

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1	Central hidroeléctrica de aguas fluyentes	26
Figura 2.2	Central hidroeléctrica de agua embalsada	26
Figura 2.3	Unidad de generación eje vertical. Turbina Francis . . .	27
Figura 2.4	Unidad de generación eje horizontal. Turbina de flujo axial.	27
Figura.2.5	Elementos que conforman una central hidroeléctrica . .	28
Figura 2.6	Turbina Francis	29
Figura 2.7	Turbina Kaplan	29
Figura 2.8	Turbina Pelton	30
Figura 2.9	Turbina Michell.	30
Figura 2.10	Generador síncrono	30
Figura 2.11	Generador asíncrono	31
Figura 2.12	Modos y secuencia de operación de una CHE	35
Figura 2.13	Secuencia de arranque del sistema en una PCH	39
Figura 2.14	Secuencias de parada normal, parada por problemas mecánicos o eléctricos en un SGEH	40

Capítulo 3

Figura 3.1	Vista general del laboratorio..	42
Figura 3.2	Diagrama del Sistema de Generación de Energía Hidroeléctrica	42
Figura 3.3	Diagrama de arranque y conexión a la red	46
Figura 3.4	Conexión a la red eléctrica	47

Figura 3.5	Curva característica par-velocidad de un motor de inducción - región	48
Figura 3.6	Secuencia de control para parada del SGEH	50
Figura 3.7	SNAP PAC OPTO 22	53
Figura 3.8	Diagrama del sistema con la ubicación de las diferentes variables	54
Figura 3.9	Diagrama de conexiones del analizador de redes LOVATO DMK-22.	56
Figura 3.10	Medidor de flujo por efecto Doppler. Greyline instruments DFM 5.0	57
Figura 3.11	Reeds switches para medida de nivel	57
Figura 3.12	Transmisor inteligente de presión LD 291	57
Figura 3.13	Taco generador eléctrico RE0444R de la marca Radio Energie.	58
Figura 3.14	Medidor LOVATO DMK 22	58
Figura 3.15	Válvula TRIAC Control Serie EMI-300E	58
Figura 3.16	Regulador de frecuencia, 3G3RX-A4185 OMRON	58
Figura 3.17	Módulos de entrada/salida del PAC	59
Figura 3.18	Conexión del PAC Opto 22 a los instrumentos y elementos de control	59
Figura 3.19	Ajuste local de cero y span	62
Figura 3.20	Rama CONF con las opciones para el ajuste	62

Capítulo 4

Figura 4.1	Arquitectura del sistema para el SGEH	66
Figura 4.2	Opto 22. Protocolos	67
Figura 4.3	Opciones de comunicación con el Opto 22	68
Figura 4.4	Panel frontal Lovato	68
Figura 4.5	Inspeccionar PAC	70
Figura 4.6	Selección del módulo serial	70
Figura 4.7	Cambiando parámetros de comunicación	71
Figura 4.8	Grabar configuración en memoria flash.	71
Figura 4.9	Configuración Puerto 0 (RS-232)	72
Figura 4.10	Ventana Assign IP Address	73
Figura 4.11	Ventana Add MAC to IP Mapping	74
Figura 4.12	Asignación de dirección IP	74
Figura 4.13	Entorno de programación PAC Control	76
Figura 4.14	Elementos del PAC Display Configurator.	77
Figura 4.15	Posibilidades de comunicación utilizando OptoDataLink.	77

Figura 4.16	Entorno del software OptoDataLink	78
Figura 4.17	Arquitectura del sistema SGEH	79
Figura 4.18	Diagrama powerup	80
Figura 4.19	Diagrama Acceso IO	81
Figura 4.20	Diagrama ModbusSerial	82
Figura 4.21	Diagrama MewtocolSerial.	85
Figura 4.22	Diagrama para el manejo de archivos de texto	86
Figura 4.23	Ejemplo de archivo generado por el diagrama ManejoDeArchivos	87
Figura 4.24	Diagrama inicio_secuencias	89
Figura 4.25	Secuencias de arranque y conexión a la red. Etapas 1 a 3	91
Figura 4.26	Secuencias de arranque y conexión a la red. Etapas 4 a 7	92
Figura 4.27	Secuencia de operación	94
Figura 4.28	Secuencia de parada	95
Figura 4.29	Estructuras de software para realizar el control.	101
Figura 4.30	Panel principal de la interfaz del sistema.	102
Figura 4.31	Panel inferior derecho de la página principal.	102
Figura 4.32	Indicador de velocidad del motor	103
Figura 4.33	Pantalla de secuencias	104
Figura 4.34	Pantalla de tendencias	105
Figura 4.35	Pantalla de alarmas	105
Figura 4.36	Panel de mando	106
Figura 4.37	Ajuste inicial modo automático.	107
Figura 4.38	Regulación de velocidad y potencia modo semiautomático-Panel principal	108
Figura 4.39	Regulación de velocidad y potencia modo semiautomático-Panel secuencia SGEH	108
Figura 4.40	Panel operación manual.	109
Figura 4.41	Elementos de señalización (arranque del sistema)	110
Figura 4.42	Elementos de señalización (panel de medida)	111

Capítulo 5

Figura 5.1	Escalado en la medición de presión usando el PAC Control	114
Figura 5.2	Escalado en la medición de caudal usando el PAC Control	115

Figura 5.3	Escalado en la medición de velocidad usando el PAC Control	116
Figura 5.4	Verificación de la medición del Lovato DMK22	117
Figura 5.5	Equipos del grupo generador-turbina	118
Figura 5.6	Esquema de conexión del motor asíncrono a la red eléctrica.	120
Figura 5.7	Lazo típico de un controlador de velocidad	120
Figura 5.8	Gráfica de velocidad del motor vs. % apertura de la válvula	121
Figura 5.9	Respuesta de la velocidad ante una serie de escalones	122
Figura 5.10	Filtrado de señal de velocidad utilizando el comando medfilt1	123
Figura 5.11	Entorno de trabajo de ident	123
Figura 5.12	Validación del modelo obtenido	124
Figura 5.13	Diagrama de flujo para controlador de velocidad	125
Figura 5.14	Ejemplo de ajuste de la velocidad	126
Figura 5.15	Entorno de la herramienta Sisotool	127
Figura 5.16	Ventana System Data.	127
Figura 5.17	Algoritmo de sintonización Ziegler-Nichols open Loop	128
Figura 5.18	Algoritmo de sintonización Singular frequency based tuning	129
Figura 5.19	Respuesta transitoria del controlador PI inicial.	129
Figura 5.20	Respuesta transitoria del controlador PI con ajuste en la ganancia	130
Figura 5.21	Implementación controlador PI usando OptoScript	132
Figura 5.22	Respuesta de la velocidad del motor con el controlador PI real y simulado	133
Figura 5.23	Respuesta ante un disturbio en la entrada del sistema	133
Figura 5.24	Respuesta de la velocidad del motor con el controlador P y controlador PI	134
Figura 5.25	Lazo de control de la potencia activa generada	134
Figura 5.26	Relación Potencia activa - Apertura de válvula.	135
Figura 5.27	Sistema de control <i>Fuzzy</i> para la potencia de salida	137
Figura 5.28	Función de pertenencia triangular para “Negativo”	139
Figura 5.29	Funciones de pertenencia para el controlador <i>Fuzzy</i> de potencia	140
Figura 5.30	Esquema de control <i>Fuzzy</i> escalando los universos de discurso.	140

Figura 5.31	Ejemplo reglas activas en el sistema lógico difuso . . .	142
Figura 5.32	Subrutina controlador <i>Fuzzy</i>	144
Figura 5.33	Respuesta de la potencia de salida utilizando controlador <i>Fuzzy</i>	145
Figura 5.34	Respuesta al escalón de potencia de salida utilizando control <i>Fuzzy</i>	145
Figura 5.35	Puesta en marcha del modo automático desde el panel principal y el panel de mando	146
Figura 5.36	Evolución en el tiempo de las variables del sistema . . .	146

Capítulo 6

Figura 6.1	Esquema de la interfaz de comunicación	149
Figura 6.2	Estructura de la base de datos “sgeh”.	150
Figura 6.3	Estructura de la tabla “accesos” de la base de datos “sgeh”	151
Figura 6.4	Estructura de la tabla “datosplanta” de la base de datos “sgeh”	152
Figura 6.5	Estructura de la tabla “eventos” de la base de datos “sgeh”	153
Figura 6.6	Estructura de la tabla “ordenes” de la base de datos “sgeh”	154
Figura 6.7	Estructura de la tabla accesos de la base de datos “sgeh”	154
Figura 6.8	Estructura de la tabla “registrordenes” de la base de datos “sgeh”	155
Figura 6.9	Estructura de la tabla “usuarios” de la base de datos “sgeh”	155
Figura 6.10	Comunicación entre PAC y base de datos.	156
Figura 6.11	Diagrama de casos de uso para la interfaz de usuario . .	160
Figura 6.12	Esquema de la arquitectura especificada para la aplicación	161
Figura 6.13	Estructura general de las GUI	164
Figura 6.14	Jerarquía de las páginas web que componen el sistema .	166
Figura 6.15	Correlación de los objetivos del usuario en las acciones de la interfaz.	171
Figura 6.16	Distribución de la página de operación del laboratorio. .	172

Capítulo 7

Figura 7.1	Ventana principal de los usuarios, ingreso al SGEH. . .	179
------------	---	-----

Figura 7.2	Tipo de represas.	179
Figura 7.3	Tipo de central de agua effluente	180
Figura 7.4	Tipo de central de agua embalsada	180
Figura 7.5	Tipo de central de alta caída	181
Figura 7.6	Tipo de central de media caída	181
Figura 7.7	Partes que componen una central hidroeléctrica	182
Figura 7.8	Partes que componen una central hidroeléctrica, embalse	182
Figura 7.9	Partes que componen una central hidroeléctrica, rejas filtradoras.	183
Figura 7.10	Partes que componen una central hidroeléctrica, tubería forzada	183
Figura 7.11	Partes que componen una central hidroeléctrica, grupo turbina generador.	184
Figura 7.12	Página partes que componen una central hidroeléctrica, turbina.	184
Figura 7.13	Página partes que componen una central hidroeléctrica, turbina Pelton.	185
Figura 7.14	Página partes que componen una central hidroeléctrica, turbina Kaplan	185
Figura 7.15	Página partes que componen una central hidroeléctrica, turbina Francis	186
Figura 7.16	Página partes que componen una central hidroeléctrica, eje	186
Figura 7.17	Página partes que componen una central hidroeléctrica, generador eléctrico.	187
Figura 7.18	Página partes que componen una central hidroeléctrica, secuencia general de operación	187
Figura 7.19	Página de secuencia de operación según la norma IEEE 1010, antes del encendido	188
Figura 7.20	Página de secuencia de operación según la norma IEEE 1010, sistemas auxiliares	188
Figura 7.21	Página de secuencia de operación según la norma IEEE 1010, puesta en marcha	189
Figura 7.22	Página de secuencia de operación según la norma IEEE 1010, apagado de emergencia	189
Figura 7.23	Página de secuencia de operación según la norma IEEE1010, apagado normal.	190

Figura 7.24	Ventana principal (home) de los usuarios, ingreso al SGEH	191
Figura 7.25	Autenticación del usuario para ingresar al laboratorio remoto SGEH	191
Figura 7.26	GUI de operador con la ventana “CENTRAL” activada .	192
Figura 7.27	GUI de operador con la ventana “OPERAR” activada .	192
Figura 7.28	GUI de operador con la ventana “SINCRONIZAR” activada	193
Figura 7.29	GUI de operador con la ventana “ELECTRICO” activada	193
Figura 7.30	GUI de operador con la ventana “HIDRAULICO” activada	194
Figura 7.31	GUI de operador con la ventana “MECANICO” activada	194
Figura 7.32	GUI de operador con la ventana “CHEQUEO” activada	195
Figura 7.33	GUI de operador con la ventana “ALARMAS” activada	196
Figura 7.34	GUI de operador con la pestaña “AUXILIARES” activada	196
Figura 7.35	GUI de operador con la pestaña “TEMPORALES” activada	197
Figura 7.36	GUI de operador monitor	198
Figura 7.37	Formulario de solicitud de operación	198
Figura 7.38	GUI principal de Administrador	199
Figura 7.39	GUI de crear usuarios	199
Figura 7.40	GUI de administrador, usuario creado	200
Figura 7.41	GUI de buscar usuarios	200
Figura 7.42	GUI de listado de usuarios del SGEH	201
Figura 7.43	GUI de editar usuarios	201
Figura 7.44	GUI de eliminar un usuario	202
Figura 7.45	GUI de dar acceso a un usuario	202
Figura 7.46	GUI de supervisar operadores.	203
Figura 7.47	GUI de advertencia en supervisar	204
Figura 7.48	GUI de datos del usuario actual o siguiente	204
Figura 7.49	GUI de alarmas para el administrador	205
Figura 7.50	GUI de gestionar solicitudes	205
Figura 7.51	GUI buscar solicitudes	206
Figura 7.52	GUI no aceptar registro de solicitud	206
Figura 7.53	GUI de aceptar registro de solicitud	207

Figura 7.54	GUI de registro exitoso de solicitud . . . . .	.207
Figura 7.55	Base de datos administrada con phpMyAdmin. . . . .	.208
Figura 7.56	Enlace en el sentido PAC- Estrategia de control . . . . .	.209
Figura 7.57	Enlace en el sentido PAC - Base de datos. . . . .	.210
Figura 7.58	Enlace en el sentido base de datos- PAC . . . . .	.211
Figura 7.59	Bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para el usuario administrador visto desde el equipo remoto . . . . .	.213
Figura 7.60	Bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para el usuario administrador visto desde el equipo servidor . . . . .	.214
Figura 7.61	Gráfica de los bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para el usuario operador visto desde el equipo remoto . . . . .	.216
Figura 7.62	Bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para el usuario operador visto desde el equipo servidor . . . . .	.217
Figura 7.63	Gráfica de los bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para el usuario monitor visto desde el equipo remoto . . . . .	.218
Figura 7.64	Bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para el usuario monitor visto desde el equipo servidor . . . . .	.219
Figura 7.65	Bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para la cámara IP visto desde el equipo remoto. . . . .	.220
Figura 7.66	Bytes enviados/seg, bytes recibidos/seg y bytes totales/seg en el tiempo para el servidor cuando inicia sesión cada uno de los 33 usuarios de prueba . . . . .	.223