i>	406
<i>Figura A.9.2 Menú de Mandos de Compuerta de la Toma de Pejibaye y de la Toma de Tapantí</i>	407
<i>Figura A.9.3 Pantalla de Mando de Compuerta Hidráulica de Fondo de la Toma de Pejibaye</i>	408
<i>Figura A.9.4 Pantalla de Mando de Compuerta Conducción P1 de la Toma de Pejibaye</i>	409
<i>Figura A.9.5 Diseño de pantalla para el sensado de finales de carrera de compuerta de conducción de la Toma de Pejibaye</i>	410
<i>Figura A.9.6 Diseño de pantalla para el sensado de relés térmicos, contactores entre otros, de la compuerta de conducción de la Toma de Pejibaye</i>	410
<i>Figura A.9.7 Pantalla de sensado de controles seleccionados por operarios en el sitio de Pejibaye</i>	411
<i>Figura A.9.8 Pantalla de sensado de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye</i>	411
<i>Figura A.9.9 Configuración de tiempos de Apertura, de Descenso y de Recuperación de la compuerta Hidráulica de la Toma de Pejibaye.</i>	412
<i>Figura A.9.10 Configuración de tiempos de trabajo de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye.</i>	413
<i>Figura A.9.11 Pantalla del panel digital de Bloqueo de compuerta T3 de conducción de la Toma de Tapantí.</i>	414
<i>Figura A.9.12 Pantalla del panel digital de Bloqueo de compuerta T3 de conducción de la Toma de Tapantí.</i>	415
<i>Figura A.9.13 Pantalla de Desbloqueo de compuerta de conducción de Pejibaye.</i>	416

<i>Figura A.9.14 Pantalla de Opciones de Alarmas</i>	417
<i>Figura A.9.15 Pantalla de alarma activada por Falla en relés térmicos de protección.</i>	418
<i>Figura A.9.16 Pantalla de alarma activada por temporizador.</i>	418
<i>Figura A.9.17 Pantalla del panel digital de ayuda, para alarmas activadas por temporizador.</i>	419
<i>Figura A.9.18 Pantalla de alarma activa por falla en algún contactor de las compuertas o motobombas.</i>	420
<i>Figura A.9.19 Pantalla de ayuda, en la activación de Paro por emergencia</i>	420
<i>Figura A.9.20 Cuadro de configuración de passwords dentro del Designer 5.0</i>	422
<i>Figura A.9.21 Botón en verde de Abrir indicando que la compuerta esta abriendo.</i>	423
<i>Figura A.9.22 Configuración de botón genérico de comando de compuertas.</i>	424
<i>Figura A.9.23 Botones de desplazamiento de pantallas dentro del panel digital.</i>	424
<i>Figura A.9.24 Configuración del Botón genérico para la configuración de tiempo de apertura de compuerta.</i>	425
<i>Figura A.9.25 Sensado Control Manual /Automático de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye</i>	426
<i>Figura A.9.26 Variables tipo Message en la pantalla de Sensado de Motobombas de Pejibaye.</i>	427
<i>Figura A.9.27 Configuración de la primer variable Message de la pantalla de Sensado de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye.</i>	427
<i>Figura A.9.28 Editor de Mensajes para el estado de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye.</i>	428
<i>Figura A.9.29 Configuración en modo de Eventos para el panel key número 2 .</i>	429
<i>Figura A.9.30 Macro a ejecutar al presionar Ver alarmas activas</i>	430
<i>Figura A.9.31 Macro al liberar el botón de Ver alarmas activas</i>	431
<i>Figura A.9.32 Ejecución de Macro al presionar el botón de Ir a alarma activa</i>	432
<i>Figura A.9.33 Ejecución de Macro al liberar el botón de Ir a alarma activa</i>	433
<i>Figura A.9.34 Ejecución de Macro al presionar la opción de Eliminar Eventos de alarmas.</i>	434
<i>Figura A.9.35 Ejecución de Macro al liberar la opción de Eliminar Eventos de alarmas.</i>	435
<i>Figura A.9.36 Configuración del Area Reservada para el estatus del panel digital.</i>	449
<i>Figura A.9.37 Pantalla de presentación del sistema de control</i>	451
<i>Figura A.9.38 Pantalla de menú principal del sistema de control</i>	451
<i>Figura A.9.39 Pantalla del menú de opciones de alarmas</i>	452

<i>Figura A.9.40 Pantalla de opciones de comando de compuertas de la toma de Pejibaye y de la toma de Tapantí</i>	452
<i>Figura A.9.41 Pantalla de mando de compuerta P2 hidráulica de la toma de Pejibaye</i>	453
<i>Figura A.9.42 Pantalla de mando de compuerta P1 de Fondo de la toma de Pejibaye</i>	453
<i>Figura A.9.43 Pantalla de mando de compuerta T3 de Conducción de la toma de Tapantí</i>	454
<i>Figura A.9.44 Pantalla de mando de compuerta T1 de Desvío de la toma de Tapantí</i>	454
<i>Figura A.9.45 Pantalla de mando de compuerta T2 Desarenadora de la toma de Tapantí</i>	455
<i>Figura A.9.46 Pantalla de Selección de Compuerta a bloquear</i>	455
<i>Figura A.9.47 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de conducción de la toma de Pejibaye</i>	456
<i>Figura A.9.48 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de Fondo de la toma de Pejibaye</i>	456
<i>Figura A.9.49 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de conducción de la toma de Tapantí</i>	457
<i>Figura A.9.50 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de Desvío de la toma de Tapantí</i>	457
<i>Figura A.9.51 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí</i>	458
<i>Figura A.9.52 Pantalla de Selección de Compuerta a desbloquear</i>	458
<i>Figura A.9.53 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta Conducción de la toma de Pejibaye</i>	459
<i>Figura A.9.54 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta de Fondo de la toma de Pejibaye</i>	459
<i>Figura A.9.55 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta de Conducción de la toma de Tapantí</i>	460
<i>Figura A.9.56 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta de Desvío de la toma de Tapantí</i>	460
<i>Figura A.9.57 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí</i>	461
<i>Figura A.9.58 Pantalla de Selección de Compuertas o Motobombas para configuración de tiempos</i>	461
<i>Figura A.9.59 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Conducción de la toma de Pejibaye</i>	462

<i>Figura A.9.60 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Fondo de la toma de Pejibaye</i>	462
<i>Figura A.9.61 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Conducción de la toma de Tapantí</i>	463
<i>Figura A.9.62 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Desvío de la toma de Tapantí</i>	463
<i>Figura A.9.63 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí</i>	464
<i>Figura A.9.64 Pantalla de Configuración de tiempos para las Motobombas de Drenaje de la toma de Pejibaye</i>	464
<i>Figura A.9.65 Pantalla de Configuración de tiempos para las Motobombas de Drenaje de la toma de Tapantí</i>	465
<i>Figura A.9.66 Sensado de Finales de Carrera de la compuerta de Conducción de la toma de Pejibaye</i>	465
<i>Figura A.9.67 Sensado de la compuerta de Conducción de la toma de Pejibaye</i>	466
<i>Figura A.9.68 Sensado de Finales de Carrera de la compuerta Fondo de la toma de Pejibaye</i>	466
<i>Figura A.9.69 Sensado de la compuerta Fondo de la toma de Pejibaye</i>	467
<i>Figura A.9.70 Sensado de Finales de Carrera de la compuerta de Desvío de la toma de Tapantí</i>	467
<i>Figura A.9.71 Sensado de Finales de Carrera de la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí</i>	468
<i>Figura A.9.72 Sensado de Bombas de las compuertas de Desvío y Desarenadora de la toma de Tapantí</i>	468
<i>Figura A.9.73 Sensado de Finales de Carrera de la compuerta de Conducción de la toma de Tapantí</i>	469
<i>Figura A.9.74 Sensado de la compuerta de Conducción de la toma de Tapantí</i>	469
<i>Figura A.9.75 Sensado de la Selección de control de Motobombas de Drenaje, ubicado en la toma de Pejibaye</i>	470
<i>Figura A.9.76 Sensado de Motobombas de Drenaje, ubicado en la toma de Pejibaye</i>	470
<i>Figura A.9.77 Pantalla para agregar sensado de Motobombas de Drenaje, ubicado en la toma de Tapantí</i>	471
<i>Figura A.9.78 Pantalla de indicación, de compuerta con alarma activa por Falla</i>	471
<i>Figura A.9.79 Pantalla de indicación, de compuerta con alarma activa por Temporizador</i>	472
<i>Figura A.9.80 Pantalla de indicación, de compuerta con alarma activa por Contactor</i>	472

<i>Figura A.9.81 Pantalla de ayuda para alarmas activas por temporizador</i>	473
<i>Figura A.9.82 Pantalla de ayuda para alarmas activas por temporizador</i>	473
<i>Figura B.1.1 Diagrama de conexión del cable CA125 entre panel y PLC</i>	474
<i>Figura B.1.2 Diagrama de conexión del cable CA2 entre panel y PC</i>	475

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1 Características Técnicas de la CP Qk801</i>	18
<i>Tabla A.2 Simbología y abreviaturas de las compuertas y motobombas de la toma de Pejibaye y de la toma de Tapantí</i>	67
<i>Tabla A.3.1 Variables de estado del diagrama asincrónico de la compuerta de conducción de Pejibaye.</i>	68
<i>Tabla A.3.2 Variables de entrada para petición de usuario de la compuerta P1 de la toma de Pejibaye</i>	70
<i>Tabla A.3.3 Variables de entrada para paro de emergencia y reset del control de las compuertas de la toma de Pejibaye y Tapantí</i>	71
<i>Tabla A.3.4 Variables internas y de salida del diagrama de control de la compuerta P1 de la toma de Pejibaye</i>	71
<i>Tabla A.3.5 Variables de sensado de la compuerta P1 de la toma de Pejibaye</i>	72
<i>Tabla A.3.6 Variables de los estados de las compuertas P2 de Pejibaye</i>	73
<i>Tabla A.3.7 Variables de entrada para petición de usuario de la compuerta P2 de la toma de Pejibaye</i>	75
<i>Tabla A.3.8 Variables internas y de salida del diagrama de control de la compuerta P2 de la toma de Pejibaye</i>	76
<i>Tabla A.3.9 Variables de sensado de la compuerta P2 de la toma de Pejibaye</i>	78
<i>Tabla A.3.10 Estados de las compuertas de desvío T1 de la toma de Tapantí.</i>	79
<i>Tabla A.3.11 Variables de entrada para petición de usuario de la compuerta T1 de la toma de Pejibaye</i>	81
<i>Tabla A.3.12 Variables internas y de salida del diagrama de control de la compuerta T1 de la toma de Tapantí</i>	82
<i>Tabla A.3.13 Variables de sensado de la compuerta T1 de la toma de Tapantí</i>	83
<i>Tabla A.3.14 Estados de las compuertas T2 desarenadora de la toma de Tapantí.</i>	84
<i>Tabla A.3.15 Variables de entrada para petición de usuario de la compuerta T2 de la toma de Tapantí</i>	85
<i>Tabla A.3.16 Variables internas y de salida del diagrama de control de la compuerta T2 desarenadora de la toma de Tapantí</i>	86
<i>Tabla A.3.17 Variables de sensado de la compuerta T2 desarenadora de la toma de Tapantí</i>	87
<i>Tabla A.3.18 Estados de las compuertas T3 de conducción de la toma de Tapantí</i>	88

<i>Tabla A.3.19 Variables de entrada para petición de usuario de la compuerta T3 de conducción de la toma de Tapantí</i>	89
<i>Tabla A.3.20 Variables internas y de salida del diagrama de control de la compuerta T3 de conducción de la toma de Tapantí</i>	90
<i>Tabla A.3.21 Variables de sensado de la compuerta T3 de conducción de la toma de Tapantí</i>	91
<i>Tabla A.3.22 Estados del diagrama asincrónico de estados de las motobombas de Pejibaye</i>	92
<i>Tabla A.3.23 Variables de entrada para petición de usuario del control de las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye</i>	93
<i>Tabla A.3.24 Variables internas y de salida del diagrama de control de las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye</i>	94
<i>Tabla A.3.25 Variables de sensado de las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye</i>	95
<i>Tabla A.5.1 Descripción de símbolos utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de la compuerta P1.</i>	150
<i>Tabla A.5.2 Descripción de Botones y selectores utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de la compuerta P1.</i>	151
<i>Tabla A.5.3 Descripción de símbolos utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de la compuerta P2 hidráulica de la toma de Pejibaye.</i>	152
<i>Tabla A.5.4 Descripción de Botones y selectores utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de la compuerta P2.</i>	153
<i>Tabla A.5.5 Descripción de símbolos utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de las motobombas de drenaje en la toma de Pejibaye.</i>	154
<i>Tabla A.5.6 Descripción de Botones y selectores utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de las motobombas de drenaje en la toma de Pejibaye.</i>	155
<i>Tabla A.5.7 Descripción de símbolos utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de la compuerta T3 de conducción de la toma de Tapantí.</i>	156
<i>Tabla A.5.8 Descripción de Pulsadores y selectores utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de la compuerta T3 hidráulica de la toma de Tapantí.</i>	156
<i>Tabla A.5.9 Descripción de símbolos utilizados en los diagramas asincrónicos de estados previo a la modernización de las compuerta T1 y T2 de la toma de Tapantí.</i>	157
<i>Tabla A.9.1 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de conducción de Pejibaye</i>	436
<i>Tabla A.9.2 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de fondo de Pejibaye</i>	437

<i>Tabla A.9.3 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta T1 Desvío de Tapantí</i>	439
<i>Tabla A.9.4 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta desarenadora de Tapantí</i>	440
<i>Tabla A.9.5 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de conducción de Tapantí</i>	441
<i>Tabla A.9.6 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de conducción de Tapantí</i>	442
<i>Tabla A.9.7 Variables del controlador configuradas en el panel digital para las Motobombas de Drenaje de la toma de Pejibaye</i>	443
<i>Tabla A.9.8 Variables de Memoria del controlador asignadas a las claves de Bloqueo, desbloqueo de las compuertas Tapantí y Pejibaye, configuradas en el panel digital</i>	444
<i>Tabla A.9.9 Variables de memoria de los tiempos de Apertura y Descenso de las compuertas de Pejibaye y Tapantí, configuradas en el panel.</i>	445
<i>Tabla A.9.10 Variables asignadas para alarmas detectadas por Falla</i>	446
<i>Tabla A.9.11 Variables asignadas para alarmas detectadas por Temporizador</i>	447
<i>Tabla A.9.12 Variables asignadas para alarmas detectadas por Falla de contactor</i>	448
<i>Tabla B.1.1 Descripción del cable CA125 entre panel y PLC</i>	474
<i>Tabla B.1.2 Descripción del cable CA2 entre panel y PC</i>	475

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la empresa

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es una empresa que se encarga de las telecomunicaciones y la energía eléctrica en Costa Rica. Se creó mediante el Decreto – Ley No 449 del 8 de abril de 1949. El ICE se divide a su vez en dos subempresas, ICETEL e ICELEC. ICELEC es la división que se encarga de la producción, transmisión y distribución de energía eléctrica.

El ICE se encuentra bajo la presidencia del Ing. Pablo Cob y tiene más de 6000 empleados.

ICELEC produce energía eléctrica a través del recurso hídrico, eólico, solar, geotérmico y térmico. La mayor cantidad de energía se produce por medio de represas en las cuencas de los ríos (67%), aprovechando la geografía de nuestro país y su clima.

En agosto de 1963, el ICE puso en servicio la planta hidroeléctrica de Río Macho. La planta hidroeléctrica Río Macho esta situada en el Valle de Orosi, en la Vertiente Atlántica, su casa de máquinas está localizada tres kilómetros al este del centro de Orosi, distrito tercero del cantón de Paraíso, Provincia de Cartago.

El proyecto del diseño de la lógica de control de las Compuertas de la Toma de Aguas del Río Pejibaye y del Río Tapantí, Centro Producción de Río Macho, se desarrolló en el Área de Soporte Técnico de la Región Huetar Brunca ICE. Este es una dependencia del ICE que presta servicios especializados en diferentes áreas de ingeniería eléctrica, mecánica y civil para la atención de las plantas generadoras del ICE de la Región Huetar Brunca.

En este departamento laboran 25 personas, de los cuales hay actualmente 5 ingenieros. Este grupo cuenta con el ing. Adrián Coghi Fernández como coordinador del área de Ingeniería, dos ingenieros eléctricos, un ingenieros civiles y un ingeniero mecánico. El departamento se encarga de prestar atención a los equipos de protección de generador, los reguladores de velocidad y de voltaje. Dentro de los servicios que presta esta el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, en las siguientes áreas:

- a. aislamiento de los equipos de generación
- b. descargas parciales
- c. represas y obra gris
- d. tuberías y túneles

En la figura 1.1 se muestra la organización del Area de Soporte Técnico RHB, con una Coordinación General, bajo la cual se encuentran las cuatro áreas: Mecánica, Eléctrica, Civil, Logística y sus colaboradores.

El Area Mecánica tiene a su cargo el Mantenimiento Predictivo de los Centros de

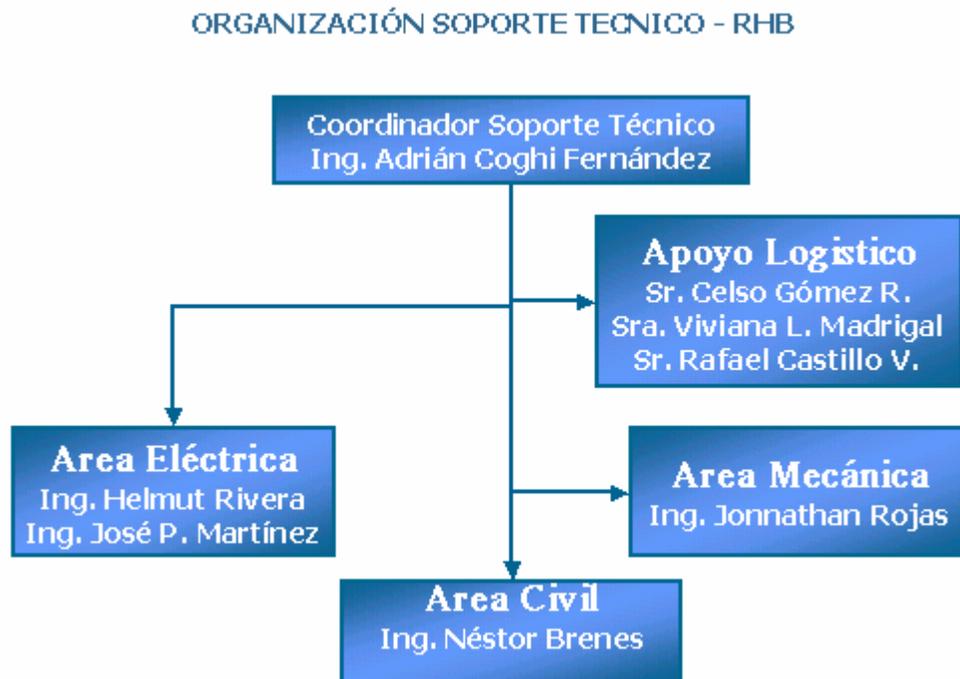


Figura 1.1 Organigrama del departamento de Soporte Técnico -RHB

Producción Río Macho, Cachí, Angostura y Moín para un total de 508MW. El Area Civil tiene a cargo el planeamiento y ejecución de trabajos de mantenimiento civil preventivo y correctivo, inspección y supervisión de obras civiles por contrato, elaboración de especificaciones técnicas para solicitudes de suministro y licitaciones.

En la figura 1.2 se muestra el Area Eléctrica, donde se ubica el área de Control, Protecciones y Aislamiento y el Area de Regulación, los ingenieros y los técnicos encargados de laborar para dichas áreas. Esta última área tiene la responsabilidad de brindar el soporte técnico a los reguladores de velocidad de las turbinas y a los reguladores automáticos de voltaje de los generadores. Dentro de las actividades más relevantes se destacan el mantenimiento y la modernización de equipos, con el fin de mantener la frecuencia y el voltaje del sistema nacional interconectado en su valor nominal. El área de Control, Protección y Aislamiento es la encargada entre varias de sus funciones, al desarrollo de proyectos a nivel de mejoras y de modernización en los sistemas de control, así como en las atención de fallas o la ejecución del mantenimiento correctivo. De esta manera se pretende la modernización de las tomas de agua de Pejibaye y de la toma de Tapantí, pertenecientes al Centro de Producción de

ORGANIZACIÓN SOPORTE TECNICO - RHB

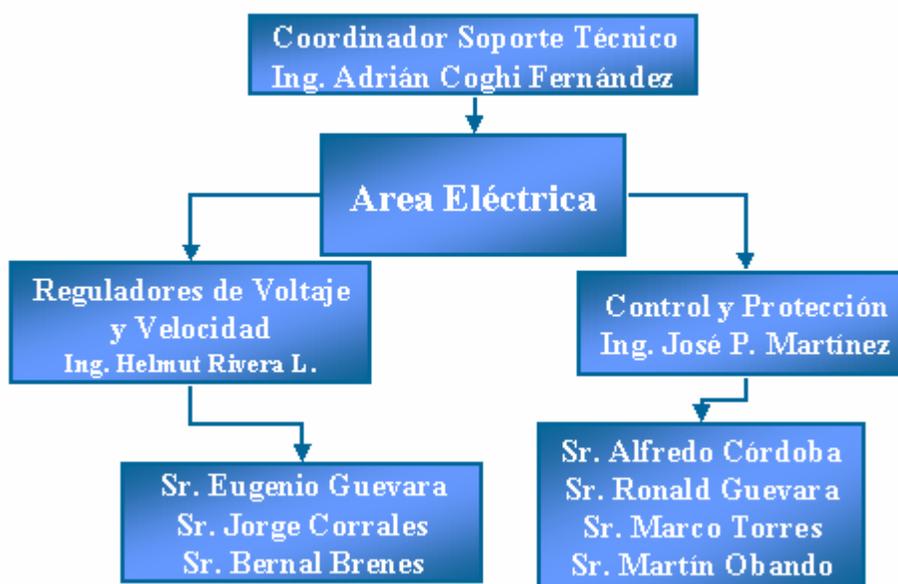


Figura 1.2 Organigrama del Area Eléctrica de Soporte Técnico -RHB

Río Macho. Para el área de Control, Protección y Aislamiento, la modernización debe tener seguridad operativa y seguridad para el personal de mantenimiento, presentar un interfaz amigable de control al operario y permitir el sentido y el estado actual de cada compuerta y motobombas que componen el complejo de ambas tomas de agua.

1.2 Definición del problema y su importancia

El sistema original a modernizar, se basaba en una lógica de contactos y era capaz de controlar las compuertas y motobombas de Pejibaye, local y remotamente desde Tapantí. Debido al deterioro de éste control por la humedad, se tuvo que eliminar y dejar un control demasiado sencillo de abrir y cerrar compuertas, el cual cuenta con muy poca seguridad operativa.

Como parte de la modernización y considerando la inseguridad, que prevalece en el sistema actual, surge la necesidad de diseñar un sistema de control que abarque tanto la seguridad operativa así como la seguridad para el personal de mantenimiento en las tomas de agua de Tapantí y de Pejibaye.

El acceso a la toma de Pejibaye es mediante el túnel de conducción de la misma, aproximadamente a 2,8 km del cuarto de control de la toma de Tapantí, éste acceso presenta un gran riesgo para el personal de mantenimiento, ya que la compuerta de conducción al túnel podría ser reabierto por error.

Debido a las condiciones del problema es necesario contar con un sistema más inteligente, que permita prevenir daños a los equipos (motobombas, sistema hidráulico), reconfigurar tiempos de apertura y descenso de la compuerta, y además asegurar la vida de las personas, mediante claves de acceso que bloqueen algunas funciones del sistema; cuando se realiza el mantenimiento a cada una de las compuertas.

La seguridad del sistema es de vital importancia durante las siguientes funciones operativas:

- a. realizar el mantenimiento de las compuertas(correctivo o preventivo),
- b. entrar o salir del túnel de conducción de la toma de Pejibaye,
- c. abrir o cerrar compuertas
- d. poner en funcionamiento el circuito hidráulico (presión normal)
- e. encender o apagar bombas

El desarrollo del proyecto es muy importante porque introduce :

- a. opciones de control de compuertas seguras utilizando claves de seguridad.
- b. la configuración de tiempos para determinar fallas en compuertas.
- c. sensado de cada una de las variables de las compuertas y motobombas.
- d. verificación de presión normal en circuito hidráulico, entre otros.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una lógica de control segura para el control de las compuertas y motobombas de la toma de agua de Pejibaye y de la toma de agua de Tapantí ambos desde la presa en Tapantí.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Determinar las condiciones de operación de las compuertas.
- b. Obtener las entradas y salidas del sistema original.
- c. Obtener el diagrama asincrónico actual de Control de la presa de Tapantí y Pejibaye.
- d. Diseñar un esquema de control para facilitar el mantenimiento de las presas.
- e. Agregar a la lógica original una mejor seguridad operativa mediante dispositivos de sensado y enclavamientos.
- f. Diseñar un diagrama asincrónico de estados para la lógica modernizada.
- g. Programar y simular la secuencia en el PLC Altus por medio del software Mastertool.
- h. Diseñar y programar la interfaz hombre-máquina de la pantalla de tacto.
- i. Realizar el diagrama de conexión del sistema.
- j. Realizar la transferencia de tecnología al personal de operación y mantenimiento de las presas.
- k. Elaborar la documentación necesaria para explicar el manejo del sistema del control programado en el touch screen, así como en la detección de fallas u otros.

Capítulo 2: ANTECEDENTES

2.1 Estudio del problema a resolver

El problema se dividió en dos partes debido a la ubicación geográfica que ambas tomas tienen.

Control de la toma de agua Pejibaye

El control de la toma de Pejibaye, a través del tiempo, ha sufrido grandes transformaciones con respecto al control original. El control previo a la modernización es completamente inseguro e ineficiente, ya que no prevalecen muchas de las funciones originales.

Entre los dispositivos de sensado se encuentran relés de protección, sensores de boyas de mercurio para las bombas y sensores mecánicos para las compuertas.

Las compuertas hidráulicas no cuenta con sensado de posición que permita verificar pérdidas de aceite u obstáculos en su trayectoria.

La compuerta electromecánica y la hidráulica no cuentan con temporización para determinar obstáculos o poder determinar mediante una variable de tiempo, la necesidad de mantenimiento.

Las motobombas de drenaje no pueden ser alternadas en forma automática y no existe la manera de definir el tiempo máximo de trabajo.

Los réles térmicos se encuentran operando pero no es posible monitorear su operación o estado en forma remota.

Control de la toma de agua Tapantí

En Tapantí el tipo de sensado de los finales de carrera en el circuito hidráulico es por presión máxima o mínima. La apertura de la compuerta T3 de conducción al túnel se realiza en forma visual desde la casetilla de control. Esta compuerta cuenta con un sistema de

recuperación que se encuentra dañado por lo que tiene un enclavamiento mecánico al 50% para no permitir que la compuerta baje a menos de este porcentaje.

Las compuertas no tienen temporización de apertura y cierre, y la compuerta hidráulica T3 no cuenta con sensado de posición para reforzar el sistema de recuperación.

Al igual que en la toma de Pejibaye, los relés se encuentran operando, pero no pueden ser visualizados por el operador.

Las figuras y tablas enumeradas con la letra A antes del número, indica su ubicación en los apéndices del A.1 al A.9 según corresponda.

En apéndice A.5 y A.6 se muestran en tablas y figuras el sistema retomado de los planos (lenguaje de contactos) de dichas tomas de agua, mediante diagramas de flujo que permiten observar claramente el control de compuertas y motobombas.

En la figura A.6.1 se observa el control de la compuerta P1 y en las tablas A.5.1 y A.5.2 se muestra la descripción de botones, selectores, finales de carrera, relés térmicos involucrados, contactores que activan los motores de apertura y cierre de compuerta. Se encuentran 10 pulsadores de apertura, descenso, parada de compuerta, parada de emergencia, desplazamiento lateral derecho e izquierdo, los pulsadores remotos de apertura, descenso y parada de compuerta.

El control por contactores de la compuerta P2 hidráulica se observa en la figura A.6.2 y en las tablas A.5.3 y A.5.4, donde se describen la simbología de finales de carrera y de recuperación, presostato de vigilancia en tanque y 12 pulsadores que permiten el control local y remoto de la compuerta, así como el encendido del sistema hidráulico.

El control de la compuerta T1 y T2 se muestra en la figura A.6.3 y A.6.4 y en la tabla A.5.9. Se describen las válvulas nombradas como bajar y subir, la presión mínima y máxima para indicar los finales de carrera. Los contactores C1 y C2 activan las bombas A y B respectivamente. En el diagrama de flujo se muestra la posibilidad de seleccionar la bomba a activar: bomba A o bomba B.

La figura A.6.5 y la tabla A.5.7 y A.5.8 se describe el control de la compuerta T3 hidráulica. Este cuenta con indicadores de final de curso superior e inferior cuenta con una

señal nombrada como RS para activar la recuperación de la compuerta, relés térmicos de protección, dos leds indicadores de compuerta abierta o cerrada y 3 pulsadores normalmente abiertos de petición de apertura, descenso y paro de compuerta.

Las tablas A.5.5 y A.5.6 muestra las variables involucradas en el control de las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye. Para el control de motobombas es necesario del sensado de nivel de agua máximo y mínimo, para activar los contactores C1 y C2 de las dos bombas de drenaje de agua en la galería. Cada motobomba cuenta con sensado de relé térmico de protección. Ocho pulsadores permiten el encendido o apagado de ambas bombas y un selector para control local o control automático de las mismas.

2.2 Requerimientos de la empresa

El Departamento de Soporte Técnico de la Región Huetar Brunca pretende que la lógica original sea analizada y modernizada, una vez superada ésta etapa de diseño, en la modernización de planta Río Macho, se logre colocar todos los dispositivos de sensado para el éxito del control.

Para la toma de Pejibaye y Tapantí la empresa requiere de los siguientes puntos:

- a. Detección de fallas por falta de fase o por el relé térmico de protección
- b. Sensado de posicionamiento analógico para la compuerta P2 y T3 hidráulica. Al 90% de apertura active el sistema de recuperación y para un 85% de apertura después de vencido el tiempo de recuperación se active el estado de alarma.
- c. Las bombas de drenaje trabajen alternadamente dependiendo de la disponibilidad de las mismas. El control en todo momento debe sensar el nivel mínimo para apagar las bombas inmediatamente, para evitar que trabajen al vacío.
- d. Las puertas deben de temporizarse desde la petición de cierre y apertura hasta el estado alcanzado, para determinar en caso de bloqueo o fin de tiempo máximo de apertura y descenso, que la compuerta presenta alguna falla.

- e. El sistema de control sea capaz de bloquear funciones al usuario de las compuertas de Pejibaye trasladando el control a dicho sitio y conservando el último estado hasta que localmente en Pejibaye pueda ser modificado.
- f. Al usuario se le permita ingresar la clave para desbloquear la compuerta trasladando el control al panel ubicado en Tapantí.
- g. Las compuertas de Tapantí puedan ser bloqueadas, igual que en Pejibaye hasta que sean desbloqueadas.
- h. En Pejibaye debe haber un control local por botoneras que permita abrir y cerrar las compuertas, así como encender y apagar manualmente las bombas.
- i. En Tapantí debe haber un control por botoneras de respaldo al panel digital.
- j. El sistema modernizado debe rescatar el control original.
- k. Los estados de bloqueo permiten detener la compuerta hasta que se le haya introducido una llave reset (pulsador externo) indicando que la secuencia regrese al estado de inicio del control, para esperar nueva instrucción por parte del operador.

2.3 Solución propuesta

La solución diseñada pretende unificar todo el control de ambas tomas de agua utilizando un PLC y un panel digital. En la figura 2.1 se muestra la distribución y la ubicación de los controles (panel de operador, control de respaldo por botonera y los controles en Pejibaye).

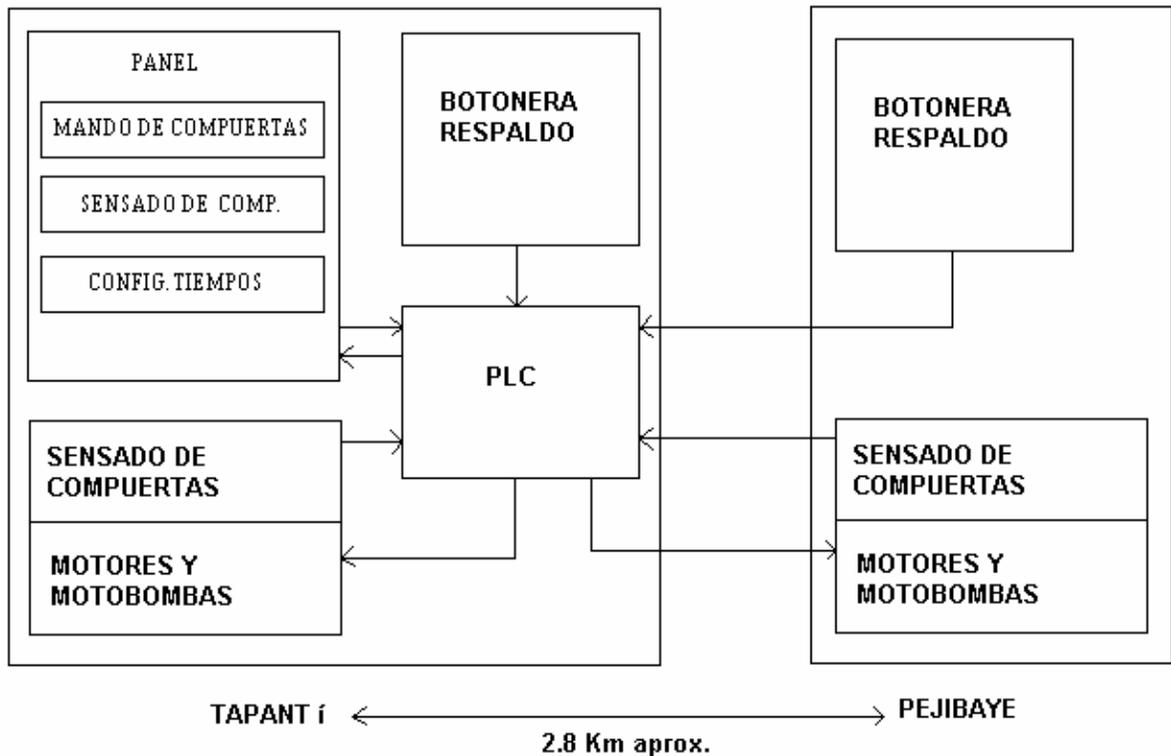


Figura 2.1 Distribución y ubicación de los controles de ambas tomas de agua

El alcance de este proyecto se enfocó en la realización de un diseño de control a nivel de software, para cada una de las compuertas, motobombas y comunicación con el panel digital.

Según especificaciones dadas por el encargado del proyecto, el diseño de cada control se realizó por estados.

La solución propuesta cumple con los siguientes puntos :

Compuertas de Pejibaye y Tapantí

- a. Definir por parte del operario, un tiempo de apertura y descenso máximo que permita verificar fallas.
- b. Medir el tiempo de apertura y descenso de las compuertas.
- c. Medir el tiempo de recuperación de las compuertas hidráulicas.
- d. Identificador de estados de falla: tiempo excedido de apertura, de descenso, de recuperación, disparo de relés térmicos, paro por emergencia, y otro tipo de sensado del estado de las compuertas.
- e. Verificar el bloqueo de compuertas, para el control manual desde Pejibaye.
- f. Comprobar la comunicación correcta con el panel para activar control de respaldo.
- g. Sensado de posición de la compuerta hidráulica P2 y T3, para realizar la recuperación de la compuerta al 90% o activar el estado de alarma al 85% en caso de vencerse el tiempo de recuperación definido.
- h. Autorizar el bloqueo de compuertas, lo que permite que ningún operador desde el panel pueda cambiar el estado de la compuerta.
- i. Selector de disponibilidad de bombas para dar mantenimiento a las compuertas de Tapantí T1 y T2.

Motobombas de Pejibaye

- a. Definir un tiempo de trabajo para su alternancia
- b. Definir un tiempo máximo para activar ambas bombas en caso de no alcanzar el nivel mínimo de agua
- c. Debe existir un indicador de disponibilidad de bombas, permitiendo el mantenimiento de alguna de ellas

Cabe rescatar y aclarar , que el bloqueo de compuerta en Pejibaye, indicará al sistema que sólo permitirá la modificación del estado de la compuerta, cuando sea solicitada desde

Pejibaye, en otras palabras el bloqueo de la compuerta es sinónimo de control local en Pejibaye y el desbloqueo de la compuerta es sinónimo de control remoto desde Tapantí y en el panel de operador.

El bloqueo de las compuertas de Tapantí, no permiten modificar el estado de la compuerta vía mandos hasta que se haya desbloqueado.

El sistema es capaz de habilitar el control de respaldo cuando el panel falle o no se establezca la comunicación entre el panel y el PLC. El operario podrá habilitar la botonera de respaldo al simular esta falla en la comunicación, con sólo desconectar el cable de comunicación entre el panel digital y el PLC.

Capítulo 3: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos propuestos se siguió el siguiente procedimiento:

- a. Se recopilaron todos los manuales (PLC, accesorios del PLC, pantalla de tacto entre otros) y software (programa MasterTool)de los equipos con el encargado del departamento de Control de Soporte Técnico.
- b. Se estudiaron los manuales e información concernientes al uso y la programación de los equipos (PLC Altus y la pantalla de tacto).
- c. Se recopiló información concerniente al equipo actual a controlar y las condiciones de operación de las compuertas, las cuales son provistas por el encargado del área de mecánica de Soporte Técnico, los operarios y los del personal de mantenimiento.
- d. Se obtuvo el diagrama asincrónico del control previo a la modernización.
- e. Se analizó la información recopilada sobre las condiciones de operación de las compuertas, como los requerimientos dados por el personal de mantenimiento y operarios. Realizar la propuesta o diseño de control para que el sistema tenga una mayor seguridad operativa.
- f. Se realizó un análisis de la mejor estrategia de seguridad que permita el bloqueo y control de ambas presas, según sea el caso asegurando la facilidad de mantenimiento.
- g. Se obtuvo las variables de entrada y salida del sistema ya modernizado.
- h. Se recopiló información de los análisis para mejorar la seguridad operativa y seguridad para el personal de mantenimiento. Obtener diagrama completo de estados asincrónico secuenciales del sistema de control modernizado, que cumpla con todas las especificaciones de seguridad.
- i. Se convirtió el diagrama de estados del sistema completo al formato en escalera para su posterior programación utilizando el método de conectivas.

- j. Se elaboró las plantillas de presentación de los diagramas de estados del control de las compuertas y motobombas
- k. Se elaboró las plantillas para los diagramas de conexión de cada una de las variables involucradas en el sistema a controlar.
- l. Se programó y simuló la secuencia de control diseñada en el PLC para cada una de las compuertas.
- m. Se diseñó y programó la interfaz hombre- máquina que sea flexible y de fácil manejo para los operarios.
- n. Se realizó la transferencia de tecnología a los del personal de operación y mantenimiento.
- o. Se editó el manual de usuario y de programación del panel operador

Capítulo 4: DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

4.1 Descripción del PLC

El PLC forma parte de la unidad principal del proyecto como ejecutor de la lógica de control diseñada, ver tabla 4.1 de datos técnicos.. Entre sus principales características se encuentra:

- a. pertenece a la serie Quark 801
- b. posee leds de estatus de la Unidad Central de Proceso (UCP)
- c. tiene una capacidad máxima de memoria es de 128k de RAM y 128 k flash
- d. tiene un microcontrolador INTEL 80C32
- e. posee dos canales seriales, uno de ellos es RS-485 dedicado a protocolos genéricos, para protocolos variados, como lectoras de código de barras o escáners. Este canal serial puede operar con un protocolo ALNET 1 y ser entrelazado con hasta 31 controladores programables.
- f. tiene una interface para red de comunicación ALNET 1 (para comunicarse serialmente con el panel)
- g. el lenguaje de programación es de fácil aprendizaje, gráfico, semejante a diagramas eléctricos, estructurada en módulos.
- h. puede monitorear hasta 512 puntos digitales de entrada, salida
- i. organización de puntos de módulos de entrada y salida de forma modular, permitiendo una rápida inclusión de puntos o alteración de configuración.
- j. posee batería para la retención de datos de la memoria RAM
- k. incorpora reloj de tiempo real para aplicaciones de control preciso.

Se encuentran tres accesorios o módulos al PLC, el QK1130 con 32 entradas digitales a 24 VDC, el QK1224 con 16 salidas digitales y el QK1119 con 8 entradas analógicas de 12 bits de resolución.

En la figura 4.1 se encuentra un PLC de la serie Quark con las entradas para los protocolos ALNET 1 y RS -485, dentro del PLC se encuentra ubicada la UCP. Un módulo de entradas salidas se puede observar junto a la UCP.



Figura 4.1 PLC de la serie Quark con un módulo de entrada o salida

Tabla 4.1 Características Técnicas de la CP Qk801

Características Generales	QK8001
Numero máximo de puntos digitales E/S	512
Numero Máximo de Módulos de E/S	32
Canal de comunicación ALNET 1	Si
Canal de comunicación RS 485	Si
LEDs de actividad (TX,RX)	Si
Capacidad actual de memoria	32 K RAM 64 K FLASH
Capacidad máxima de memoria	128 K RAM 128 K FLASH
Retentividad de la memoria del programa y operandos, con testeo automático	Bateria de litio de 1/2 AA
Leds indicadores del estado de la UCP	Si
Microcontrolador Intel	80C32
Frecuencia de reloj	14.7456 Mhz
Reloj de tiempo real con calendario	Si
Precisión de reloj	30ppm
Circuito de supervisión "watch dog timer"	Si
Tiempo máximo de hardware	500 ms
Tiempo programable por software	500ms
Indice de protección	IP20
Temperatura de operación	0 a 60 grados
Temperatura de almacenaje	-25 a 70 grados
Peso	1.400g

4.1.1 Características Eléctricas

La UCP de la serie Quark presenta las siguientes características:

- a. Alimentación de 93.5 a 253 Vac / 100 a 250 Vdc
- b. Frecuencia de operación en la alimentación AC: 47 a 63 Hz

- c. Corriente pico de 25A
- d. Potencia máxima de 50VA
- e. Factor de potencia: 70%(típico) con alimentación a carga nominal
- f. Fusible de protección (20mm) 3 A
- g. Disipación máxima del módulo :4.2 w
- h. Inmunidad de ruido eléctrico, campo electromagnético irradiado y protección contra choque eléctrico.

4.1.2 Funcionamiento de la UCP

La UCP es la unidad responsable de la ejecución de las funciones del control, realizando un ciclo básico de lectura de los puntos de entrada, y la ejecución del programa aplicativo, actualizando las salidas, y comunicándose con otros dispositivos de entrada y salida como el Panel digital mediante el protocolo ALNET I.

La UCP esta compuesta por el microcontrolador, memorias Flash EPROM , RAM, periféricos y fuente de alimentación. La UCP posee internamente un programa interno gravado en Flash EPROM, denominado ejecutivo, que contiene un sistema operacional para el control de la UCP. Este programa ejecutivo tiene todas las funciones de la UCP tales como:

- a. lectura de todos los puntos de entrada
- b. actualización de los puntos de salida
- c. ejecución del programa ejecutivo
- d. carga y lecturas del programa
- e. comunicación serial con terminales de programación y otras interfaces
- f. contiene una biblioteca de instrucciones para el programa aplicativo

La UCP tiene los circuitos para grabación del Flash EPROM, prueba de batería y el circuito de watch dog timer”, encargado de vigilar el correcto funcionamiento de módulos de entrada y salida, así como la validez del programa de aplicación.

Cuando la UCP esta en operación, se puede encontrar en uno de los siguientes cinco estados:

1. Estado de inicialización: Identificado por los leds EX, Pg, FC y ER encontrados en el panel frontal, este estado indica que el controlador programable (CP) esta inicializando las variables de ejecución y verificando la validez del programa aplicativo.

La UCP se encuentra en este estado durante algunos segundos pasando al estado de ejecución.

2. Estado de ejecución: En este estado el controlador normalmente se encarga de leer las entradas y actualizar las salidas de acuerdo a la lógica programada.

El Led EX (panel frontal) es el indicador de que la UCP esta ejecutando correctamente el programa aplicativo.

3. Estado ciclado(Led EX y Pg): Èste se caracteriza porque realiza el barrido del programa aplicativo seguido de una paralización de la CP, que pasa a esperar un nueva orden del programador para ejecutar un nuevo barrido. Con ayuda del monitoreo de variables, este estado permite la depuración del programa aplicativo.

4. Estado de programación(Led Pg): Programa aplicativo no en ejecución, donde no se actualizan las entradas y salidas , pero si se pueden guardar los comandos del programador.

5. Estado de error(Led ER): Este estado indica que hay un error en la CP o durante el procesamiento. Indica también la ausencia del módulo de configuración o módulo del programa y tiempo de programa excedido.

4.2 Descripción de hardware del Panel ECT –16

El Panel digital es la Interfaz hombre-máquina para interactuar con los operarios de ambas presas, posee una pantalla de visualización y control digital, la cual permiten ver el estado de todas las compuertas y dar los mandos necesarios a la misma con sólo tocar la pantalla. En la figura 4.2 se muestra la parte frontal del panel digital utilizado para el control, y en su parte frontal a la izquierda, se observan los leds de estado del panel como modo run, modo alarma, modo reset y en modo de falla.

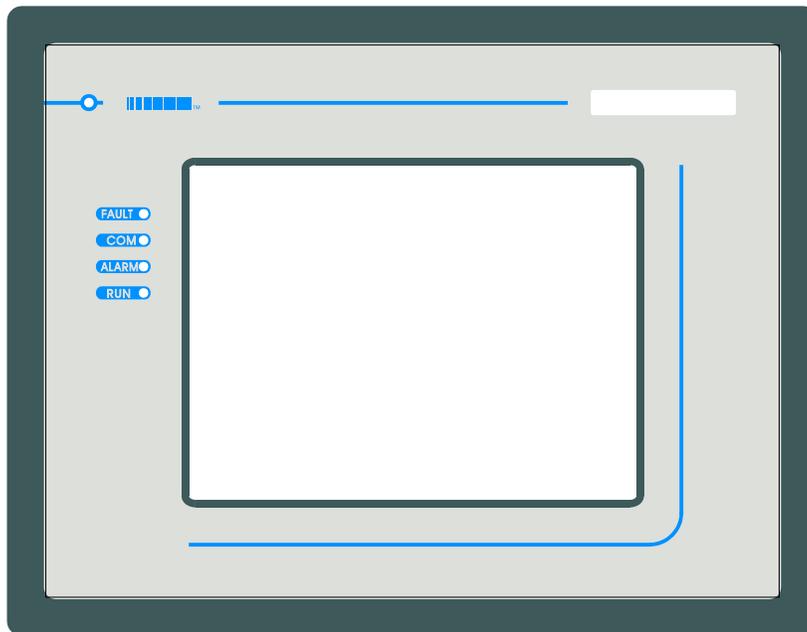


Figura 4.2 Parte frontal del panel ECT-16

El panel digital tiene las siguientes características técnicas:

- a. Display ECT-16 STN Color 5.6” ver figura 4.3
- b. Resolución gráfica de 320X240 pixeles
- c. Tiene capacidad gráfica

- d. Panel digital resistivo
- e. Alimentación de 24VDC
- f. Memoria de programa de 512 KB Flash EPROM(64 KB reservado para protocolo) y expandible a un 1Mbyte
- g. Posee 3 puertos de comunicación : 1 puerto RS-232 (PC/Impresora), 1 puerto RS-232, RS-485 CL 20 mA PLC (-0045) y el puerto auxiliar
- h. Posee 1024 Alarmas con página de información de alarma
- i. Variables por página no limitadas
- j. Tamaño de página: de 16 filas
- k. Posee las opciones de: Macro Editor, password, impresora, hardware clock/calendario
- l. Posee el historial de lista de 1024 eventos
- m. Tiene la opción para 32Kbyte para variables de tipo RECIPÉ
- n. UniNET/Network con SERVER/CLIENT

La figura 4.3 muestra las dimensiones del panel ECT-16 dada en milímetros, para un alto de 16,8 cm y 21, 6 cm de ancho.

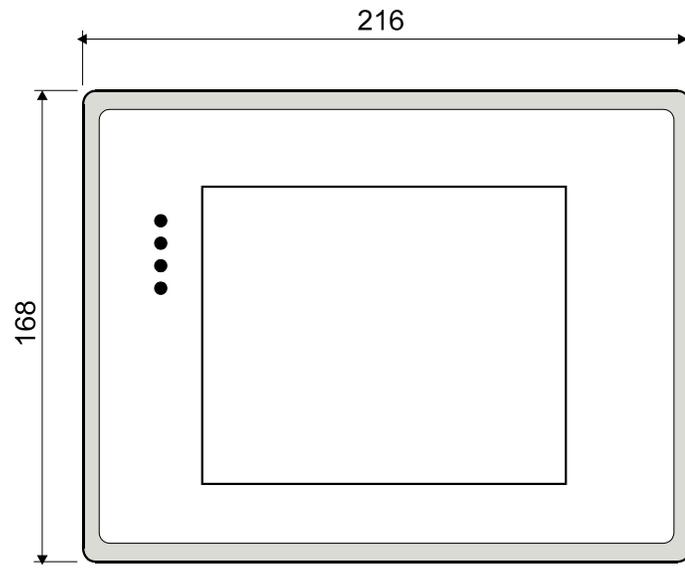


Figura 4.3 Vista frontal de la pantalla digital modelo ECT-16

Capítulo 5: DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

5.1 Mastertool

Mastertool es el software para programar el PLC Altus de la serie Quark. Es de fácil manejo y permite monitorear el estado de las entradas y salidas de los módulos E/S y la creación de lógicas de programación (programa aplicativo), verificación de los programas introducidos y examina el estado dinámico del sistema de control en tiempo real.

El programa introducido al Mastertool debe contener al menos 2 módulos: el módulo de configuración y el módulo de ejecución, además de éstos existen el módulo de procedimiento y el módulo de función.

Módulo C(Configuración): Este módulo contiene los parámetros del programa aplicativo de la CP(C000).

Entre los que se encuentra:

- a. declaración de operandos
- b. tiempo o ciclo de ejecución de la aplicación del programa
- c. Starting Time(tiempo de operación) del módulo E018 (de ejecución).
- d. configuración del Bus, indicando el tipo de módulo, la dirección de los operandos I/O y la dirección como operando del bus.
- e. Configuración de la comunicación ASCII
- f. Configuración de Networks (ALNET1) y su sincronización

Módulo E(Ejecución): Pueden existir 4 módulos de programa de ejecución por programa aplicativo(E000, E001y E018).

Módulo P(Procedimiento): Pueden existir hasta 112 módulos procedimiento por programa aplicativo. Están contenidos dentro del programa aplicativo y son llamados por instrucciones colocadas en los módulos de ejecución, procedimiento o función. Los módulos P funcionan como subrutinas.

Módulo F(Función): Pueden existir hasta 112 módulos de función por programa aplicativo. Ellos se encuentran en el programa de aplicación escritos de forma genérica y pueden ser utilizados en diferentes programas de aplicación. Son semejantes a instrucciones, pueden ser llamados por los módulos de ejecución, procedimiento y función.(F000 a F111)

La figura 5.1 se observa el software Mastertool para la realización de la programación del PLC. En la parte superior de la figura se observa las herramientas para:

- a. abrir nuevos proyectos o módulos de configuración, de ejecución de procedimiento o función..
- b. monitoreo de los estados de los contactos.
- c. cambiar el estado del PLC a modo de ejecución, modo de programación o modo ciclado.
- d. realizar referencias cruzadas de cierta variable, permitiendo desglosar todas las ubicaciones de una variable utilizada en el programa.
- e. opciones para colocar un nombre o descripción de variables y notas a cada una de las variables de memoria, auxiliares, entrada, salida y de datos.
- f. añadir los canales de funciones o procedimientos nombrados como se muestra en la figura 5.1 como EBA y 3P1, contactos, contadores, temporizadores, operaciones aritméticas entre otros.

En la parte central de la figura 5.1 se puede observar dos lógicas programadas para petición de abrir la compuerta P1 de la toma de Pejibaye y la petición de apertura a través de la botonera de Tapantí.

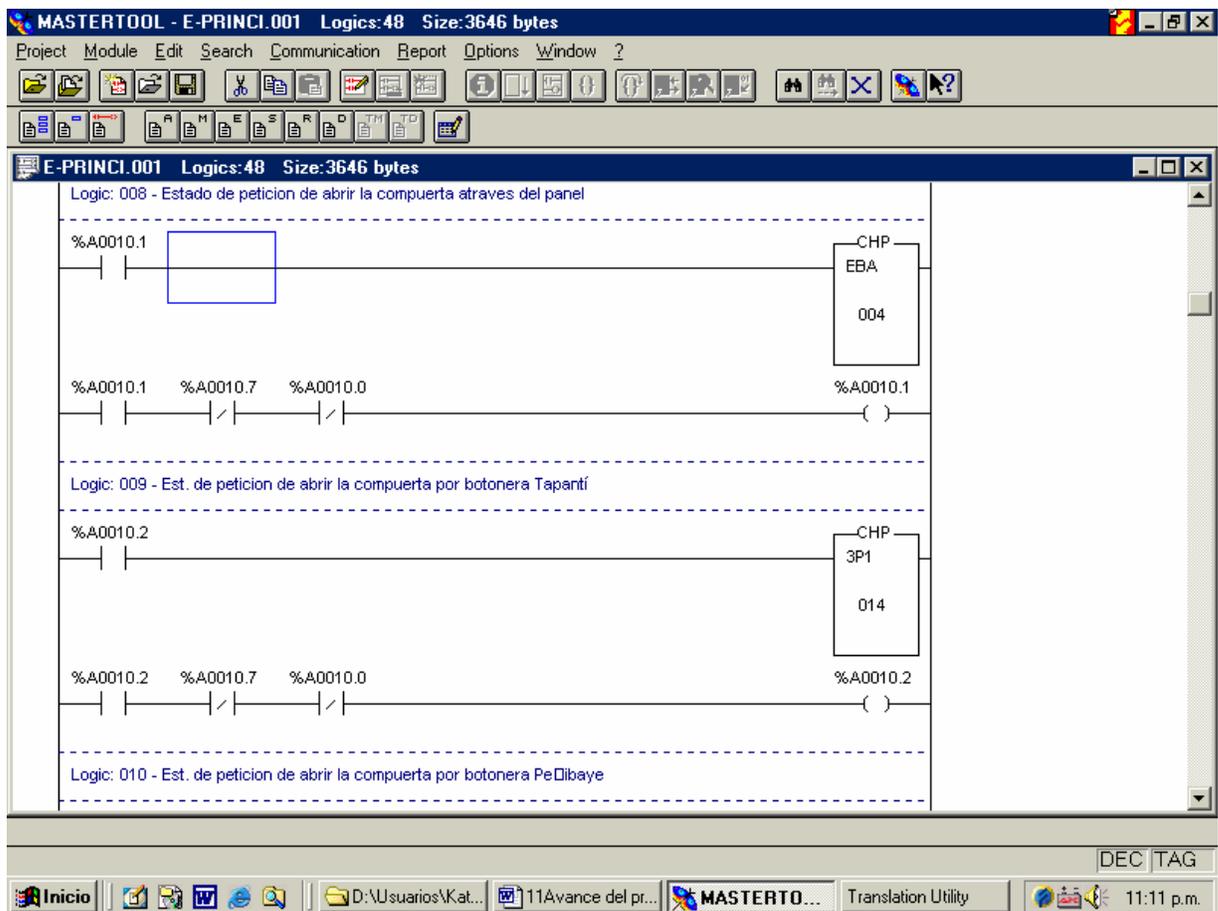


Figura 5.1 Software Mastertool para la programación del QK801

Elementos para la programación del módulo

El módulo del programa está compuesto de 3 elementos:

- a. Lógicas
- b. Operandos
- c. Instrucciones

Un módulo del programa está dividido en lógicas de programación. El formato de una lógica del programa utilizado para las UCP de la serie QUARK permite atar 8 elementos en serie y atar 4 caminos en paralelo.

Los Operandos están definidos en tres tipos:

Operandos simples: Son operandos retentivos, así que sus valores se preservan cuando la UCP es desenergizada.

Operandos constantes: Su valor permanece fijo durante toda la ejecución del programa

Operandos de tabla: Todos los operandos de tabla son retentivos.

Todos los operandos son declarados dentro del módulo C. El número de operandos declarado depende del modelo del PLC y de la memoria disponible.

5.2 El Software UniOP Designer del panel digital 5.0 de programación de la Pantalla Digital

El UniOP Designer es el software en ambiente windows, utilizado para la programación y diseño de las pantallas dentro del panel HMI. La figura 5.2 muestra una de las pantallas diseñadas utilizando el UniOP Designer.

El diseño de páginas involucra, la selección de botones específicos referenciados a la variable del controlador o como llaves del panel. Entre los tipos de celdas táctiles(touchcells) se encuentran: “touchcell” como un carácter ASCII, “touchcell” como una llave del panel, “touchcell” como un “pushbutton”.(Ver apéndice A.9 acerca del manual de usuario y de programación del panel digital)

El panel ofrece la posibilidad de programarle hasta ocho diferentes “passwords” con funciones que abarcan:

- a. posibilidad de configuración del panel
- b. cambio de páginas
- c. impresión de reportes
- d. activación de alarmas
- e. introducción de datos en variables definidas como claves de acceso
- f. configuración de la fecha y la hora
- g. entre otros



Figura 5.2 Software Designer 5.0 para programar el panel digital ECT-16

Se pueden introducir gráficos “bitmap”, gráficos dinámicos, espacios de mensajes, gráficos de barras, campos numéricos y además posee cuatro áreas de datos reservadas :

- a. área del estatus del panel
- b. área actualizada para el PLC
- c. área de teclado
- d. área de alarmas

Capítulo 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 Explicación del diseño

El diseño del control de las dos compuertas ubicadas en Pejibaye, las tres compuertas ubicadas en Tapantí y las bombas de drenaje de la toma de Pejibaye consta de 6 diagramas asincrónicos de estados para cada uno.

Se utilizó el diseño asincrónico de estados, porque presenta:

- a. más versatilidad y flexibilidad al programador
- b. facilidad de localización de fallas,
- c. facilidad para realizar modificaciones al diseño y a la programación
- d. y su objetivo principal es permitir al programador concentrarse en el diseño del sistema de control, en lugar de la programación del mismo.

En apéndice A.4 se presenta el diagrama de estados modernizado de las compuertas. Las tablas de asignación de variables y de estados involucradas en el control se encuentran en el apéndice A.3.

Se detallan a continuación cada uno de los diseños para las compuertas.

6.1.1 Diagrama asincrónico de estados de la compuerta P1

La compuerta de conducción de Pejibaye (P1) ,permite la conducción del agua através del túnel.

El diagrama de estados de la compuerta P1 se observa en la figura A.4.1, y de la tabla A.3.1 a la tabla A.3.7. La figura A.4.1 cuenta con 18 estados, de los cuales seis pertenecen a la apertura y seis al cierre de la compuerta, un estado de inicio y 5 estados de bloqueo en caso de fallas o paradas. Los seis estados de apertura se nombran de la siguiente manera:

- a. Est bit-abrirPaP1

- b. Est bit abrirTapaP1
- c. Est bit-abrirPejiP1
- d. Est PreaperturaP1
- e. Est TimerAbrirP1ON

Los seis estados de cierre son:

- a. Est bitCerrarPaP1
- b. Est bitCerrarTapaP1
- c. Est bitCerrarPejiP1
- d. Est PredescensoP1
- e. Est TimerCerrarP1ON

Los estados de bloqueo de compuerta son:

- a. Estado de bloqueo por falla
- b. Estado de bloqueo por contactor
- c. Estado de paro de emergencia dado de Pejibaye o de Tapantí
- d. Estado de bloqueo por temporizador

Cada uno de los estados de esta compuerta se describen a continuación.

El estado de inicio, monitorea la petición de apertura o cierre de la compuerta desde el Panel digital , desde las botoneras de Tapantí o de Pejibaye. Al ingresar la apertura o cierre de la compuerta, el control tiene la opción de 6 estados adicionales que permiten la carga de un bit indicando si la petición es de abrir o cerrar desde el panel, desde Pejibaye o local en Tapantí.

Para la compuerta P1 estos estados son los siguientes:

Est bit-AbrirPaP1: indica solicitud de apertura a través del Panel digital de la compuerta P1. En este estado, ya se ha verificado si la compuerta se encuentra bloqueada mediante el

bit-BloqueoP1 con valor de 0, indicando que la compuerta puede ser maniobrada desde panel en Tapantí.

Est bit-AbrirTapaP1: solicitud de apertura desde la botonera Tapantí(control de respaldo en caso de falla del Panel digital) de la compuerta P1. Aquí, se ha verificado que el panel no trabaja apropiadamente o no hay comunicación mediante el bit Panel ok, con valor de 0.

Est bit-AbrirPejiP1: solicitud de apertura desde la botonera de Pejibaye. Este estado es válido cuando la compuerta ha sido bloqueada mediante la clave de bloqueo o que el panel no trabaje apropiadamente para permitir la petición de abrir desde la toma de Pejibaye.

Est bit-CerrarPaP1: solicitud de cierre a través del panel digital. Una vez revizado que no haya bloqueo de la compuerta.

Est bit-CerrarTapaP1: solicitud de cierre desde la botonera de Tapantí (control de respaldo en caso de daño del panel digital). Previamente se ha verificado que el panel no se encuentre trabajando apropiadamente.

Est bit-CerrarPejiP1: indica solicitud de cierre desde la botonera de Pejibaye.

Los tres primeros estados llevan al estado de PreaperturaP1, donde se reviza las condiciones como:

- a. ausencia de fase
- b. cable flojo
- c. sobrecarga
- d. el relé térmico de protección
- e. final de carrera superior.

Los otros tres estados llevan al estado de Predescenso revizando las condiciones antes descritas junto con el final de carrera inferior.

Cuando las condiciones se cumplen para el descenso o la apertura de la compuerta, se procede en el estado siguiente de **TimerAbrirP1 On** o **TimerCerrarP1 On**, de inicializar el

temporizador en cero, para realizar en el estado siguiente la cuenta de tiempo de abrir o cerrar la compuerta.

El estado de Apertura o Descenso de la compuerta permite sensar si se cumplen las condiciones para abrir, cerrar y así activar el contactor C1 del motor de apertura o el contactor C2 del motor de descenso hasta que la compuerta llegue al final de carrera inferior o superior. Además, dependiendo de la solicitud de usuario de abrir o cerrar compuerta desde el panel o Tapantí o Pejibaye, se verifica constantemente:

- a. el bloqueo de la compuerta
- b. comunicación con el panel (no hay comunicación con el PLC)
- c. el monitoreo del tiempo (definido por el configurador de tiempo máximo) de abrir o cerrar la compuerta.
- d. solicitud de usuario de detener la compuerta.

Cuando se excede el tiempo máximo la compuerta entra en el estado de bloqueo por temporizador, indicando que hay una falla en la compuerta o posiblemente podría estar obstaculizada con algún material.

El control de la compuerta puede estar bloqueada por falla cuando:

- a. se detecta ausencia de fase
- b. se dispara el relé térmico
- c. se detecta cable flojo
- d. hay sobrecarga en el cable

El estado de emergencia puede ser alcanzado al activarse la entrada de paro por emergencia externo y se obtiene el bloqueo de la compuerta, hasta que se le ingrese la llave reset respectiva.

Diagrama de conexión de compuerta P1

El diagrama de conexión de compuerta P1 se muestra en apéndice A.7 y la simbología de las regletas o paneles de control se encuentran en la tabla A.2. En la figura A.7.1 se puede observar el diagrama de la botonera de control ubicada en Tapantí conectada a su respectivo módulo del PLC. En la figura se observa la descripción de cada una de las botoneras y el panel de control R-LTE al que pertenecen.

En la figura A.7.2 se observa la botonera de control ubicada en Pejibaye. Esta consta de tres botoneras conectadas al módulo 1 QK1130 del PLC y se muestran las conexiones debidas a los paneles R-RPE y R-LTE.

La figura A.7.3 se muestra las conexiones de las dos botoneras de Paro de emergencia y de la llave reset ubicadas en Pejibaye. Estas entradas se encuentran conectadas al módulo 1 QK-1130.

La figura A.7.4, A.7.5 y A.7.6 se muestra las conexiones del sensado de falta de fase, de cable flojo, de sobrecarga, finales de carrera, contactores auxiliares y los relés térmicos de protección al módulo 1 QK-1130 y sus debida conexión a las regletas o paneles de control.

Las salidas se observan en la figura A.7.7 conectadas al módulo QK-1224 y las conexiones de las regletas R-LTS y R-RPS.

6.1.2 Diagrama Asincrónico de estados de la compuerta P2

La compuerta P2 hidráulica de la toma de Pejibaye es la encargada de limpiar y desarenar la toma de agua de residuos o sólidos en la misma (abriendo y cerrando), además de detener el flujo de agua del río y formar el embalse cuando se encuentra cerrada.

La lógica de control de esta compuerta mantiene los mismos estados que la compuerta P1. Observar en apéndice A.4, la figura A.4.2 con los diagramas de estados y las tablas de asignación de variables en apéndice A.3 de la tabla A.3.8 a la tabla A.3.13

En el estado de inicio, la compuerta atiende la solicitud del sistema de recuperación que mantiene el circuito hidráulico actual. El sensado de posicionamiento agregado permite activar una señal llamada Bit posiciónP2. Cuando la compuerta se encuentra al 90%, este bit PosiciónP2 se activa y se procede a la apertura de la misma.

A diferencia de la compuerta P1, esta compuerta posee 7 estados que permiten distinguir entre cada una de las solicitudes de abrir, cerrar, recuperar la compuerta desde el panel, Tapantí o sólo del Pejibaye.

El estado de preapertura y predescenso de la compuerta P2 permite comprobar que se cumplan las condiciones para alcanzar los siguientes estados como:

- a. Presión normal en el tanque hidráulico
- b. Final del curso de recuperación
- c. Final del curso superior e inferior
- d. Relé térmico de protección ICO.

Al dispararse el relé térmico, el sistema entra un estado de bloqueo por falla.

El estado de apertura y descenso de la compuerta P2 al igual que la compuerta P1, se revisan constantemente las siguientes variables:

- a. bloqueo de la compuerta
- b. comunicación del panel y PLC

- c. petición de usuario de parada de la compuerta
- d. sobrepaso del tiempo máximo de apertura y descenso de la compuerta.
- e. paro de emergencia introducido externamente por el operario en caso de emergencia.
- f. posición de la compuerta:
 - Para un 85% de apertura(cuando se encuentra detenida la compuerta), después de excedido el tiempo de recuperación definido, el control activa el estado de alarma, bloqueando la compuerta para darle mantenimiento, hasta haber pulsado la llave reset.
 - Al 100% de apertura activa el Final de carrera superior y finaliza la recuperación de la compuerta.

Además se realiza el sensado descrito en los estados de preapertura y predescenso.

Para el estado de apertura se activan las tres válvulas nombradas como 38, 4, 92 y en el descenso las cuatro válvulas 34.5, 4, 92, 91.

En caso de excederse el tiempo máximo de la compuerta al abrir o cerrar, se genera el bloqueo por temporizador, hasta que el usuario le introduzca la llave reset externa correspondiente(pulsador externo), para desbloquear hacia el estado de inicio.

Para la seguridad operativa de las compuertas se cuenta con los estados de bloqueo por falla, bloqueo por temporizador y el estado paro de emergencia, al detectarse una falla o anomalía del sistema.

Diagrama de conexión de compuerta P2

La figura A.7.8 a la figura A.7.15 se observan los diagramas de conexión de la compuerta P2. La figura A.7.8 y la A.7.9 se encuentran las botoneras de control de compuerta ubicadas en Tapantí y en Pejibaye respectivamente, se conectan dichas botoneras a los módulos 1 y 2

QK-1130 de entradas al PLC. Se describe la función de cada botonera y la ubicación exacta en el módulo y las regletas respectivas.

La figura A.7.10 muestra las entradas de paro de emergencia y llave reset ubicada en Tapantí. Se detallan cada una de las entradas conectadas al módulo 2 QK-1130 y las regletas R-RPE y R-LTE.

Las figuras A.7.11 a la A.7.13, se observa el sensado de compuerta como los finales de carrera, contactores auxiliares, relé térmico, sobre carga, recuperación de la compuerta entre otros. Cada uno de los cuales se detalla la conexión al módulo y las regletas.

Las figuras A.7.14 y A.7.15 muestran las salidas hacia las válvulas, para la apertura y cierre de la compuerta, las conexiones al módulo 1 QK-1224.

6.1.3 Diagrama asincrónico del control de las motobombas de drenaje de Pejibaye

Las motobombas de drenaje son las encargadas de desaguar la galería. Al sensar un nivel máximo de agua se procede al accionamiento de las bombas hasta que se detecte el nivel mínimo.

Para entender el control de las motobombas ver el diagrama de estados en las figura A.4.6 y la descripción de las variables y estados presentes en las tablas A.3.22 a la A.3.25 en el apéndice.

En la figura A.4.6 cuenta con once estados siguientes:

- a. Control motobombas 1 y 2
- b. Estado timer drenaje galería Peji
- c. Estado pre-encender B1
- d. Estado pre-encender B2
- e. Estado timer trabajo de bomba Peji B1
- f. Estado timer trabajo de bomba Peji B2
- g. Estado encendido B1
- h. Estado encendido B2
- i. Estado encender B1 y B2
- j. Estado de falla por contactor

Las motobombas pueden operar en modo manual y modo automático. La alternancia de bombas en el arranque depende de la disponibilidad de las mismas ya que en caso de falla o mantenimiento de una, sólo una bomba será la encargada de desaguar.

Dentro del modo automático, el sistema monitorea en todo momento el nivel de agua y enciende las motobombas cuando el nivel máximo de agua se encuentra en la galería, hasta detectarse el nivel mínimo.

Cada vez que una motobomba se enciende, se inicializa el tiempo de trabajo, hasta alcanzar el máximo definido por el encargado de configuración de tiempos de encendido de bombas. Cuando la bomba alcanza el tiempo de trabajo y no se ha alcanzado el nivel mínimo, se apaga y se enciende la otra bomba hasta alcanzar el nivel mínimo de agua. Un segundo tiempo programado interfiere en el control e indica la activación de ambas bombas al no alcanzar el nivel mínimo de agua en este tiempo definido.

En modo manual, operado localmente en Pejibaye (aquí se ubica esta opción para el visitante de la zona) tiene la opción de encender y apagar las bombas en forma manual.

El sistema de control manual de bombas tiene el respaldo de vigilar el nivel de agua y recurrir al apagado de bombas en forma automática, para evitar que las bombas trabajen al vacío. De esta manera permite hacer el control más inteligente.

En el control manual, el usuario puede encender y apagar bombas mientras se encuentren disponibles.

Diagrama de conexión de motobombas de drenaje

Las figuras A.7.28 a la figura A.7.32 se encuentran los diagramas de conexión a los módulos de entradas y salidas del PLC, las conexiones a las regletas o paneles de control. Una descripción detallada de cada conexión.

Las figuras A.7.28 y A.7.29 muestran los selectores de encendido de bombas y la disponibilidad de bombas. La figura A.7.30 y A.7.31 se observan el sensado de nivel de agua, los relés de protección y los contactores auxiliares de las bombas.

La figura A.7.32 muestra las salidas a los contactores para el encendido de las bombas 1 y 2.

6.1.4 Diagrama asincrónico de la compuerta T1 y T2 de Tapantí

La compuerta T1 tiene dos funciones:

- a. Detener el agua a través de las parrillas,
- b. Desviar el río del cauce

La compuerta T2 tiene la función de desarenador, donde se depositan piedras y cualquier otro tipo de turbulencia antes de llegar a la compuerta T3 de conducción.

El diagrama asincrónico por estados de la compuerta se encuentra en apéndice en las figuras A.4.3 para T1 y la figura A.4.4 para T2 y la asignación de variables y de los estados se encuentran en las tablas A.3.10 a la tabla A.3.13, para la compuerta T1 y de la tabla A.3.14 a la tabla A.3.17, para la compuerta T2.

En las A.4.3 y A.4.4 presentan los siguientes estados:

- a. Comando de compuerta T1 o T2
- b. Est bit AbrirPaT1 o T2
- c. Est bit AbrirTapaT1 o T2
- d. Estado bitCerrar PaT1 o T2
- e. Estado bit CerrarTapaT1 o T2
- f. Estado timer Abrir On T1 o T2
- g. Estado timer Cerrar On T1 o T2
- h. Estado Apertura T1 A o T2 B
- i. Estado Apertura T1 B o T2 B

Los estados de bloqueo de compuerta son:

- e. Estado de bloqueo por falla
- f. Estado de bloqueo por contactor

- g. Estado de paro de emergencia dado de Tapantí
- h. Estado de bloqueo por temporizador

A continuación, se describe cada uno de los estados antes mencionados.

El diseño del control para ambas compuertas, cuenta con el estado de inicio (Comando de la compuerta T1 o T2), revizando las entradas de abrir y cerrar del panel o abrir y cerrar de los pulsadores de respaldo en caso de falla del panel. Cada una de las entradas anteriores son representadas por los siguientes cuatro estados :

Est Bit-AbrirPaT1: Este estado indica al control que la solicitud se realizó mediante el acceso a la opción del panel de abrir la compuerta T1 y compuerta no bloqueada por operador.

Est BitAbrirTapaT1: Señala al programa la solicitud hecha mediante la botonera de respaldo ubicada en Tapantí para abrir, verificando que se cumpla la condición de panel dañado con Bit panel ok en valor de 0.

Est BitCerrarPaT1: Mediante este estado la secuencia permite el descenso de la compuerta ingresado mediante mando de panel, verificando el Bit de bloqueo con valor de 0 , indicando que la compuerta se encuentra libre de bloqueos.

Est BitCerrarTapaT1: Solicitud de cerrar la compuerta desde la botonera de respaldo en Tapantí. Igual al estado de abrir la compuerta, se debe verificar, la existencia de daño o falta de comunicación con el panel para asistir a la solicitud.

Seguido de los estados anteriormente descritos, la secuencia de control reviza las condiciones para la apertura y cierre de la compuerta en los estados de preapertura y predescenso como lo son:

- a. Entrada de Presión Máxima como indicador de Final de carrera superior.
- b. Entrada de Presión Mínima como indicador de Final de carrera inferior.

Los estados de TimerAbrir On T1 y TimerCerrarOn T1 inicializan la cuenta de los temporizadores para el monitoreo del tiempo de apertura y cierre de la compuerta y verifican la disponibilidad de bombas A y B, para poder accionar el contactor correspondiente dentro

de los estados de apertura y cierre. Dentro de este estado se monitorea el relé térmico de protección.

Hay dos estados encargados de la apertura y dos estados para el cierre de la compuerta.

Los dos estados de apertura llamados Est AperturaT1A y EstAperturaT1 B tienen la diferencia de accionar las bombas A y B, respectivamente y activar las válvulas de subir, realizando ambos exactamente el mismo monitoreo descrito estados anteriormente. Se agregó la entrada de parada desde el panel o desde Tapantí, dependiendo de la petición original de abrir desde el panel o desde Tapantí. De igual manera se conserva la misma lógica de control para el cierre de la compuerta activando las válvulas bajar.

Se conservan los estados de paro por emergencia , bloqueo por temporizador y bloqueo por falla conservando la definición descrita en el control de las compuertas P1 y P2.

Diagrama de conexión de compuerta T1

El diagrama de conexión de la compuerta T1 se encuentra en la figura A.7.16 a la figura A.7.20. En cada una de estas figuras se detallan cada una de las variables de entrada y salida al módulo y las regletas o paneles de control.

La figura A.7.16 se muestra el diagrama de las botoneras de control de la compuerta T1 ubicada en Tapantí. La figura A.7.17 se observa el selector de bomba disponible entre: Ent bomba A disponible, Ent bomba B disponible o Ent bomba A y B disponible conectadas al módulo 2 QK-1130.

La figura A.7.18 y A.7.19 muestra el sensado de la compuerta como: relés térmicos de protección, presión máxima y mínima, contactores auxiliares de los contactores de las bombas A y B.

La figura A.7.20 muestra las conexiones de salidas a los contactores de las bombas y de las válvulas subir o bajar de la compuerta T1 conectadas al módulo 1 QK-1224.

Diagrama de conexión de compuerta T2

El diagrama de conexión de la compuerta T2 se muestra en las figuras A.7.21 a la figura A.7.23. Estas figuras presentan todas las conexiones a los módulos de entrada y salida y las regletas respectivas en Tapantí.

La figura A.7.21 muestra la botonera de control de compuerta ubicada en Tapantí. La figura A.7.22 se observa el sensado de los finales de carrera de la compuerta mediante presión máxima o mínima. La figura A.7.23 muestra las salidas a las válvulas subir y bajar para la apertura y cierre de compuerta.

6.1.5 Diagrama asincrónico de estados de la compuerta hidráulica T3

La compuerta T3 es la encargada de la conducción del agua através del túnel.

El control diseñado para esta compuerta se encuentran en las figuras A.4.5 y la asignación de variables y de estados en las tablas A3.18 a la tabla A.3.21.

En la figura A.4.5 cuenta con los siguientes estados de la compuerta:

- a. Comando compuerta T3
- b. Estado bit abrirPa T3
- c. Estado bit abrir TapaT3
- d. Estado bit posiciónT3
- e. Estado bit Rs T3
- f. Estado pre apertura T3
- g. Estado bit cerrarPaT3
- h. Estado bit cerrarTapaT3
- i. Estado predescenso T3
- j. Estado timer abrir On T3
- k. Estado timer cerrar On T3
- l. Estado apertura T3 A
- m. Estado apertura T3 B
- n. Estado descenso T3

Los estados de bloqueo de compuerta son:

- a. Estado de bloqueo por falla
- b. Estado de bloqueo por contactor
- c. Estado de paro de emergencia

d. Estado de bloqueo por temporizador

El estado bit posición de esta compuerta cuenta con sensado de posicionamiento, que permitirá restablecer el porcentaje de apertura en caso de pérdida de altura utilizando el sistema de recuperación que tiene actualmente. El estado bit Rs es activado mediante la señal conservada del sistema original de control llamada Rs.

El control de esta compuerta se rige bajo el mismo orden de la compuerta P2 hidráulica del Pejibaye. En el sensado de apertura se encuentra:

- a. Final del curso superior (FCS)
- b. Relé térmico de protección para los contactores CD1 y CD2 para ambos motores de la compuerta.
- c. Comunicación entre el panel y PLC
- d. Bloqueo de la compuerta dado por Bit bloqueoT3
- e. Entrada del usuario de paro por emergencia de la botonera de respaldo.
- f. Tiempo de apertura de la compuerta

En el sensado de posicionamiento para:

- 100% de apertura total de la compuerta, se activa el final del curso de recuperación o FCS
- 85% se activa el estado de alarma, si se ha vencido el tiempo de recuperación de la compuerta.

La válvula nombrada como VSP es activada cuando se da la señal de Booster operando del sistema original.

En el estado de descenso se encuentra el sensado de:

- a. Final de curso de descenso (FCD)
- b. Comunicación con el panel

- c. El bloqueo de la compuerta T3
- d. Entrada de usuario de parada de emergencia
- e. Petición de usuario de parada de la compuerta por panel o botonera.
- f. Monitoreo del tiempo de descenso de la compuerta

Diagrama de conexión de compuerta T3

El diagrama de conexión de la compuerta T3 se puede observar en las figuras A.7.24 a la figura A.7.27, ubicadas en apéndice A.7. Como en los diagramas de conexión de todas las compuertas anteriores, se describe cada entrada y salida, al módulo y regleta que corresponden.

La figura A.7.24 muestra la botonera de control de la compuerta T3 ubicada en Tapantí. La figura A.7.25 y A.7.26 se observa las señales de sensado como: relés térmicos de protección, los finales de carrera y los contactores auxiliares de los dos motores de dicha compuerta.

La figura A.7.27 muestra las salidas a los contactores de los motores y a las válvulas de apertura y cierre de compuerta.

6.1.6 Desarrollo de la programación del control por estados en el PLC

La programación del control por estados se realizó en forma modular utilizando tres archivos de ejecución. El primer archivo nombrado como E- PRINCI.001, se programó el control de las compuertas de Pejibaye P1 y P2 . El segundo llamado E-CTAPA.002 se realizó la programación de las compuertas de la toma de Tapantí y el tercer ejecutable E-MTBOMB.003 se le asignó el control de las motobombas de drenaje de la galería de la toma de Pejibaye.

Se utilizaron los módulos de función para la comunicación del panel y el PLC . Para la lectura analógica del posicionamiento de la compuertas se utilizó el módulo llamado ALNET.062 y POS-P2.001 respectivamente.

Existe un primer módulo de configuración , en él se asignan los módulos externos al bus de datos y se configura el tipo de PLC , los puertos a utilizar y el máximo tiempo de escaneo del programa en modo de ejecución. Un segundo módulo de inicialización es de vital importancia ya que permite inicializar cada uno de los controles de compuertas y motobombas en el estado de inicio, y es llamado C-PRINCI.000.

Los tres módulos de ejecución descritos anteriormente se componen de módulos de procedimiento o subrutinas asignadas a cada uno de los estados de control de compuertas y motobombas, permitiendo orden en la programación y la elaboración modular del control.

El desarrollo por módulos de procedimiento permite que el PLC ejecute o revise únicamente el estado activo de cada control de compuertas o motobombas. De esta manera el tiempo de escaneo se realiza en forma más rápida.

Entre los módulos de procedimientos general para las compuertas y motobombas están:

BLOQ.001: Genera los bit de bloqueo para cada compuerta, así se bloquea o desbloquea desde panel mediante una clave introducida por el operario autorizado.

PANEL.002: Mediante éste módulo es posible controlar si el panel se encuentra en comunicación con el PLC.

SENSA.012: Encargado del sensado de las variables. Cada variable de entrada al PLC es enviada a través del puerto del PLC al panel digital, y desplegada en éste último al operario.

ALARMA.013: Este módulo se encarga de activar y desactivar alarmas en el panel, al detectar alguna falla, inmediatamente se genera la alarma por falla.

En el momento de abrir o cerrar compuertas, se detecta la falla de un contactor se alerta y se activa la alarma Falla por contactor. Al vencerse el tiempo de apertura, de recuperación o cierre de la compuerta, programado se genera la alarma Compuerta Detenida por Temporizador

CONVER.077: Este módulo es el encargado de leer tiempos de configuración de entrada al panel y convertirlos a décimas de segundo para ser utilizados en los temporizadores en la apertura , recuperación y cierre de las compuerta o trabajo de las motobombas.

La programación de cada uno de los módulos anteriores se encuentra en el apéndice A.8.



Figura 6.1 Pantalla de mando de la compuerta de conducción de la toma de Tapantí

Para cada una de las compuertas se puede visualizar el estado del sensado como:

- g. Final de Carrera Superior Activada/Desactivada
- h. Final de Carrera Inferior Activada/Desactivada
- i. Relé térmico de protección normal / Activado
- j. Sensado de Fase normal / Anormal
- k. Cable flojo normal / Anormal
- l. Sobrecarga normal / Anormal
- m. Final del curso de recuperación Activada/ Desactivada
- n. Presión en el tanque normal/ Anormal

Cada mensaje anterior se encuentra asociado a un número definido por los estados de los diagramas asincrónicos de las compuertas dentro de la variable y dependiendo del valor , es desplegado cierto mensaje programado. En la figura 6.1.2 se muestra una pantalla de sensado de las bombas de la compuerta T1 y T2, con los mensajes y leds indicadores de estados ON /OFF. Al final en apéndice A.9 se pueden encontrar todas las tablas de variables utilizadas en la programación del panel para cada compuerta y motobomba.



Figura 6.2 Pantalla de sensado de bombas de las compuertas T1 y T2 de la toma de Tapantí

6.1.7.2 Configuración de tiempos

La opción de configuración de tiempos es permitida al operador cuando que se haya introducido el password, luego se permite la nueva introducción de tiempos en minutos.

El operario mediante esta opción, puede configurar el tiempo de apertura y cierre máximos para cada compuerta, ver en la figura 6.3 la configuración de tiempo para la compuerta T1. Así determinar si existe alguna falla en la compuerta o deterioro cuando se alcanza el tiempo máximo de apertura o cierre. Las compuertas hidráulicas manejan el tiempo de recuperación para alcanzar el 100% de apertura o indicar falla en la misma cuando se vence este tiempo.



Figura 6.3 Pantalla de configuración de tiempo de apertura y descenso de la compuerta T1 de la toma de Tapantí

El tiempo de trabajo de las motobombas puede ser configurado mediante la pantalla de la figura 6.4, asegurando una alternancia equitativa en tiempo, cuando se drena agua de la galería.

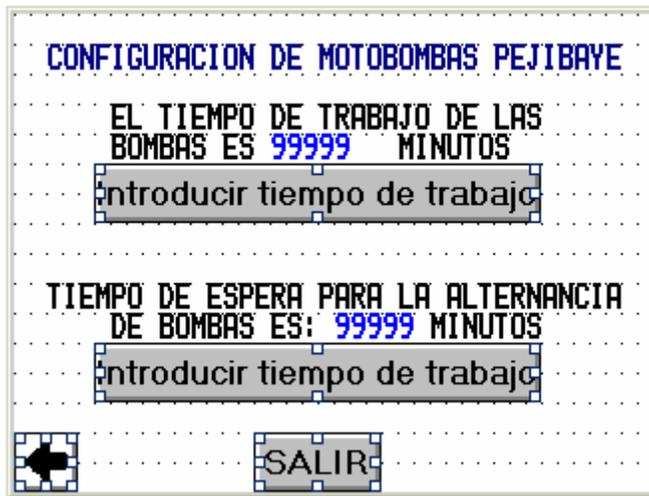


Figura 6.4 Pantalla de configuración de tiempo de trabajo para las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye.

6.1.7.3 Comando de compuertas

Para cada una de las compuertas se diseñó una página en el panel que refleje el estado general de la compuerta, la visualización numérica y gráfica en porcentaje de apertura en las compuertas hidráulicas. Observar el gráfico de barras de la figura 6.5 y el campo numérico para representar el porcentaje de apertura de la compuerta T3 hidráulica de la toma de Tapantí.

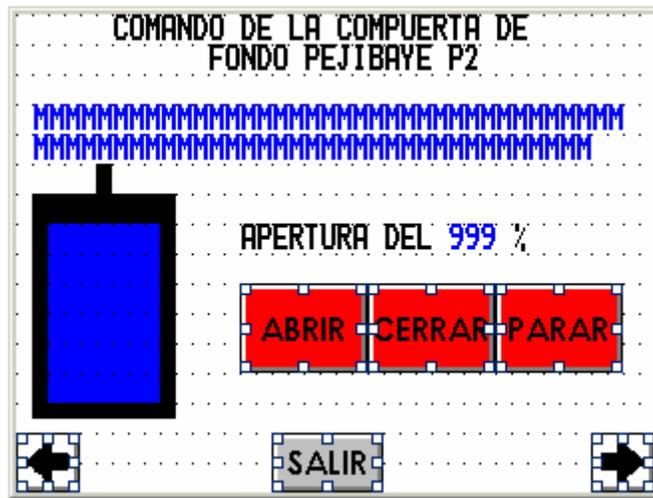


Figura 6.5 Pantalla de mando de compuerta P2 de conducción de la toma de Pejibaye

Cuando la compuerta P2 se encuentra detenida los botones de abrir, cerrar se visualizan en color rojo (STOP), y cuando se encuentra parada la compuerta el botón de parar se visualiza en color verde.

Cuando se selecciona la opción de abrir o cerrar una de las compuertas el botón cambia a color verde (RUN) y la opción de parar a rojo.

El mando de las compuertas puede ser manipulado por la persona que se encuentre autorizada mediante password de la maniobra de abrir y cerrar compuertas.

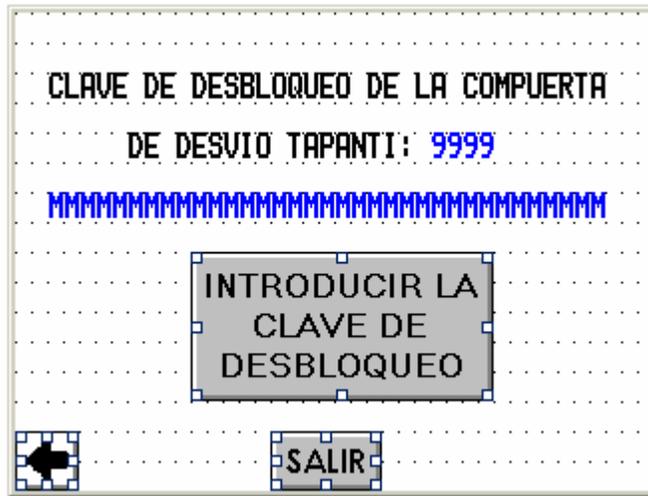


Figura 6.7 Pantalla de desbloqueo de compuerta de desvío de la toma de Tapantí

El bloqueo y desbloqueo no debe ser permitido a cualquier persona, por lo que se restringe su manipulación a las personas autorizadas por password.

6.1.7.5 Obtención de entradas y salidas en la comunicación panel vrs PLC

Bit de bloqueo

Para obtener al bit de bloqueo se necesita de la siguiente secuencia:

- k. Leer las salidas del panel en el PLC (clave de bloqueo y clave de desbloqueo) con la función ALNET1
- l. Verificar que variable auxiliar de bloqueo sea igual a 0
- m. Si variable auxiliar de bloqueo es igual a 0 y variable clave de bloqueo es mayor que 0, entonces almacenar la variable clave de bloqueo, en la variable auxiliar clave de bloqueo y se activa el bit Bloqueo en valor de 1.
- n. Limpiar el valor de la variable clave de bloqueo.
- o. Revisar la variable clave de desbloqueo que sea mayor que 0 y almacenarla en la variable auxiliar clave de desbloqueo.

- p. Limpiar la variable clave de desbloqueo.
- q. Comparar la variable auxiliar de bloqueo con la de desbloqueo, en caso de ser iguales bit Bloqueo se coloca con valor 0 y se limpian ambas variables auxiliares.
- r. Escribir en la función ALNET las entradas al panel de clave de bloqueo y desbloqueo con valor de 0.

La subrutina del bit de bloqueo se puede apreciar en el apéndice A.8 , nombrado como BLOQ.001

Bit Panel ok

El Bit Panel ok se obtiene de la siguiente manera (Ver en apéndice A.8 el listado del programa el módulo llamado PANEL.002):

Se tiene asignada la variable de memoria %M0080 como la variable indicadora del estatus del panel(asignada y programa en el panel como status word panel), donde el bit S0 con valor de 1 indica correcta comunicación con el panel.

Se tiene un contador de 0 hasta 20 décimas de segundo, contando indefinidamente.

Cuando el contador tiene valor de 0 a la variable %M0080 se le asigna un 0 y para un valor superior a los 10 se despliega el valor de %M0080.0 como bit de panel ok.

La décima de segundo se justifica como el tiempo que necesita el panel para restablecer el estado del panel. De esta manera si el cable de comunicación falla o el panel se daña, el PLC en 10 décimas de segundo detectaría mediante el bit panel ok en valor de 0, el fallo en la comunicación panel vrs PLC.

En el listado del programa se utiliza la variable auxiliar A24.0 con valor de 1 como panel digital correcto y con valor de 0, error en la comunicación.

Conversión de valores de tiempo

Los tiempos de apertura, descenso y de trabajo de las bombas se leen del panel y se realiza una conversión de minutos a décimas de segundo para utilizarse en temporizadores. Estos

tiempos son los máximos necesarios y son definidos por el programador del sistema, para alcanzar los estados solicitados de apertura o cierre de compuerta.

La conversión de tiempos se realiza en la subrutina llamada CONVER.077 del listado del programa en apéndice A.8

Variables de sensado

Las variables de sensado de compuertas son salidas del PLC hacia el panel, son desplegadas en este al asociar el valor de la variable de salida a diferentes mensajes, y en el caso de bit el valor de 1 o 0 se asocia a un mensaje (activo o desactivado, normal o anormal), o en un led indicador de ON/ OFF. El color rojo indica variable con valor de 0 o desactivado y viceversa para el led en color verde.

El sensado de variables se encuentra en la subrutina nombrada SENSA.012 en el apéndice A.8.

6.2 Alcances y limitaciones

Entre los alcances están:

- a. Diseño del control de las compuertas P1 y P2 de la toma de Pejibaye y el control manual /automático de las bombas de drenaje
- b. Diseño del control de las compuertas T1, T2 y T3 de la toma de Tapantí
- c. Programación del PLC con los diagramas asincrónicos de estados de todas las compuertas y motobombas y la comunicación con el panel.
- d. Programación del panel, con la función de mandos, de reconfiguración, de sensado, alarmas, junto con niveles de seguridad y de la introducción de claves para el bloqueo o desbloqueo de cada una de las compuertas.

Las limitaciones del proyecto son:

- a. El desarrollo y diseño del proyecto se basó en documentación de planos de la Toma de Pejibaye y Tapantí.
- b. Con un mayor trabajo de campo, se puede discernir mejor el control.
- c. No se realizaron las visitas a ambos sitios por problemas fuera de nuestro control.

Capítulo 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- a. La programación del control de cada compuertas y motobombas en el PLC, puede ser maniobrado en forma simultánea.
- b. El control de respaldo se habilita únicamente en caso de falla o desconexión del panel.
- c. El bit de bloqueo para cada compuerta es el indicador de compuerta bloqueada o no.
- d. La reconfiguración de tiempos se introduce en minutos mediante el panel digital.
- e. El estado actual de las compuertas y motobombas se visualiza en las pantallas del panel mediante mensajes cortos al operario.
- f. El sensado de cada compuerta se visualiza en el panel de operador mediante mensajes cortos y la activación de un led de rojo a verde(RUN).
- g. La introducción de claves de acceso para bloqueo y desbloqueo de compuertas está restringido sólo para personal autorizado, mediante passwords de seguridad.
- h. Los passwords de seguridad para acceder el control a través del panel es de 4 dígitos enteros.
- i. Los passwords de seguridad cuentan hasta con 8 niveles de funciones para la mejor seguridad del sistema.
- j. Las claves para bloqueo y desbloqueo de compuertas se conforma de 4 dígitos enteros.
- k. Los estados de bloqueo de compuerta son transmitidos al operador a través del panel en forma inmediata mediante una pantalla de alarmas.
- l. La pantalla de alarmas cuenta con botones rápidos de desplazamiento hacia la pantalla de la compuerta que presenta la alarma.
- m. El sistema cuenta con almacenamiento de eventos de alarmas activados y desactivados y la fecha correspondiente.

- n. El sistema cuenta con parada de emergencia en Pejibaye y en Tapantí, esto permite la parada de compuertas en forma inmediata.
- o. En parada de emergencia es posible maniobrar seguidamente una compuerta, en caso de ser extremadamente necesario.
- p. La programación del panel consta de 46 páginas de fácil manejo y con pantallas de ayuda al operario.
- q. La programación se encuentra organizada en tres módulos principales nombrados como: E-PRINCI.001, E-CTAPA.002 Y E-MTBOMB.003.
- r. Cada módulo principal se subdivide en módulos de procedimiento que se asignaron por cada estado de las compuertas o motobombas. Esto permite un mejor orden y corrección en la programación y la detección de fallas del mismo.
- s. En tiempo de ejecución , el módulo que se ejecuta es el correspondiente al estado actual de la compuerta o motobomba.
- t. El sistema general necesita de 3 módulos de entrada QK-1130 con 32 entradas digitales, de 2 módulos de salida QK-1224 con 16 salidas digitales y 1 módulo de entradas QK-1119 con 8 entradas analógicas.

7.2 Recomendaciones

En cuanto a diseño se refiere:

- a. La compuerta P1, por ser de conducción, debería de disponer de sensado de posición.
De esta manera los operarios pueden darse cuenta del estado real de la compuerta.
- b. Agregar al control de las compuertas en Tapantí el sensado de fase.
- c. Agregar a la alimentación de los motores sensado de bajo voltaje.

BIBLIOGRAFIA

1. Altus. MasterTool Programing, Programming Manual. Primera Edición. Editorial Altus São Paulo, Porto Alegre, Brasil, 2000.
2. Altus. MasterTool Programing, User´s Manual. Primera Edición. Editorial Altus São Paulo, Porto Alegre, Brasil, 2000.
3. Altus. QK801 Manual de Utilização. Primera Edición. Editorial Altus São Paulo, Porto Alegre, Brasil, 2000.
4. Exor International.CA125 <<http://www.exor-rd.com/Support/download.asp?file=cables/ca125.zip>>
5. Exor International.<<http://www.exor-rd.com/Support/download.asp?file=cables/ca2.zip>>
6. Exor International.<<http://www.exor-rd.com/Support/SoftwareManual/deswin5.pdf>>
7. Exor International.<<http://www.exor-rd.com/Support/TechNotes/index.asp>>
8. ALTUS.<<http://www.altus.com.br>>

APENDICES Y ANEXOS

Apéndice A.1: Glosario

CP: Controlador programable, con equipo compuesto de una UCP, módulos de entrada y salida y fuente de alimentación.

Control por Estados o lógica de estado: Es una metodología para el control de un sistema, que se basa en la teoría de la Máquina de Estados Finitos . Los lenguajes de la lógica de estado, son lenguajes de muy alto nivel , cuyo poder y flexibilidad se derivan del ajuste fiel entre el problema a resolver y el modelo sobre el cual se basa. Mediante este lenguaje, el desarrollo y modificación del sistema es mucho más fácil y rápida. El programador puede olvidarse de los códigos y concentrarse en la comprensión del sistema de control

Controlador programable: Equipo que realiza el control o comandos de un programa aplicativo escrito en un lenguaje de relés o bloques.

Estado : Describe la condición (Status) o valor de salida o grupo de salidas. Cada estado involucra un conjunto de “tiempos” para los cuales pasa la tarea y cuya duración no es fijada en el modelo.

Estatus: Estado del módulo.

Flash EPROM(Flash Erasable Programmable Read Only Memory): Memoria no volátil y borrrable eléctricamente.

Hardware: Equipo físico usado en el procesamiento de datos donde los programas(software) es usualmente ejecutado.

Lenguaje de relés y bloques: Conjunto de instrucciones y operandos que permiten la edición de una aplicación de programa a ser utilizado en el controlador programable.

Lógica: Matriz gráfica donde están insertadas las instrucciones del diagrama en lenguaje de relé formando el programa de aplicación. Un conjunto de secuencias ordenadas forman un módulo de programa.

MASTERTOOL: Nombre de identificación del programa ALTUS para microcomputador, ejecutable en ambiente WINDOWS, que permite el desenvolvimiento de aplicaciones para las CPs de las series PICCOLO, AI-2000, AL-3000 y QUARK.

Programa: Conjunto de instrucciones básicas debidamente ordenadas y programadas en una determinada máquina para que realice operaciones sobre datos a fin de obtener un resultado.

Protocolo: Reglas de procedimientos o formatos convencionales que, mediante señales de control, permiten el establecimiento de una transmisión de datos y recuperación de errores entre equipos.

QK801: Nombre de identificación de la UCP perteneciente a la serie QUARK de controles programables de ALTUS.

RAM(Random Acces Memory): Memoria donde todos sus espacios pueden ser accedados directamente en forma aleatoria y a la misma velocidad. Es volátil y se borra su contenido al desenergizarse.

Serie: Conjunto de módulos que tengan un mismo código AL,QK; por ejemplo la serie QUARK que tiene los controladores QK800,QK801 etc.

Sistema: conjunto de equipos utilizados para el control de una máquina o proceso, compuesto por la UCP de la CP, módulos de Entrada y Salida, microcomputador e interfaces Hombre/Máquina.

Software: Programas del computador, procedimientos y reglas de operación para el sistema de procesamiento de datos.

Touchcells: Celdas táctiles. Utilizadas en pantallas digitales y asociadas a macros de funciones.

UCP: Unidad Central de Procesamiento o módulo principal de la CP, que realiza el procesamiento de los datos.

Word: Unidad de información conformada por dieciséis bits.

Apéndice A.2: Simbología y Abreviaturas

Se presentan la descripción de la simbología y abreviatura utilizada en el documento.

Tabla A.2 Simbología y abreviaturas de las compuertas y motobombas de la toma de Pejibaye y de la toma de Tapantí

Símbolo o Abreviatura	Descripción	Símbolo o Abreviatura	Descripción
P1	Compuerta Electromecánica de Conducción de la toma de Pejibaye	UCP	Unidad Central Procesamiento
P2	Compuerta de Fondo Hidráulica de la toma de Pejibaye	ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
T1	Compuerta de Desvío de la toma de Tapantí	PLC	Controlador Lógico Programable
T2	Compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí	RAM	Random Acces Memory
T3	Compuerta Hidráulica de Conducción de la toma de Tapantí	VDC, VAC	Voltaje corriente directa, Voltaje en corriente alterna
B1, B2	Motobombas de drenaje en la Galería de la toma de Pejibaye	VA, A, W	Voltio amperio, amperio, watts
Bomba A, Bomba B	Bombas de las compuertas de Desvío T1 y Desarenadora T2 de la toma de Tapantí	EX, Pg, ER	Modos de Ejecución, Programación, Error
R-RPE	Regleta Remota en Pejibaye de Entradas	NA	Normalmente abierto
R-LTE	Regleta Local en Tapantí de Entradas	MB, KB	Megabyte, Kilobyte
R-RPS	Regleta Remota en Pejibaye de Salidas	E/S, I/O	Entradas/ Salidas
R-LTS	Regleta Local en Tapantí de Salidas	HMI	Interface hombre- máquina
R-S	Regleta de Salidas hacia las compuertas en Tapantí	-	-

Apéndice A.3: Tablas de asignación de variables y de estados para cada una de las compuertas y motobombas de drenaje de la galería

Se encuentra en el Centro de Documentación de la planta de Río Macho.

Apéndice A.4: Diagramas asincrónico de estados de las compuertas y las motobombas de drenaje

Se encuentran en el Centro de Documentación de la planta de Río Macho.

Apéndice A.5: Tablas de descripción de variables previas a la modernización del control de las compuertas y las motobombas de drenaje

Se encuentran en el Centro de Documentación de la planta de Río Macho.

Apéndice A.6: Diagramas de estados del control previo a la modernización de las compuertas de la toma de Pejibaye y Tapantí

Se encuentran en el Centro de Documentación de la planta de Río Macho.

Apéndice A.7: Diagramas de conexión de entradas y salidas del PLC

Se encuentran en el Centro de Documentación de la planta de Río Macho.

Apéndice A.8: Listado del programa de control modernizado de las compuertas y motobombas de drenaje de la toma de agua de Pejibaye y de la toma de Tapantí

Se encuentran en el Centro de Documentación de la planta de Río Macho.

Apéndice A.9: Manual de operario y de programación del panel digital

MANUAL DE USUARIO DE CONTROL DE COMPUERTAS UBICADO EN TAPANTI MEDIANTE PANEL DIGITAL

Opciones del menú principal

El programa diseñado cuenta con diferentes posibilidades que permiten al operario, el control total del sistema. El acceso a las diferentes funciones se realiza al presionar los botones con el dedo o con el borrador de la parte superior de un lápiz.

En la figura A.9.1 se muestra la página 2 del panel y se pueden observar las siguientes opciones de usuario:

1. Comando de Compuertas
2. Sensado de Compuertas
3. Configuración de Tiempos
4. Bloqueo y Desbloqueo de Compuertas
5. Opciones de Alarmas
6. Introducción de Password

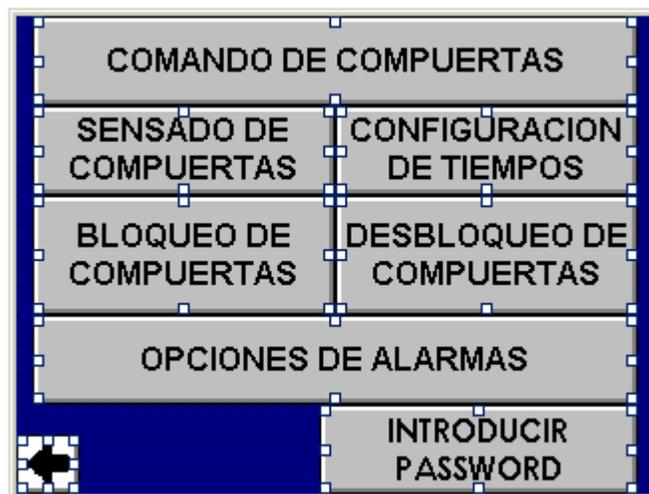


Figura A.9.1 Menú principal del Sistema de Control programado en el panel digital.

1. Comando de Compuertas:

Esta opción nos despliega la posibilidad de mando a todas las compuertas, si la persona se encuentra autorizada mediante password.

En la figura A.9.2 se observan las cinco opciones de mando y se pueden comandar las compuertas de Conducción y de Fondo de la Toma de Pejibaye, la compuerta de Desvío, Desarenadora y de Conducción de la Toma de Tapantí.

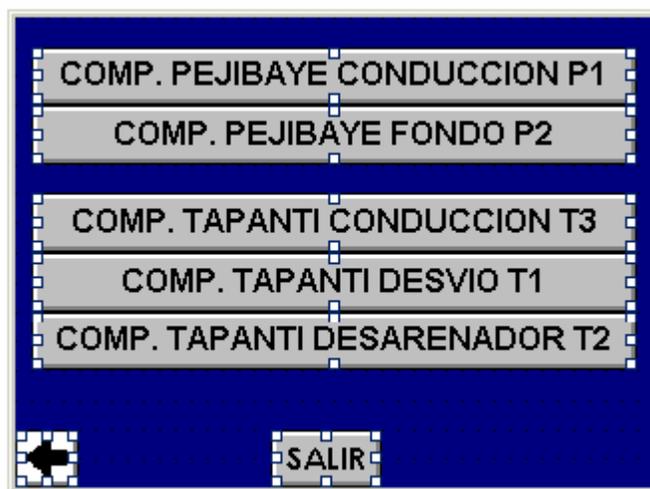


Figura A.9.2 Menú de Mandos de Compuerta de la Toma de Pejibaye y de la Toma de Tapantí

En las pantallas de comando las compuertas Hidráulicas cuentan con la visualización gráfica y numérica porcentual de apertura de la compuerta.

Entre los mandos que el usuario puede dar a las compuertas se encuentran los siguientes:

- **Abrir**: realiza la apertura de la compuerta.
- **Cerrar**: desciende la compuerta
- **Parar** : detiene la compuerta al momento de realizar la petición.

En la figura A.9.3 se puede observar dos variables de mensaje MMMMMMMM en color azul que permiten un mando adecuado para las compuertas, ya que en el panel se puede visualizar el estado actual de la compuerta como:

- a. Compuerta Abriendo
- b. Compuerta Cerrando
- c. Compuerta Detenida
- d. Compuerta Detenida por Falla / Falla por Contactor
- e. Compuerta Detenida por Temporizador
- f. Compuerta Detenida por Paro de Emergencia
- g. Compuerta Bloqueada o Desbloqueada

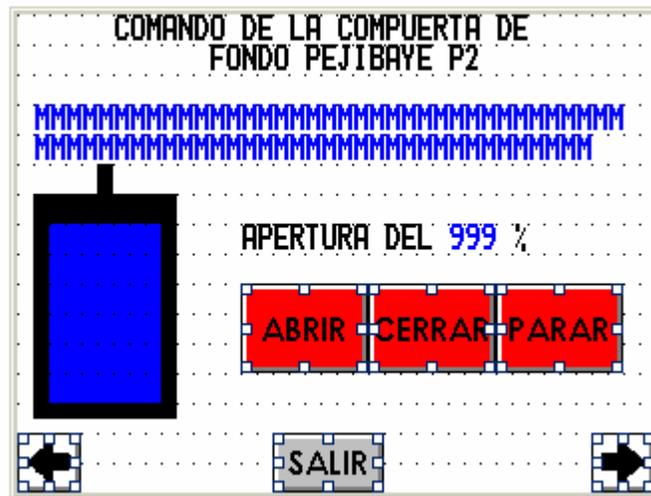


Figura A.9.3 Pantalla de Mando de Compuerta Hidráulica de Fondo de la Toma de Pejibaye

En caso, de encontrarse la compuerta bloqueada o detenida, los mandos de compuerta no responderán hasta que se haya reseteado el control de dicha compuerta mediante la Llave Reset respectiva.

Compuertas detenidas por alguna falla pueden ser reseteadas con la llave Reset ubicada en Tapantí o la ubicada en Pejibaye y para compuertas detenidas por Paro de Emergencia puede ser reseteada mediante la llave respectiva del sitio, donde se introdujo el paro. Por ejemplo:

Se necesitó de paro en la toma de Pejibaye, implica que para resetear el sistema, este esperará la Llave de Reset ubicada en el mismo sitio. Cuando el paro se origina desde la Toma de Tapantí, la Llave de Reset en Tapantí es la indicada para salir del paro de emergencia.

Mediante esta manera se pretende dar una mejor seguridad, y evitar que personal ubicado en diferentes sitios(a distancia de aproximadamente 3 km) puedan manipular al mismo tiempo un control estricto en seguridad.

En la figura A.9.4 se muestra una de las pantallas de mando de compuerta que no poseen sensado de posicionamiento, se caracterizan por tener fondo azul oscuro.



Figura A.9.4 Pantalla de Mando de Compuerta Conducción P1 de la Toma de Pejibaye

2. Sensado de Compuertas:

El sensado permite al operario poder visualizar cada una de las variables de control asociada a cada compuerta, como los finales de carrera, relés térmicos disparados, o el estado de contactores entre otros, como se aprecia en las figuras A.9.5 y A.9.6.

Las figuras mostradas en este manual de usuario del panel, no son copia de las pantallas vistas y programadas en el Panel digital, por lo que las variables tipo mensaje se muestran de la forma siguiente: MMMMMMMMMMMMMMMM en color azul y en el extremo izquierdo de la variable de sensado, un led indica la activación de ésta, pasando de color rojo a verde.

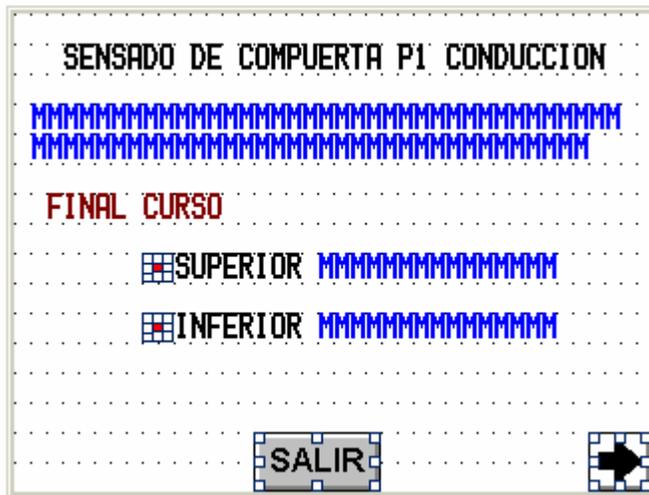


Figura A.9.5 Diseño de pantalla para el sensado de finales de carrera de compuerta de conducción de la Toma de Pejibaye

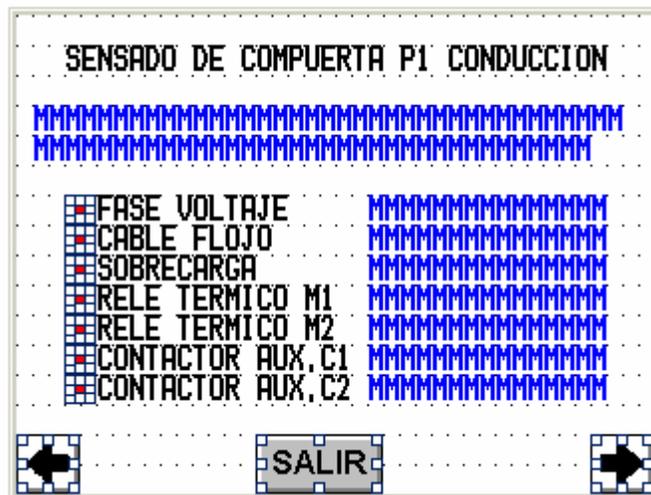


Figura A.9.6 Diseño de pantalla para el sensado de relés térmicos, contactores entre otros, de la compuerta de conducción de la Toma de Pejibaye

Además, del sensado de compuertas, se encuentra el sensado de las Motobombas de Drenaje en la Toma de Pejibaye, en la figura A.9.7 se puede notar el sensado de :

- Control Manual /Automático de Bombas , en color verde muestra esta opción activa.
- Y la disponibilidad de bombas, ambas seleccionada en la toma de Pejibaye.

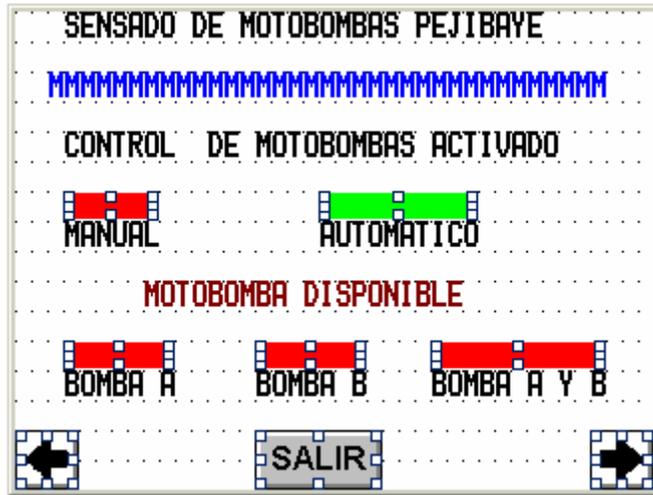


Figura A.9.7 Pantalla de sensado de controles seleccionados por operarios en el sitio de Pejibaye

La figura A.9.8, muestra el sensado de bombas y permite al operario darse cuenta del nivel de agua en galería mediante el sensado de nivel mínimo y máximo de agua, el estado de contactores y los relés térmicos de las motobombas.

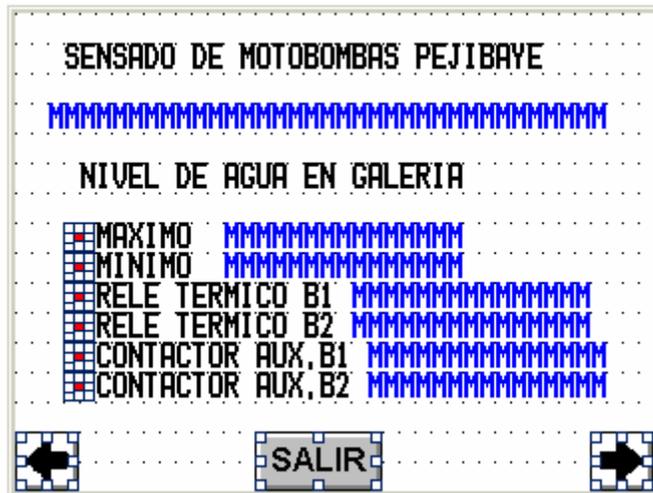


Figura A.9.8 Pantalla de sensado de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye

3. Configuración de Tiempos:

La pantalla digital permite la configuración de variables como tiempos de apertura, de descenso, de recuperación de la compuerta y tiempo de trabajo de Motobombas , y el tiempo de espera para la activación de ambas bombas de drenaje.

En la figura A.9.9, se observa la entrada de tiempos de apertura, tiempo de descenso y el tiempo de recuperación de la compuerta P2 Hidráulica de Fondo de la Toma de Pejibaye.

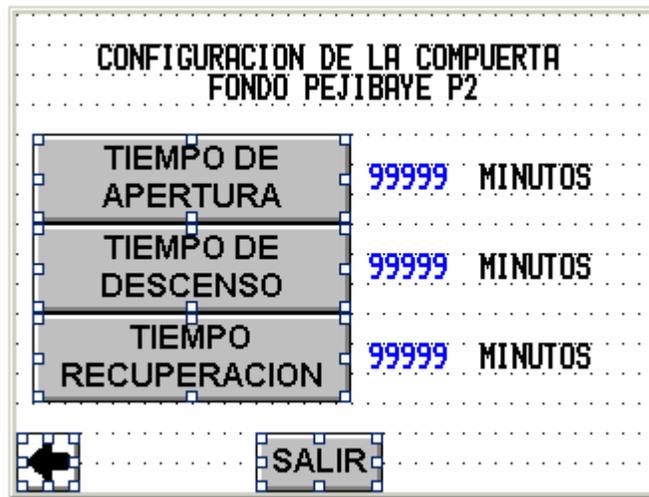


Figura A.9.9 Configuración de tiempos de Apertura, de Descenso y de Recuperación de la compuerta Hidráulica de la Toma de Pejibaye.

La figura A.9.10 se aprecia la pantalla para la introducción de tiempos de trabajo de las motobombas de la galería de drenaje de la toma de Pejibaye

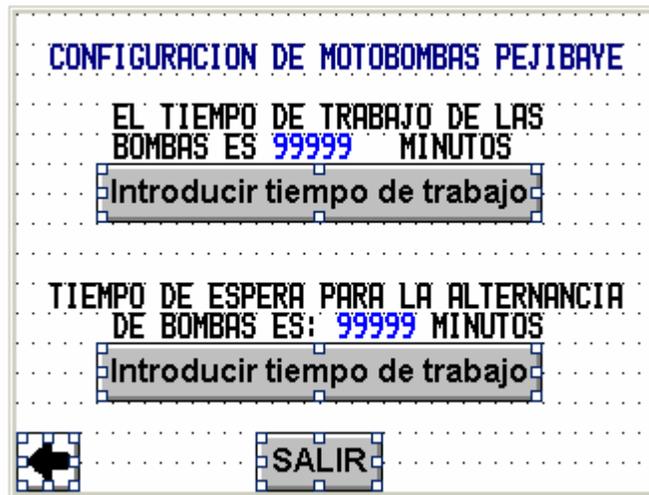


Figura A.9.10 Configuración de tiempos de trabajo de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye.

La configuración de los tiempos es posible al haber introducido el password correcto para configuración.

La introducción de tiempos, se puede realizar simplemente al presionar el botón correspondiente y, se desplegará un teclado para la introducción de los números y con el botón de ENTER se podrá regresar al modo de página.

Los números introducidos tienen límites, que se encuentran definidos en la pantalla del teclado numérico. Por ejemplo, de 0000 a 9999.

4. Bloqueo y Desbloqueo de Compuertas

Para la seguridad del personal de mantenimiento, existe la posibilidad del bloqueo de compuertas, de esta manera mientras se realiza dicho mantenimiento, la compuerta bloqueada, no podrá ser manipulada por alguien más.

La introducción de las claves de bloqueo se realiza en forma similar a la descrita en la configuración de tiempos.

En la figura A.9.11, se puede mostrar la introducción de la clave de bloqueo para la compuerta T3 de conducción de la Toma de Tapantí, y en el mensaje se despliega, el estado de compuerta. Por ejemplo :**Compuerta Bloqueada** o **Compuerta Desbloqueada/ Control en Tapantí**.



Figura A.9.11 Pantalla del panel digital de Bloqueo de compuerta T3 de conducción de la Toma de Tapantí.

Para las compuertas ubicadas en Pejibaye, el bloqueo de la compuerta permite traspasar el control de estas compuertas a Pejibaye. De esta manera al bloquear la compuerta P1 de conducción de Pejibaye, el estado de compuerta es **Compuerta Bloqueada / Control en Pejibaye** y al encontrarse desbloqueada es **Compuerta Desbloqueada / Control en Tapantí**, como se puede apreciar en la figura A.9.12.



Figura A.9.12 Pantalla del panel digital de Bloqueo de compuerta T3 de conducción de la Toma de Tapantí.

Para desbloquear cada compuerta, existe una pantalla en donde se introduce la clave de bloqueo correspondiente, por ejemplo observe la figura A.9.13.

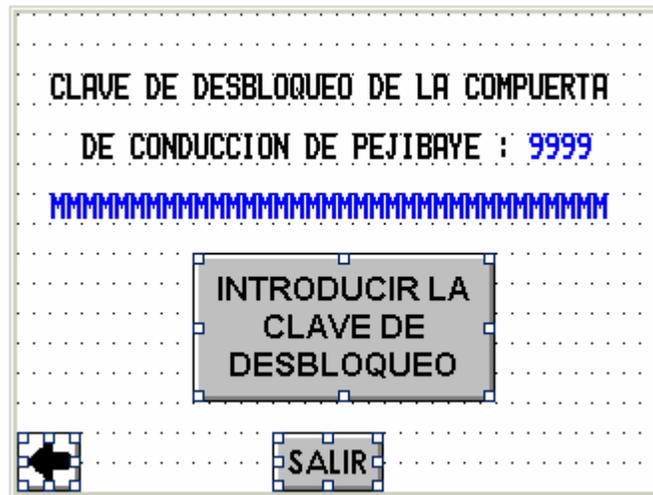


Figura A.9.13 Pantalla de Desbloqueo de compuerta de conducción de Pejibaye.

Al desbloquear correctamente la compuerta, se desplegará, el siguiente mensaje: **Compuerta Desbloqueada / Control en Tapantí**, indicando que la compuerta puede ser maniobrada mediante el panel digital ubicado en Tapantí.

5. Opciones de Alarmas

En la figura A.9.14 se encuentran las siguientes opciones de alarmas:

- Ver eventos de alarmas
- Ver alarmas activas
- Ir a alarma activa
- Páginas de alarmas
- Eliminar eventos de alarmas



Figura A.9.14 Pantalla de Opciones de Alarmas

a. Ver eventos de alarmas:

Esta opción permite el despliegue de la lista de eventos activados y desactivados de alarmas con fecha, hora y nombre de la alarma. Por ejemplo, los nombres de alarmas que se encuentran son:

- **Paro de Emergencia**
- **Bloqueo por Falla en alguna compuerta o por Falla/Contactor**
- **Compuerta Bloqueada por Temporizador** (se activa cuando la compuerta no alcanza el estado final deseado por el operario dentro del tiempo configurado para apertura o descenso de compuerta).

b. Ver alarma activa

En caso de haber alguna alarma activa, esta opción despliega dichas alarmas activas

c. Ir a alarma activa

Cuando la alarma activa se refiere a alguna falla, a excepción de activación por paro de emergencia, esta opción permite desplegar en pantalla del panel digital, el estado de cada compuerta y/o motobomba, indicando en cual se encuentra la detección de falla, por ejemplo oserve la figura A.9.15.



Figura A.9.15 Pantalla de alarma activada por Falla en relés térmicos de protección.

Las alarmas activadas por temporizador tiene la característica de tener una falla desconocida para el control y para el operario, por ello se brinda una ayuda al operario, como recordatorio de dicha alarma, como ejemplo se puede ver la figura A.9.16 y A.9.17.

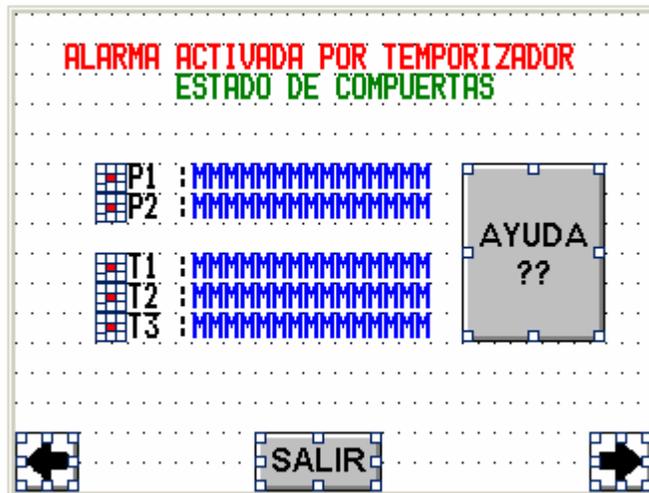


Figura A.9.16 Pantalla de alarma activada por temporizador.



Figura A.9.17 Pantalla del panel digital de ayuda, para alarmas activadas por temporizador.

Las alarmas pueden ocurrir al no accionarse los contactores de los motores. Estos son sensados mediante los contactores auxiliares de los contactores.

Cada pantalla de alarma activa por falla presenta en su extremo derecho, botones que permiten el desplazamiento rápido y directo hacia las pantallas de sensado de la compuerta, para ello observese la figura A.9.18.

d. Páginas de alarmas

Esta opción permite recorrer todas las páginas de alarmas, aunque no se encuentren activas, con la ayuda de los botones flechas en la parte inferior derecha e izquierda de las pantallas.

e. Eliminar eventos de alarmas

Al presionar este botón, se borra toda la lista de eventos de alarmas activados (ON) y desactivados (OFF) y su fecha correspondiente. Para ello se requiere de cuidado al utilizar este recurso, ya que podría eliminarse información valiosa, de alarmas activadas y su fecha correspondiente de activación.

6. Introducción de Password

En la página principal de menú, se encuentra la opción de usuario para la introducción del password y aparecerá un teclado numérico donde se podrá introducir un password de 4 dígitos enteros.

El panel cuenta con disponibilidad de 8 passwords, que pueden ser configurados para realizar todas o algunas de las funciones permitidas en el panel digital.

El password general de más alto nivel permite:

- a. la configuración del panel digital,
- b. modificar la hora y la fecha,
- c. poder acceder la lista de eventos y de alarmas
- d. realizar movimientos de página directos (para ello hay que conocer la numeración de cada página del programa).
- e. introducir datos, o sea poner en modo de entrada de datos
- f. permite mantener activo el password, hasta que el usuario lo desee.

Además de las anteriores, existe la posibilidad de programar passwords con 10 minutos máximos de actividad.

Mediante el Designer 5.0 se puede a cada password asignar diferentes funciones, observe la figura A.9.20, que muestra las diferentes opciones que presenta.

Además, de poder asignar las páginas en las que ese password permite que se puedan introducir datos (en otras palabras, el panel se coloque en modo de entrada de datos)

Password	CONF TIME	ACK	PRINT PAGE	ALOGI	ALOGO	Data entry enable		
						From page	To page	
1111	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	46
2222	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	20
3333	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	30
4444	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	20
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	46
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	46
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	46
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	46

Figura A.9.20 Cuadro de configuración de passwords dentro del Designer 5.0

MANUAL DE DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE PANEL DIGITAL

Mediante este manual se pretende orientar, acerca del diseño básico utilizado de:

1. Los diferentes botones u opciones utilizadas
 - a. Botones iluminados
 - b. Botones Genéricos
 - c. Luces indicadoras
 - d. Variables de tipo Message
 - e. Botones tipo Panel key

2. Presentar las tablas de asignación de variables del controlador, para los siguientes:
 - a. botones de mando de compuertas
 - b. de configuración de tiempos,
 - c. de sensado de variables,
 - d. de páginas de alarmas, entre otros.

Diseño de pantallas

Botones iluminados

En las páginas de comando, se utilizan los botones iluminados, los cuales se encuentran asociados a dos variables, una variable que es activada en ON, o sea cierra un contacto o escribe un bit de 1, al controlador, indicando la petición de usuario, y la otra es asignada por el controlador para indicar algún mensaje visual (rojo o verde) al operario. En el ejemplo de la figura A.9.21, el botón indica que la compuerta se encuentra abriendo.



Figura A.9.21 Botón en verde de Abrir indicando que la compuerta esta abriendo.

Botones Genéricos

Los botones en color gris, realizan en su mayoría una simple macro: **goto 4** a alguna página específica, como se puede observar en el ejemplo siguiente de la figura A.9.22.

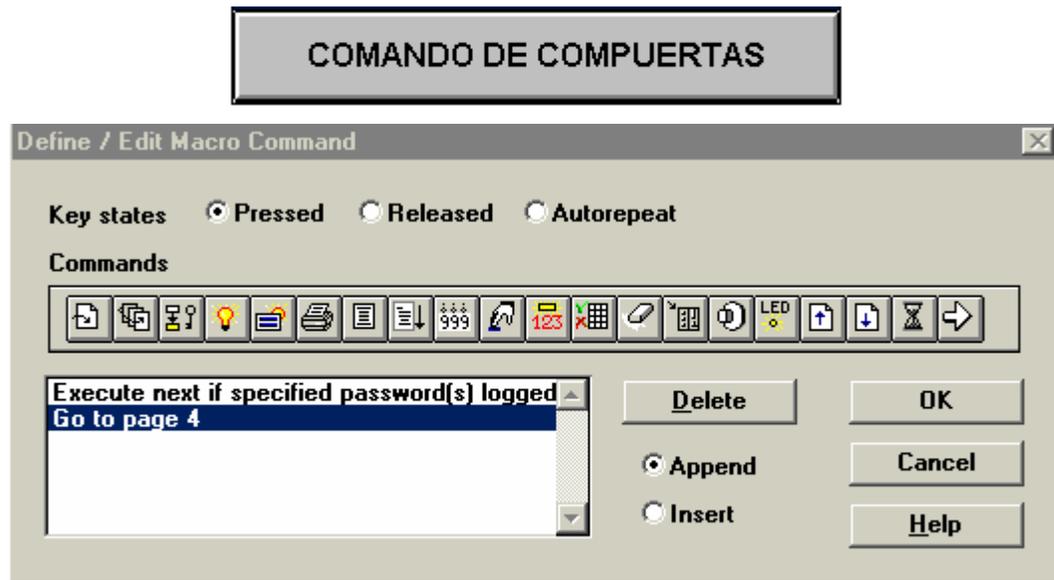


Figura A.9.22 Configuración de botón genérico de comando de compuertas.

Los botones para desplazamiento de pantallas a los diferentes menús u opciones, se realizan mediante los siguientes botones de la figura A.9.23, con una simple macro mostrada como la anterior.



Figura A.9.23 Botones de desplazamiento de pantallas dentro del panel digital.

Los botones de configuración de tiempos, presentan una macro similar a la mostrada en la figura A.9.24., donde se colocan los valores dentro del panel digital, en el primer espacio de variable(de lectura/escritura), de la pantalla de configuración, en modo de entrada de datos.

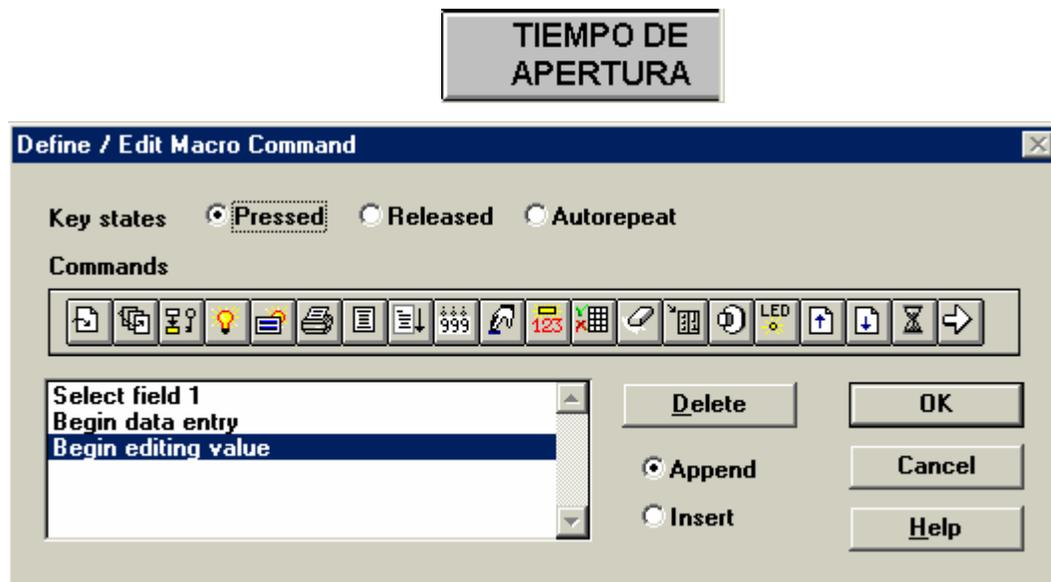


Figura A.9.24 Configuración del Botón genérico para la configuración de tiempo de apertura de compuerta.

Igual a la macro anterior, se realiza la configuración de los botones para la introducción de claves de bloqueo y desbloqueo de compuertas.

Luces indicadoras

Las luces indicadoras, se utilizaron para las pantallas de sensado, como se observa en la figura A.9.25. La luz verde indica el estado de automático de las motobombas, y el color rojo, que no se encuentra activo el control manual de las motobombas.

Para indicar cada uno de los estados en color verde o rojo, se necesita modificar una variable (luz indicadora como referencia) dada por el controlador PLC.

Por ejemplo la luz indicadora de control manual es E1.01 y para control automático es E1.01. De modo que, el control puede seleccionarse entre manual o automático.

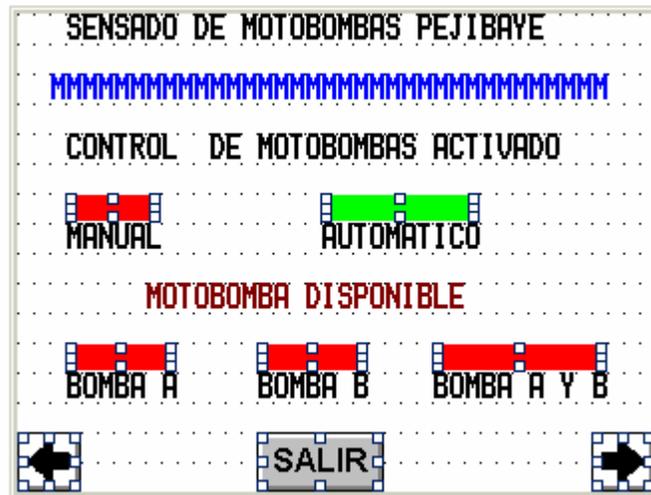


Figura A.9.25 Sensado Control Manual /Automático de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye

Variables de tipo Message

La figura A.9.26, muestra siete variables de tipo Message en color azul. La primer variable es indicadora del estado de la compuerta, y en la figura A.9.27 y A.9.28 se puede observar su configuración:

- Variable de Memoria 63
- Ancho de 35 caracteres
- Tipo Message
- 4 Message definidos.

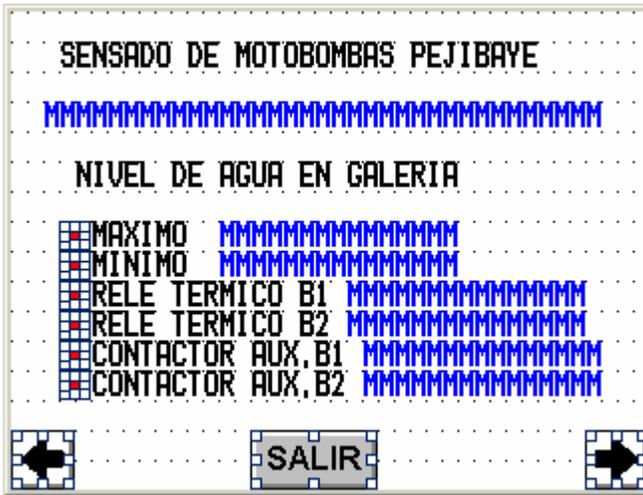


Figura A.9.26 Variables tipo Message en la pantalla de Sensado de Motobombas de Pejibaye.

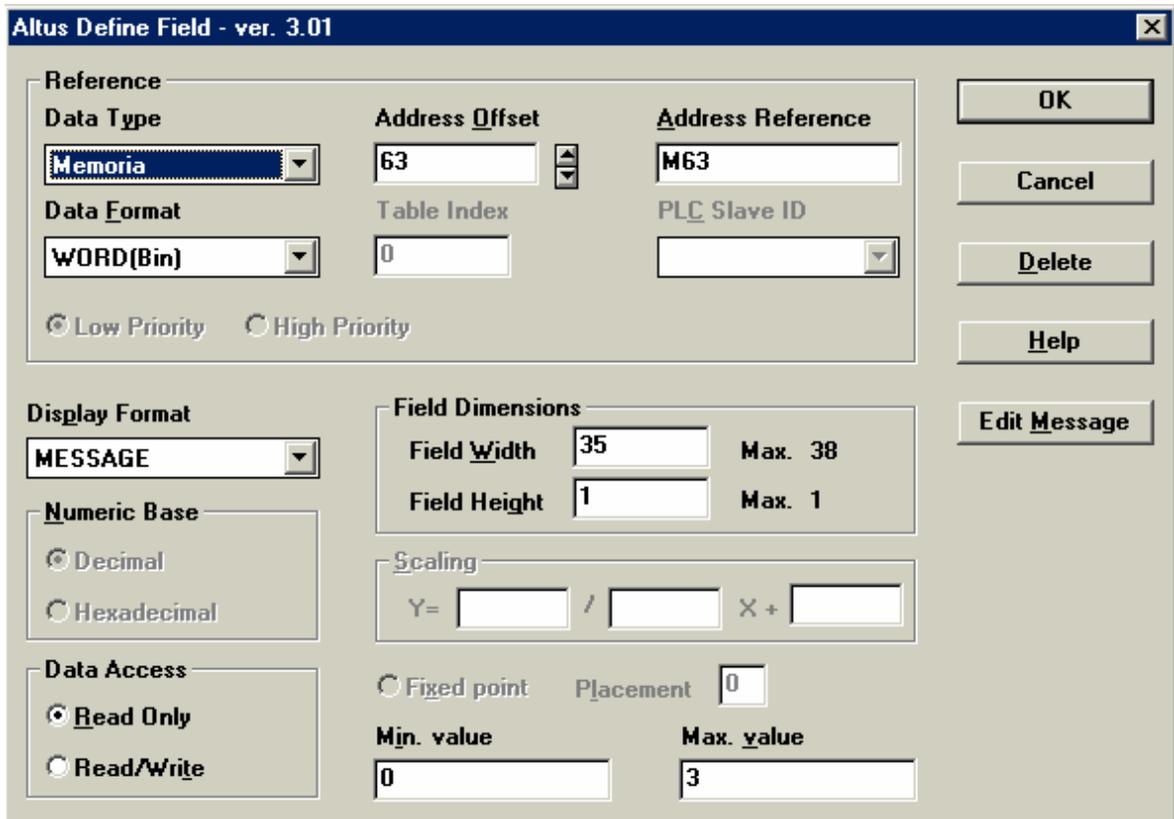


Figura A.9.27 Configuración de la primer variable Message de la pantalla de Sensado de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye.

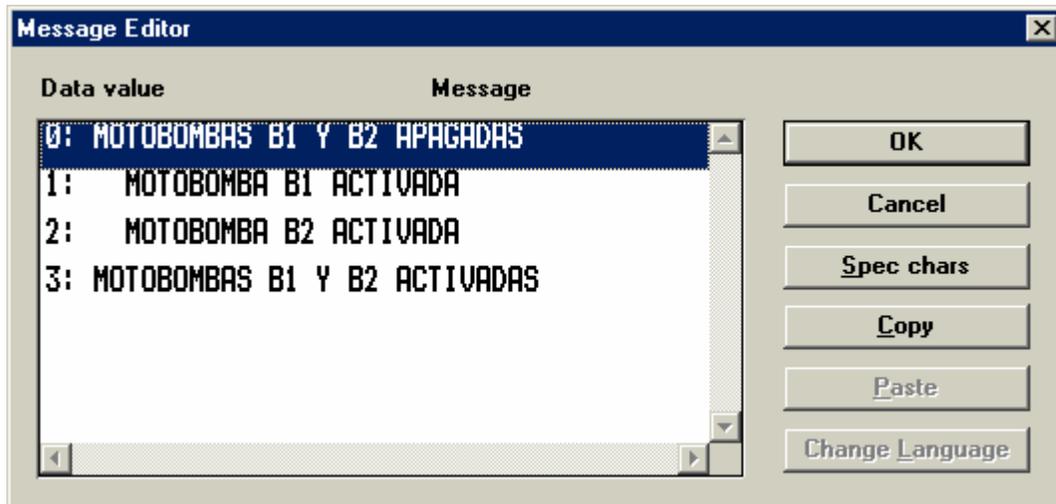


Figura A.9.28 Editor de Mensajes para el estado de Motobombas de Drenaje de la Toma de Pejibaye.

Botones tipo Panel Key

Las opciones de alarmas descritas en el manual de usuario, son del tipo de panel key. Por ejemplo: **Ver eventos de alarmas** es la panel key número 2.

Todos los botones que se encuentren asociados a la panel key número 2, presentan las macros de la figura A.9.29, la cual permite el modo de evento en el panel, desplegando la lista de todos los eventos de alarmas(ON y OFF).

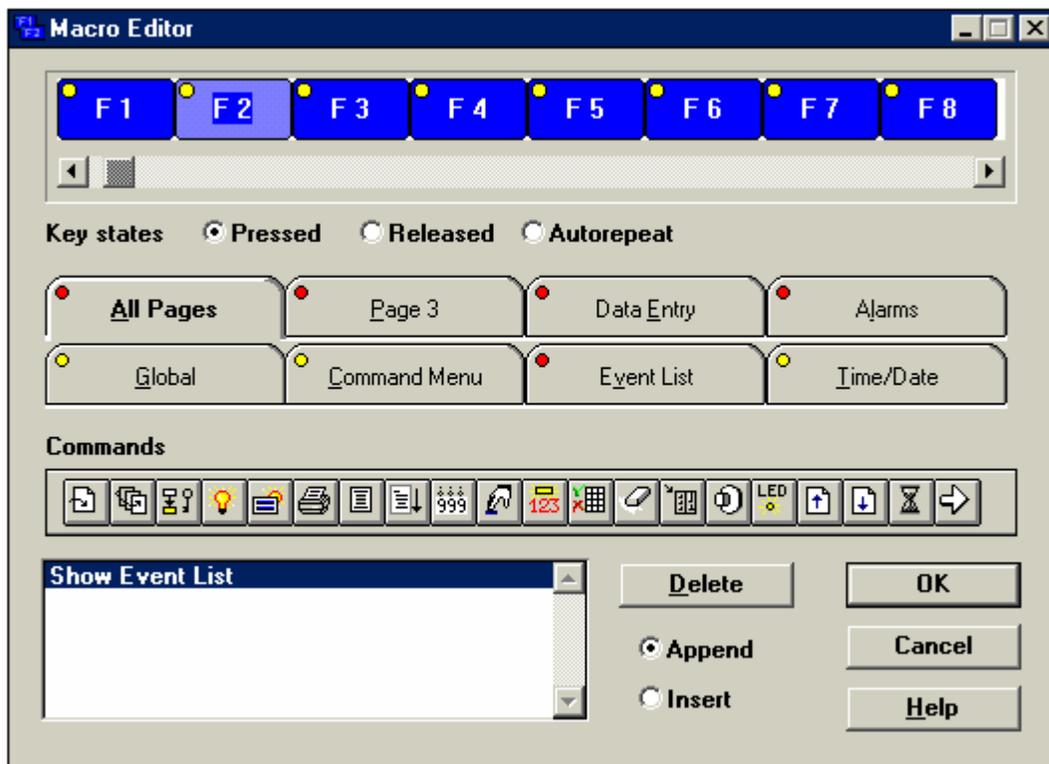


Figura A.9.29 Configuración en modo de Eventos para el panel key número 2 .

La opción de **Ver alarmas activas** tiene el panel key número 3 y presenta la macro que se muestra en la figura A.9.30 y A.9.31.

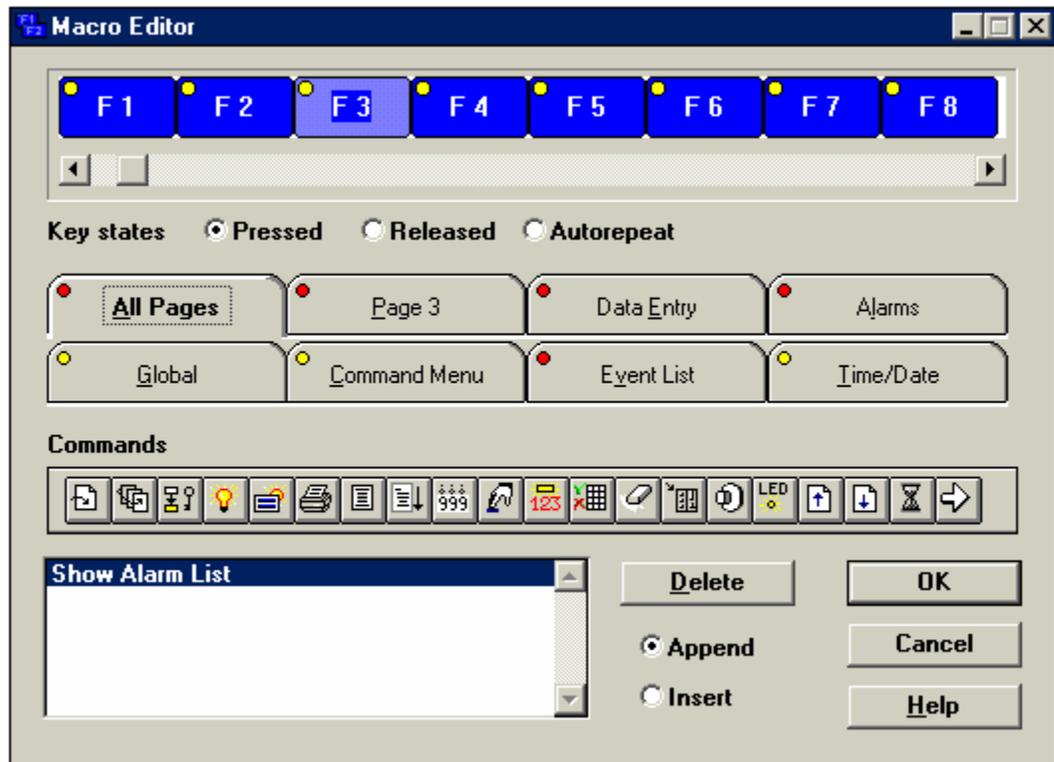


Figura A.9.30 Macro a ejecutar al presionar Ver alarmas activas

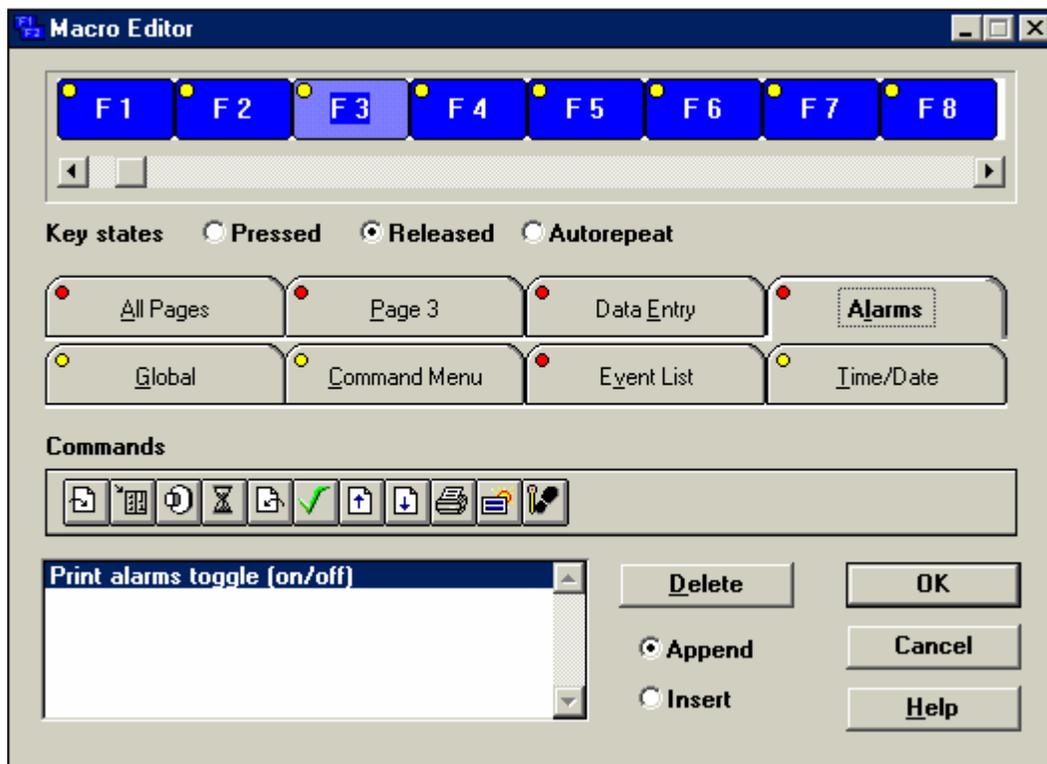


Figura A.9.31 Macro al liberar el botón de Ver alarmas activas

El botón de Ir a alarma activa tiene el panel key número 1 y, presenta la macro siguiente :

- a. Se coloca en modo de alarma como se muestra en la figura A.9.32
- b. Realiza el reconocimiento de alarma como se observa en la figura A.9.33
- c. Se desplaza a la página de alarma
- d. Se retorna a modo de página

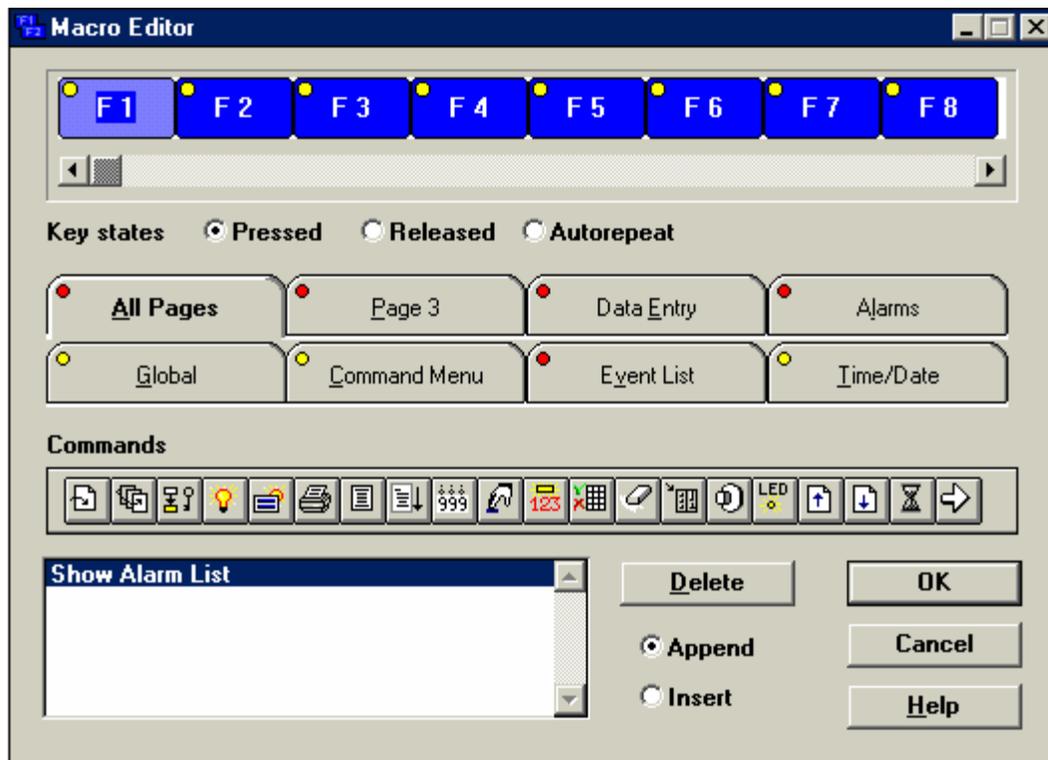


Figura A.9.32 Ejecución de Macro al presionar el botón de Ir a alarma activa

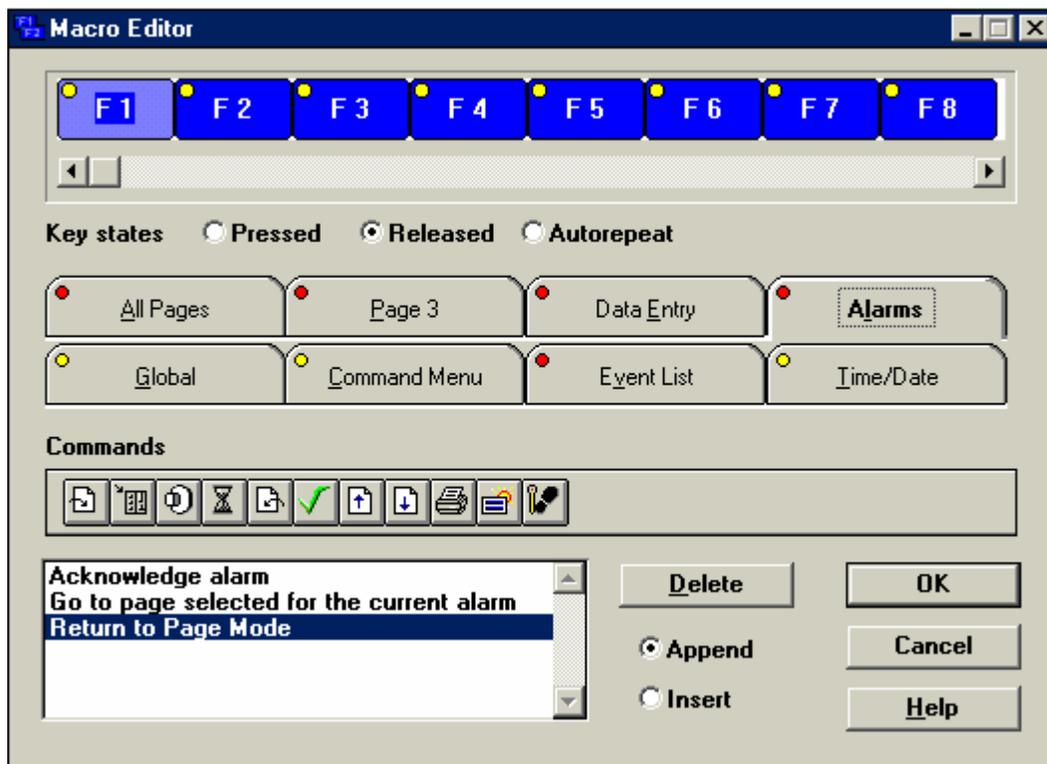


Figura A.9.33 Ejecución de Macro al liberar el botón de Ir a alarma activa

El botón de **Páginas de alarma** es una simple macro de goto 42. En esta página 42 se encuentran las alarmas hasta la página 46.

La opción de **Eliminar Eventos de alarmas** presenta la siguiente macro:

- a. Verifica password correcto como se muestra en la figura A.9.34
- b. Coloca panel en modo de Eventos como se observa en la figura A.9.35
- c. Elimina todos los eventos
- d. Coloca panel en modo de página

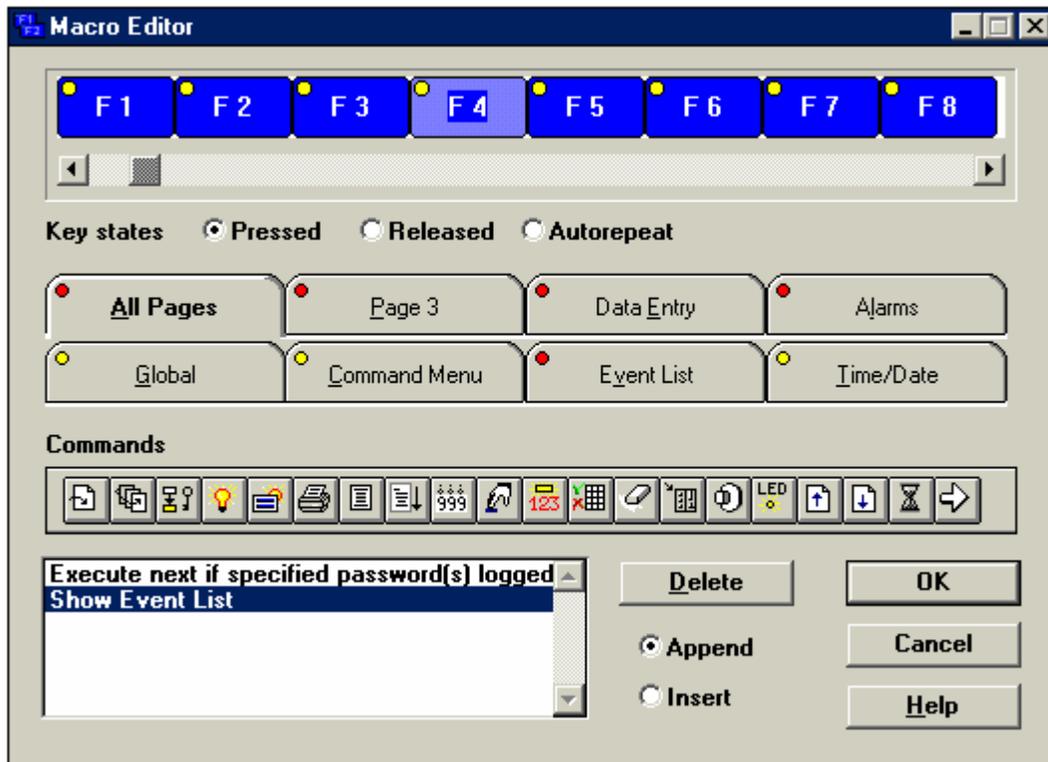


Figura A.9.34 Ejecución de Macro al presionar la opción de Eliminar Eventos de alarmas.

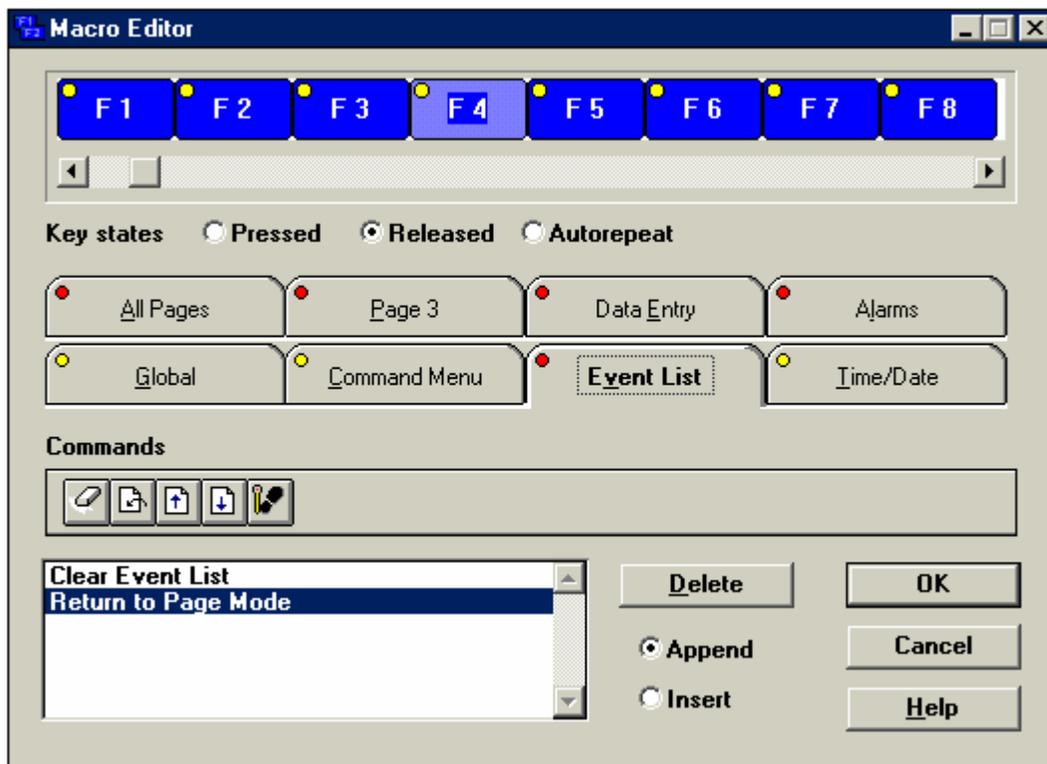


Figura A.9.35 Ejecución de Macro al liberar la opción de Eliminar Eventos de alarmas.

TABLAS DE ASIGNACIÓN DE VARIABLES UTILIZADAS EN EL PANEL HMI

En cada una de las tablas se presenta :

- a. Botones de mando de compuertas
- b. Variables de sensado
- c. Mensajes de compuertas
- d. Variables de indicación luminosa

Tabla A.9.1 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de conducción de Pejibaye

BOTONES	VARIABLES Ref Boton /Ref. Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Abrir	%A0000.0/%A0005.0	Botón del panel digital para abrir la compuerta P1	6
Cerrar	%A0000.1/%A0005.1	Botón del panel para cerrar la compuerta P1	6
Parar	%A0000.2/%A0005.2	Botón del panel para parar la compuerta P1	6
Mensaje1 y led indicador	E1.5	Mensaje de falta de fase	31
Mensaje2 y led indicador	E1.6	Mensaje de Cable flojo	31
Mensaje3 y led indicador	E1.7	Mensaje de SobreCarga	31
Mensaje4 y led indicador	E2.0	Mensaje de relé térmico	31
Mensaje5 y led indicador	E2.1	Mensaje de relé térmico	31
Mensaje6 y led indicador	E2.2	Mensaje de Final de curso superior	30
Mensaje7 y led indicador	E2.3	Mensaje de Final de curso inferior	30
Mensaje8 y led indicador	E2.4	Mensaje de Contactor Auxiliar del contactor C1	31
Mensaje9 y led indicador	E2.5	Mensaje de Contactor Auxiliar del contactor C2	31
Mensaje10	M30	Mensaje de estado de la compuerta	6
Mensaje11	A2.1	Mensaje compuerta bloqueada	6

Tabla A.9.2 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de fondo de Pejibaye

BOTONES	VARIABLES Ref Boton /Ref. Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Abrir	%A0000.3/%A0005.3	Botón del panel digital para abrir la compuerta P2	5
Cerrar	%A0000.4/%A0005.4	Botón del panel para cerrar la compuerta P2	5
Parar	%A0000.5/%A0005.5	Botón del panel para parar la compuerta P2	5
Mensaje1 y led indicador	E1.5	Mensaje de Falta Fase	33
Mensaje2 y led indicador	E2.7	Mensaje de Relé térmico	33
Mensaje3 y led indicador	E3.0	Mensaje de Final curso superior	32
Mensaje4 y led indicador	E3.1	Mensaje de Final de curso inferior	32
Mensaje5 y led indicador	E3.2	Mensaje de Final de curso de recuperación	32
Mensaje6 y led indicador	E3.3	Mensaje del Contactor Auxiliar del contactor del sistema hidráulico	33
Mensaje7 y led indicador	E8.7	Mensaje de Presión normal	33

Tabla A.9.2 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de fondo de Pejibaye, continuación

BOTONES	VARIABLES Ref Boton /Ref. Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Gráfico de Barras	M76	Variable de memoria que mantiene el valor de 0 a 100% y lo representa gráficamente	5
Valor en %	M76	Variable de memoria que mantiene el valor de 0 a 100%	5
Mensaje8	M31	Mensaje del estado de la compuerta	5
Mensaje9	A2.2	Mensaje de compuerta bloqueada	5

Tabla A.9.3 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta T1 Desvío de Tapantí

BOTONES	VARIABLE Ref Boton /Ref Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Abrir	%A0001.1/%A0006.1	Botón del panel digital para abrir la compuerta T1	8
Cerrar	%A0001.2/%A0006.2	Botón del panel para cerrar la compuerta T1	8
Parar	%A0001.3/%A0006.3	Botón del panel para parar la compuerta T1	8
Led indicador	E5.7	Led indicador de Bomba A y B disponible	36
Led indicador	E6.0	Led indicador de Bomba A disponible	36
Led indicador	E6.1	Led indicador de Bomba B disponible	36
Mensaje1 y led indicador	E7.0	Mensaje de relé térmico de Bomba A	36
Mensaje2 y led indicador	E7.1	Mensaje de Relé térmico de Bomba B	36
Mensaje3 y led indicador	E7.2	Mensaje de Final carrera superior (Presión máxima)	34
Mensaje4 y led indicador	E7.3	Mensaje de Final de curso inferior por Presión mínima	34

Tabla A.9.3 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta T1 Desvío de Tapantí, continuación

BOTONES	VARIABLE Ref Boton /Ref Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Mensaje5 y led indicador	E7.4	Mensaje de Contactor Auxiliar deBomba A	36
Mensaje6 y led indicador	E7.5	Mensaje de Contactor Auxiliar deBomba B	36
Mensaje7	M33	Mensaje de estado de la compuerta	8, 34
Mensaje8	A2.3	Mensaje de compuerta bloqueada	8, 34

Tabla A.9.4 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta desarenadora de Tapantí

BOTONES	VARIABLES Ref Boton /Ref. Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Abrir	%A0001.4/%A0006.4	Botón del panel digital para abrir la compuerta T2	9
Cerrar	%A0001.5/%A0006.5	Botón del panel para cerrar la compuerta T2	9
Parar	%A0001.6/%A0006.6	Botón del panel para parar la compuerta T2	9
Mensaje1 y led indicador	E8.0	Mensaje de Final carrera superior (Presión máxima)	35
Mensaje2 y led indicador	E8.1	Mensaje de Final carrera inferior (Presión mínima)	35
Mensaje3	M34	Mensaje de estado de la compuerta	9, 35
Mensaje4	A2.4	Mensaje de compuerta bloqueada	9, 35

Tabla A.9.5 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de conducción de Tapantí

BOTONES	VARIABLES Ref Boton /Ref. Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Abrir	%A0000.6 /%A0005.6	Boton del panel digital para abrir la compuerta T3	7
Cerrar	%A0000.5 /%A0005.7	Boton del panel para cerrar la compuerta T3	7
Parar	%A0000.6 /%A0006.0	Boton del panel para parar la compuerta T3	7
Mensaje1 y led indicador	E8.0	Mensaje de relé térmico de protección del motor 1	38
Mensaje2 y led indicador	E8.1	Mensaje de relé térmico de protección del motor 2	38
Mensaje3 y led indicador	E8.2	Mensaje de final del curso superior	37
Mensaje4 y led indicador	E8.3	Mensaje de final del curso inferior	37
Mensaje5 y led indicador	E8.4	Mensaje de Contactor auxiliar del contactor CD1 del motor 1	38
Mensaje6 y led indicador	E8.5	Mensaje de Contactor auxiliar del contactor CD2 del motor 2	38
Mensaje7 y led indicador	E8.6	Mensaje de Booster operando	38

Tabla A.9.6 Variables del controlador configuradas en el panel digital para la compuerta de conducción de Tapantí

BOTONES	VARIABLES Ref Boton /Ref. Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Gráfico de Barras	M77	Variable de memoria que mantiene el valor de 0 a 100% y lo representa gráficamente	7
Valor en %	M77	Variable de memoria que mantiene el valor de 0 a 100%	7
Mensaje8	M32	Mensaje de estado de la compuerta	7, 37
Mensaje9	A2.5	Mensaje de compuerta bloqueada	7, 37

Tabla A.9.7 Variables del controlador configuradas en el panel digital para las Motobombas de Drenaje de la toma de Pejibaye

Mensaje/Led indicadores	VARIABLES Ref Color	DESCRIPCIÓN	Ubicación de página en panel
Control Manual/Automático	E1.01	Variable de entrada al PLC, indicadora de la selección manual/ automático de las motobombas de drenaje en Pejibaye	39
Motobomba A disponible	E1.02	Entrada indicadora de Bomba A disponible	39
Motobomba B disponible	E1.03	Entrada indicadora de Bomba B disponible	39
Motobomba A y B disponible	E1.04	Entrada indicadora de Bomba A y B disponible	39
Mensaje1 y led indicador	E3.06	Indicador de nivel máximo de agua	40
Mensaje2 y led indicador	E3.07	Indicador de nivel mínimo de agua	40
Mensaje3 y led indicador	E3.04	Entrada del estado del relé térmico de la bomba A	40
Mensaje4 y led indicador	E3.05	Entrada del estado del relé térmico de la bomba B	40
Mensaje5 y led indicador	E4.0	Entrada del contactor auxiliar de la motobomba A	40
Mensaje6 y led indicador	E4.01	Entrada del contactor auxiliar de la motobomba B	40

Tabla A.9.8 Variables de Memoria del controlador asignadas a las claves de Bloqueo, desbloqueo de las compuertas Tapantí y Pejibaye, configuradas en el panel digital

Clave Bloqueo/Desbloqueo	Variable Memoria	Ubicación de página en panel
Clave deBloqueo P1	M6	11
Clave de Bloqueo P2	M7	12
Clave de Boqueo T1	M9	14
Clave de Bloqueo T2	M10	15
Clave de Bloqueo T3	M8	13
Clave de Desbloqueo P1	M11	17
Clave de Desbloqueo P2	M12	18
Clave de Desboqueo T1	M14	20
Clave de Desbloqueo T2	M15	21
Clave de Desbloqueo T3	M13	19

Tabla A.9.9 Variables de memoria de los tiempos de Apertura y Descenso de las compuertas de Pejibaye y Tapantí, configuradas en el panel.

Tiempos de apertura y descenso de compuertas	Variable Memoria	Ubicación de página en panel
Tiempo Apertura P1	M16	23
Tiempo Descenso P1	M17	23
Tiempo Apertura P2	M18	24
Tiempo Descenso P2	M19	24
Tiempo de Recuperación P2	M27	24
Tiempo de Apertura T1	M22	26
Tiempo de Descenso T1	M23	26
Tiempo de Apertura T2	M24	27
Tiempo de Descenso T2	M25	27
Tiempo de Apertura T3	M20	25
Tiempo de Descenso T3	M21	25
Tiempo de Recuperación T3	M26	25
Tiempo de Trabajo de Bombas Pejibaye	M28	28
Tiempo de Espera para el trabajo en conjunto de Bombas	M35	28
Tiempo de Trabajo de Bombas Tapantí	M29	29

Las páginas de alarmas se utilizaron variables de memoria, que indicaran estado normal o estado de falla en la compuerta. Se presenta en las 3 tablas siguientes las variables asignadas para cada Falla detectada.

Tabla A.9.10 Variables asignadas para alarmas detectadas por Falla

Compuertas	Mensaje y led indicador	Variable asignada	Descripción	Número de página en panel
P1	Si	M36	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta(relé disparado , sobrecarga o cable flojo)	42
P2	Si	M37	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta(relé disparado)	42
T1	Si	M38	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta(relé disparado)	42
T2	Si	M39	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta (relé disparado)	42
T3	Si	M40	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta (relé disparado)	42
Motobombas Pejibaye	Si	M61	Variable indicadora de estado normal o de falla en motobombas(relé disparado)	42
Motobombas Tapantí	Si	M62	Variable indicadora de estado normal o de falla en motobombas(relé disparado)	42

Tabla A.9.11 Variables asignadas para alarmas detectadas por Temporizador

Compuertas	Mensaje y led indicador	Variable asignada	Descripción	Número de página en panel
P1	Si	M42	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	43
P2	Si	M43	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	43
T1	Si	M44	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	43
T2	Si	M45	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	43
T3	Si	M46	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	43

Tabla A.9.12 Variables asignadas para alarmas detectadas por Falla de contactor

Compuertas	Mensaje y led indicador	Variable asignada	Descripción	Número de página en panel
P1	Si	M47	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	44
P2	Si	M48	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	44
T1	Si	M49	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	44
T2	Si	M50	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	44
T3	Si	M51	Variable indicadora de estado normal o de falla de compuerta	44
Motobombas Pejibaye	Si	M107	Variable indicadora de estado normal o de falla en motobombas	44
Motobombas Tapantí	Si	M108	Variable indicadora de estado normal o de falla en motobombas	44

Estatus del panel

Se habilitó una área reservada del panel digital asociada a su estatus, como se muestra en la figura A.9.36.

El estatus del panel se encuentra asignada en la variable %M0080, y permite indicar al PLC, la comunicación con éste(Ver manual del Panel digital dado por el fabricante).

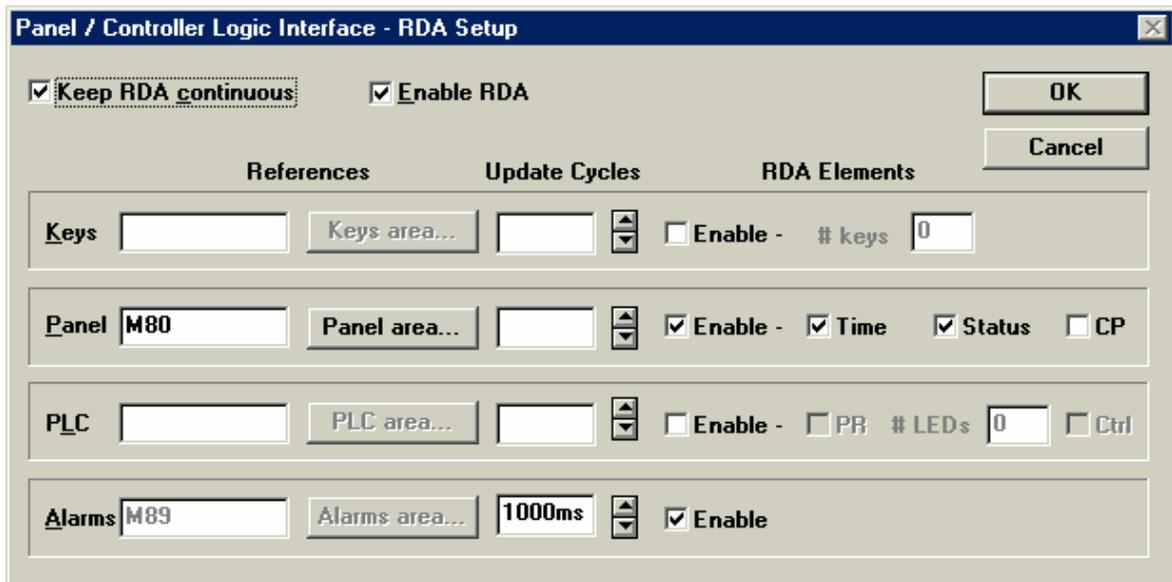


Figura A.9.36 Configuración del Area Reservada para el estatus del panel digital.

Diseño de páginas para el control de compuertas de las tomas de Pejibaye y de la toma de Tapanti, y las motobombas de drenaje de la toma de Pejibaye

A continuación se muestra en orden, las 46 páginas para el monitoreo, configuración y control de las compuertas de la Toma de Pejibaye y Tapantí

En la figura A.9.37 se presenta la pantalla de inicio(página 1 del panel), la cual tiene la presentación del sistema de control diseñado.

Las páginas 2, 3, 4 10, 16 y 22 pertenecen a las opciones y configuración de:

- a. Comando de compuertas
- b. Sensado de compuertas
- c. Configuración de tiempos
- d. Bloqueo y desbloqueo de compuertas
- e. Opciones de alarmas



Figura A.9.37 Pantalla de presentación del sistema de control

La figura A.9.38 muestra el menú principal del sistema. Esta pantalla es la página dos del panel.

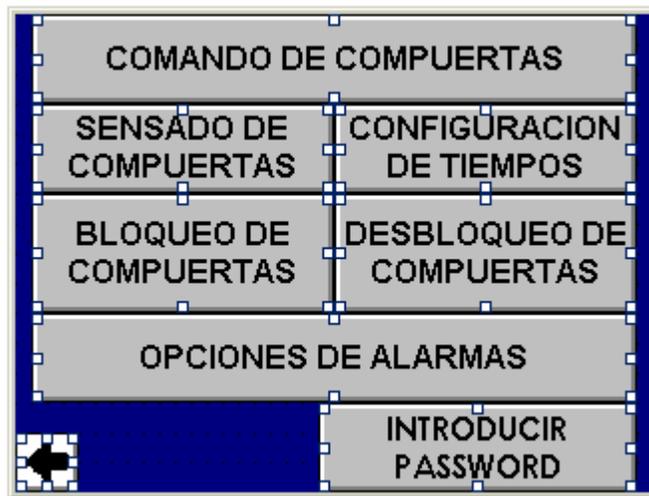


Figura A.9.38 Pantalla de menú principal del sistema de control

La figura A.9.39 muestra las opciones de alarmas disponibles al operario, cada una de estas opciones se encuentran descritas al principio de este manual. Esta pantalla pertenece a la página tres del panel.



Figura A.9.39 Pantalla del menú de opciones de alarmas

En la figura A.9.40 se muestra la página cuarta del panel y muestra las opciones de comando de compuertas de la toma de Pejibaye y de la toma de Tapantí.

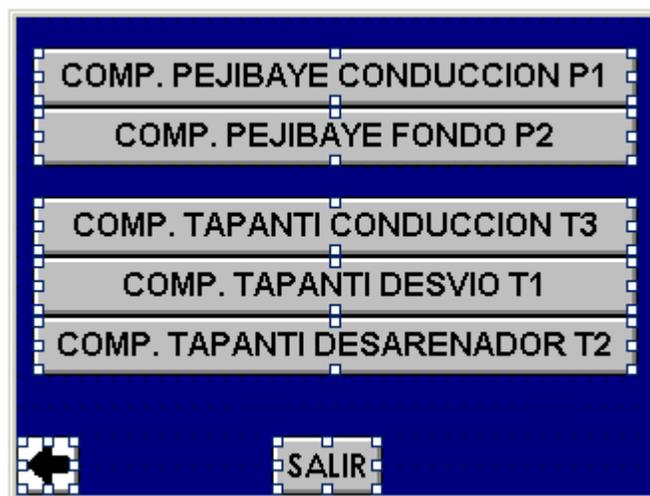


Figura A.9.40 Pantalla de opciones de comando de compuertas de la toma de Pejibaye y de la toma de Tapantí

En la figura A.9.41 se presenta la pantalla número cinco del panel. En esta se muestra el mando, la visualización gráfica, numérica y el estado de la compuerta P2

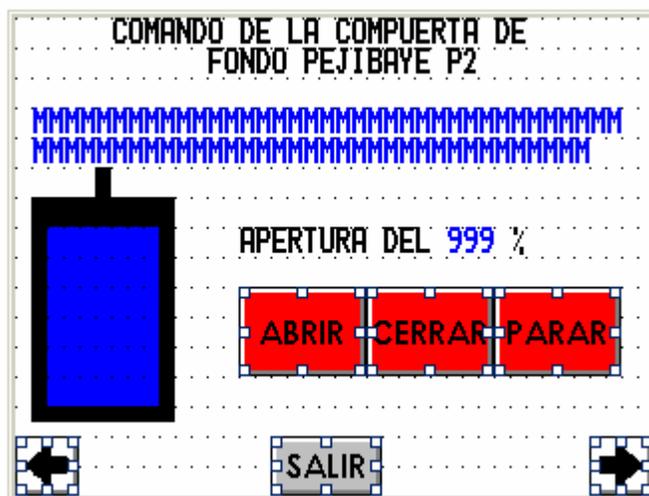


Figura A.9.41 Pantalla de mando de compuerta P2 hidráulica de la toma de Pejibaye

En la figura A.9.42 se muestra la página número seis del panel y posee botones de mando y variables de mensaje para informar del estado de la compuerta.



Figura A.9.42 Pantalla de mando de compuerta P1 de Fondo de la toma de Pejibaye

En la figura A.9.43 es la pantalla número siete del panel, donde se muestra la pantalla de control de la compuerta de conducción de la toma de Tapantí.

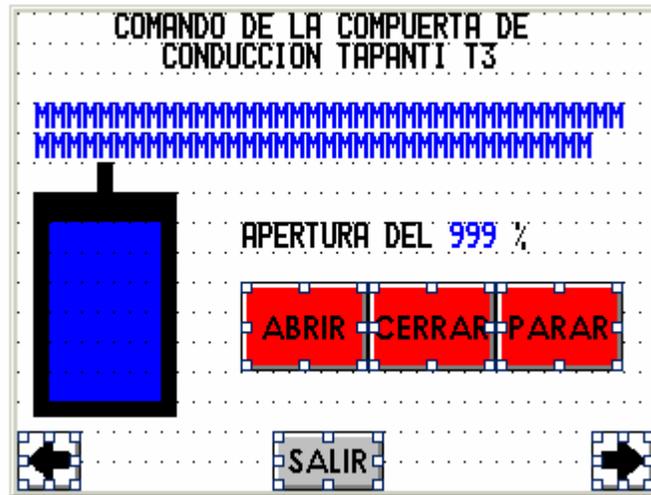


Figura A.9.43 Pantalla de mando de compuerta T3 de Conducción de la toma de Tapantí

En la figura A.9.44 , se muestra la pantalla de control de la compuerta de desvío de Tapantí. Esta pantalla pertenece a la página ocho del panel



Figura A.9.44 Pantalla de mando de compuerta T1 de Desvío de la toma de Tapantí

En la figura A.9.45, se muestra la pantalla de control de la compuerta de desarenadora de Tapantí. Esta pantalla pertenece a la página nueve del panel



Figura A.9.45 Pantalla de mando de compuerta T2 Desarenadora de la toma de Tapantí

En la figura A.9.46, se muestra la pantalla de selección de compuerta para la introducción de la clave de bloqueo. Esta pantalla pertenece a la página diez del panel.



Figura A.9.46 Pantalla de Selección de Compuerta a bloquear

En las figuras A.9.47 a la figura A.9.51, se muestran las pantallas de introducción de clave de bloqueo de las compuertas de la toma de Pejibaye y Tapantí. Mediante el botón llamado INTRODUCIR LA CLAVE DE BLOQUEO, se muestra un menú adicional para digitar la clave de bloqueo. Estas pantallas se encuentran desde la página 11 a la 15 del panel.



Figura A.9.47 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de conducción de la toma de Pejibaye



Figura A.9.48 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de Fondo de la toma de Pejibaye



Figura A.9.49 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de conducción de la toma de Tapantí



Figura A.9.50 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta de Desvío de la toma de Tapantí



Figura A.9.51 Pantalla de introducción de clave de bloqueo de la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí

En la figura A.9.52 se muestra la pantalla de selección de compuerta para la introducción de la clave de desbloqueo. Esta página es la número 16 del panel.



Figura A.9.52 Pantalla de Selección de Compuerta a desbloquear

En las figuras A.9.53 a la figura A.9.57, se muestran las pantallas de introducción de clave de desbloqueo de las compuertas de la toma de Pejibaye y Tapantí. Mediante el botón llamado INTRODUCIR LA CLAVE DE DESBLOQUEO, se muestra un menú adicional para digitar la clave de desbloqueo. Estas pantallas se encuentran desde la página 17 a la 21 del panel.

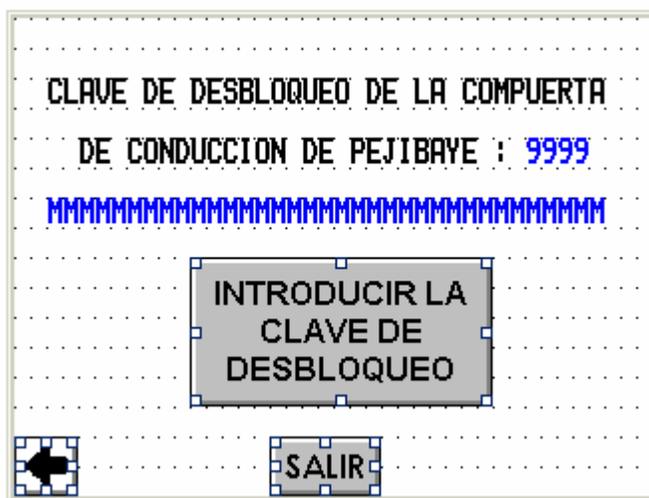


Figura A.9.53 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta Conducción de la toma de Pejibaye

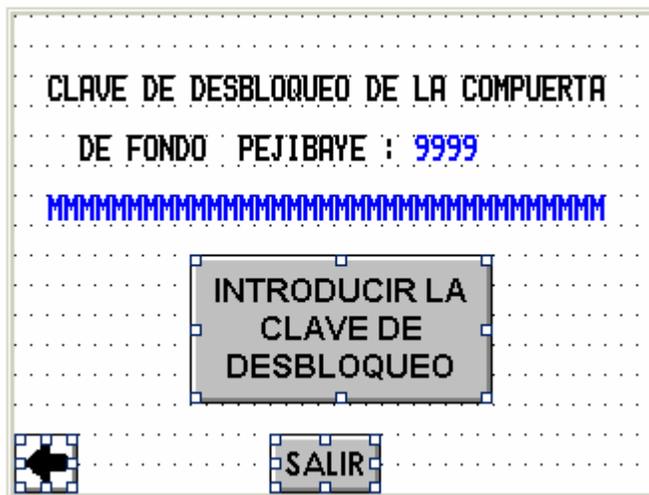


Figura A.9.54 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta de Fondo de la toma de Pejibaye



Figura A.9.55 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta de Conducción de la toma de Tapantí



Figura A.9.56 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta de Desvío de la toma de Tapantí

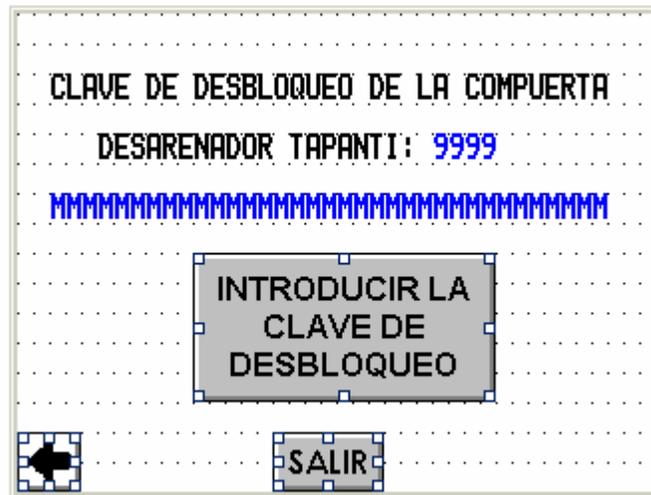


Figura A.9.57 Pantalla de introducción de clave de desbloqueo de la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí

En la figura A.9.58, se observa la pantalla de selección de compuertas o motobombas para la introducción de tiempos de configuración. Esta pantalla es la página 22 del panel.



Figura A.9.58 Pantalla de Selección de Compuertas o Motobombas para configuración de tiempos

En las figuras A.9.59 a la figura A.9.65, se puede observar las pantallas de configuración de tiempo de apertura, descenso y de recuperación de cada una de las compuertas y la configuración de tiempos de trabajo para las motobombas de la galería de drenaje de la toma de Pejibaye. Estas pantallas se encuentran numeradas del 23 a la 29 del panel.

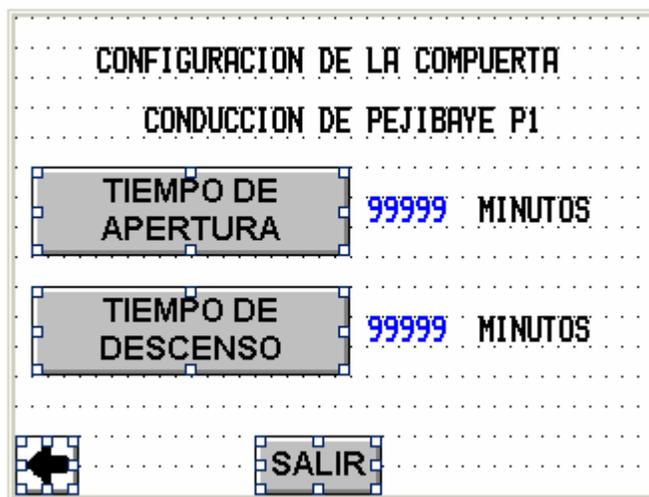


Figura A.9.59 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Conducción de la toma de Pejibaye

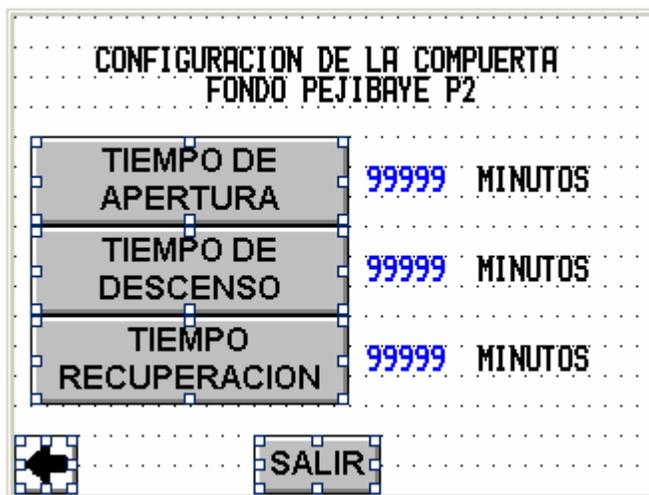


Figura A.9.60 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Fondo de la toma de Pejibaye



Figura A.9.61 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Conducción de la toma de Tapantí



Figura A.9.62 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta de Desvío de la toma de Tapantí



Figura A.9.63 Pantalla de Configuración de tiempos para la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí

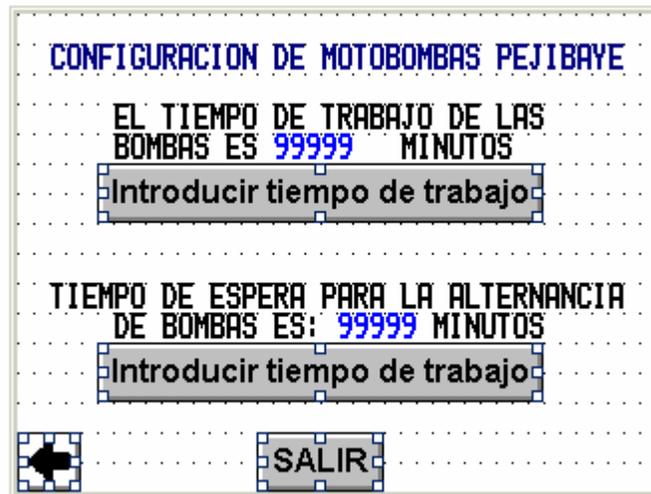


Figura A.9.64 Pantalla de Configuración de tiempos para las Motobombas de Drenaje de la toma de Pejibaye



Figura A.9.71 Sensado de Finales de Carrera de la compuerta Desarenadora de la toma de Tapantí



Figura A.9.72 Sensado de Bombas de las compuertas de Desvío y Desarenadora de la toma de Tapantí

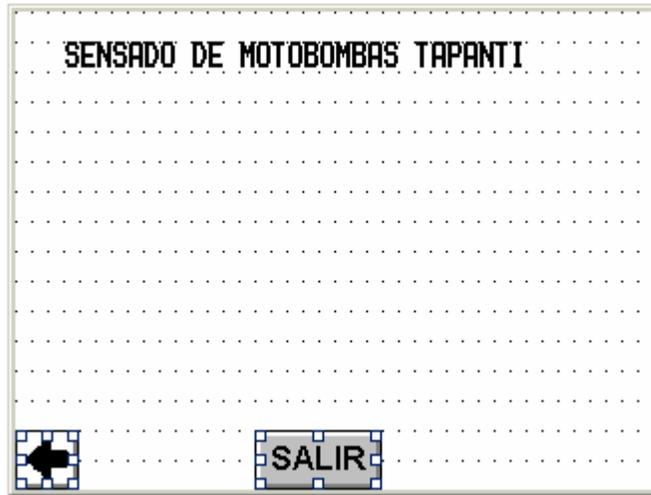


Figura A.9.77 Pantalla para agregar sentido de Motobombas de Drenaje, ubicado en la toma de Tapantí

En la figura A.9.78 a la figura A.9.80 se muestran las pantallas de alarmas activadas por fallas. Cada una de las pantallas desgloza cada compuerta acompañada de un led indicador y una variable de mensaje. Al encontrarse falla en alguna compuerta el led cambia de color rojo a verde y la variable de mensaje despliega Estado de falla. Al lado derecho de cada variable de mensaje existe un botón que permite desplazar las páginas del panel hacia el sentido de dicha compuerta. Estas pantallas son las números 42 a la 44 del panel.



Figura A.9.78 Pantalla de indicación, de compuerta con alarma activa por Falla

En las figuras A.9.81 y A.9.82 se observan pantallas de mensajes estáticos que sirven de ayuda al operario en caso de detectarse una alarma por temporizador o un paro de emergencia. Estas dos últimas pantallas son las número 45 y 46 del panel.



Figura A.9.81 Pantalla de ayuda para alarmas activas por temporizador



Figura A.9.82 Pantalla de ayuda para alarmas activas por temporizador

**Anexo B.1: Diagrama de cableado de comunicación y programación del panel , PLC
vrs PC**

CA125

Date: September 24, 1998

Ref: CA125-1

Revision: 01

Author: TT

Tabla B.1.1 Descripción del cable CA125 entre panel y PLC

Cable code	CA125
Description	UniOP PLC Port to Altus (Handshaking)
Type of Communication	RS-232
Panel Connector	DA15S
PLC Connector	DE9P
Notes	

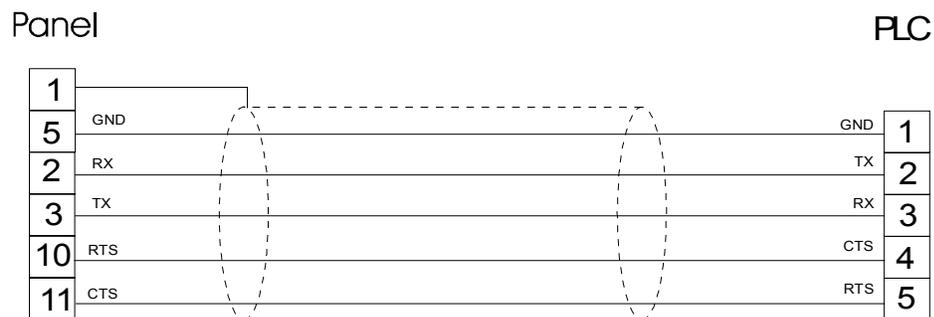


Figura B.1.1 Diagrama de conexión del cable CA125 entre panel y PLC

CA2

Date: September 28, 1998

Ref: CA0002-2

Revision: 02

Author:

Tabla B.1.2 Descripción del cable CA2 entre panel y PC

Cable code	CA2
Description	UniOP Programming Port to AT RS-232 (DTE DE9S)
Type of Communication	RS-232
Panel Connector	D-sub type 15P
PC Connector	D-sub type 9S
Notes	

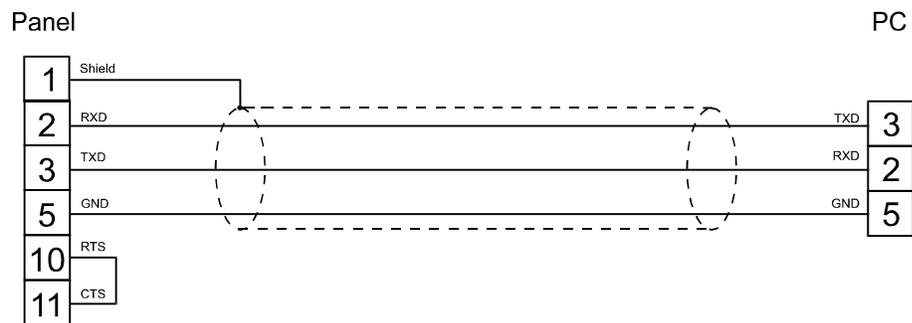


Figura B.1.2 Diagrama de conexión del cable CA2 entre panel y PC