



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CENTRALES HIDRAULICAS:

APLICACIÓN A CH PONT DE SUERT (LLEIDA)

TITULACIÓ: Enginyeria en Automàtica i Electrònica Industrial

AUTORS: Jordi Ros Queralt
DIRECTORS: Javier Maixé Altés

DATA: Gener / 2009.

AGRADECIMIENTOS

Dedico este proyecto a Elena Fernández Freixas, mi difunta esposa, gracias a su esfuerzo y sacrificio he podido realizar esta carrera.

También a mi hija Claudia y a todos los amigos y compañeros que han colaborado en la realización del mismo.

Muchas gracias a todos.

INFORMACIÓ CONFIDENCIAL

Este proyecto contiene información confidencial que no ha sido publicada,
para obtener mas información dirigirse a:

Javier Maixé Altés

Teléfono: 977 559 632

Fax: 977 559 605

E-mail: javier.maixe.urv.cat



**UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI**

Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

ÍNDICE

1	Introducción.....	1
1.1	Situación.....	1
1.2	Datos técnicos de la instalación.....	1
1.3	Antecedentes.....	1
1.4	Referencias.....	1
1.4.1	Estándares utilizados.....	1
1.4.2	Documentación interna Endesa.....	3
1.4.3	Documentación externa Endesa.....	3
1.4.4	Documentación de Proyectos asociados.....	3
1.5	Evolución del sistema de telecontrol.....	3
2	Objetivos.....	5
3	Situación Actual.....	6
3.1	Situación geográfica.....	6
3.2	La cuenca hidráulica de la noguera ribagorzana.....	6
3.2.1	Descripción de la cuenca.....	6
3.2.2	Datos específicos de la cuenca.....	7
3.2.3	Descripción del salto.....	8
3.2.4	Datos específicos del salto.....	9
3.2.5	Gestión hidráulica.....	9
3.2.5.1	Entorno energético.....	10
3.2.5.2	Servidumbres, afectaciones.....	10
3.3	Instalaciones periféricas: aportaciones de agua.....	10
3.3.1	Presas.....	10
3.3.1.1	Presa de Pont de Suert.....	10
3.3.2	Canales y sifones.....	13
3.3.2.1	Sifón Ribagorzana.....	14
3.3.2.2	Toma Vilaller.....	16
3.3.3	Azudes.....	17
3.3.3.1	Azud Bajo Baliera.....	17
3.3.4	Cámara de carga.....	19
3.3.5	Tubería Forzada.....	21
3.4	Instalaciones en la central hidráulica.....	23
3.4.1	Grupo Generador.....	23
3.4.1.1	Esquema general.....	24
3.4.1.2	Válvula.....	24
3.4.1.3	Alternador.....	25
3.4.1.4	Turbina.....	27
3.4.1.4.1	El distribuidor.....	27
3.4.1.4.2	El rodete móvil.....	28
3.4.1.4.3	El descargador.....	29
3.4.1.4.4	Características generales.....	29
3.4.1.4.5	Datos técnicos regulación y mando:.....	30
3.4.1.4.6	Fenómenos a tener en cuenta.....	31
3.4.1.5	Cojinetes.....	31
3.4.1.6	Circuito de refrigeración.....	32
3.4.1.7	Cuadro de relés.....	32
3.4.1.8	Protecciones.....	33
3.4.1.9	Interruptor y Seccionador.....	34
3.4.1.9.1	Características constructivas y funcionales.....	34

3.4.1.10	Transformadores	36
3.4.2	Sistemas auxiliares	38
3.4.2.1	Baterías.....	38
3.4.2.2	Servicios locales.....	38
3.4.2.3	Pozo de achique.....	40
3.5	Sistema de control Actual.....	41
3.5.1	Introducción	41
3.5.1.1	Consideraciones sobre sistemas hidráulicos.....	41
3.5.1.2	Consideraciones sobre los subsistemas	41
3.5.2	Instalaciones periféricas: aportaciones de agua.....	42
3.5.2.1	Presa.....	42
3.5.2.1.1	Presa de Pont de Suert	42
3.5.2.2	Canales, galerías y sifón.....	44
3.5.2.2.1	Sifón Ribagorzana	44
3.5.2.2.2	Toma Vilaller	46
3.5.2.3	Azudes.....	47
3.5.2.3.1	Azud Bajo Baliera	47
3.5.2.4	Cámara de carga	49
3.5.2.5	Tubería Forzada	52
3.5.3	Grupo Generador.....	53
3.5.3.1	Válvula	53
3.5.3.2	Alternador	54
3.5.3.3	Turbina	57
3.5.3.4	Cuadro de relés	59
3.5.3.5	Protecciones	60
3.5.3.5.1	Protección Multifunción.....	60
3.5.3.5.2	Protección Diferencial De Bloque.....	62
3.5.3.5.3	Relé De Protección Tierra Estator (95%).....	62
3.5.3.5.4	Relé De Protección Tierra Estator (100%).....	63
3.5.3.5.5	Relé De Protección Tierra Rotor (64r).....	63
3.5.3.6	Interruptor y Seccionador	63
3.5.3.6.1	Dispositivos de Control de Fluido Extintor del Arco	64
3.5.3.6.2	Tiempos de Maniobra Propios del Interruptor.....	64
3.5.3.6.3	Endurancia.....	64
3.5.3.6.4	Armario del accionamiento y mando.....	66
3.5.3.7	Transformadores	66
3.5.4	Sistemas auxiliares	68
3.5.4.1	Baterías	68
3.5.4.2	Servicios locales	70
3.5.4.3	Pozo de achique	72
3.5.5	Estructuración en sistemas y subsistemas	74
3.5.5.1	Sistema de compuertas de toma –SS1-.....	74
3.5.5.2	Sistema de Refrigeración – SS2-.....	76
3.5.5.3	Sistema de lubricación – SS3-.....	79
3.5.5.4	Sistema de Aceite de Mando –SS4-.....	79
3.5.5.5	Subsistema Pivote –SS5-.....	81
3.5.5.6	Subsistema de Excitación –SS6-.....	81
3.5.5.7	Subsistema de Sincronización –SS7-.....	83
3.5.5.8	Subsistema Regulador de Turbina –SS8-.....	86
3.5.5.8.1	Características actual regulador.....	86
4	Valoración del sistema de control actual.....	90
4.1	Criterios y puntos de vista para la valoración.....	90
4.2	Características del Sistema de Control actual.....	91
4.2.1	Hardware SICL	92
4.2.2	Software SICL.....	93
4.2.3	Scada Sistema Control Local (SICL)	93
4.2.4	Valoración sistema control SICL	93

4.3	Instalaciones periféricas: aportaciones de agua	95
4.3.1	Presa de Pont	95
4.3.2	Canales, galerías y sifón	97
4.3.2.1	Sifón Ribagorzana	97
4.3.2.2	Toma Vilaller	98
4.3.3	Azudes.....	99
4.3.3.1.1	Azud Bajo Baliera	99
4.3.4	Cámara de carga	100
4.3.5	Tubería Forzada.....	103
4.4	Grupo Generador.....	103
4.4.1	Alternador	103
4.4.1.1	Valoración comportamiento dinámico del alternador en el conjunto del grupo... 103	
4.4.1.2	Planteamiento de propuestas	103
4.4.2	Turbina	104
4.4.2.1	Valoración comportamiento dinámico de la turbina en el conjunto del grupo.... 104	
4.4.2.2	Planteamiento de propuestas	105
4.4.3	Válvula	106
4.4.3.1	Planteamiento de propuestas	106
4.4.4	Cuadro de relés.....	107
4.4.4.1	Planteamiento de propuestas	107
4.4.5	Protecciones	108
4.4.5.1	Planteamiento de propuestas	108
4.4.6	Interruptor y seccionador.....	109
4.4.6.1	Planteamiento de propuestas	109
4.4.7	Transformadores.....	109
4.4.7.1	Planteamiento de propuestas	109
4.4.7.2	Listado controles funcionales realizados al transformador:	109
4.5	Sistemas auxiliares	112
4.5.1	Baterías.....	112
4.5.1.1	Planteamiento de propuestas	112
4.5.2	Equipo aspiración vahos aceite	113
4.5.2.1	Planteamiento de propuestas	113
4.5.3	Servicios locales	114
4.5.3.1	Planteamiento de propuestas	114
4.5.4	Pozo de achique y decantador	114
4.5.4.1	Planteamiento de propuestas	114
4.6	Estructuración en sistemas y subsistemas.....	116
4.6.1	Sistema de compuertas de toma –SS1-.....	116
4.6.1.1	Planteamiento de propuestas	116
4.6.2	Sistema de Refrigeración – SS2-.....	118
4.6.2.1	Planteamiento de propuestas	118
4.6.3	Sistema de lubricación – SS3-.....	119
4.6.3.1	Planteamiento de propuestas	119
4.6.4	Sistema de Aceite de Mando –SS4-	120
4.6.4.1	Planteamiento de propuestas	120
4.6.4.2	Especificaciones de otros elementos	120
4.6.5	Subsistema Inyección Pivote –SS5-	121
4.6.5.1	Planteamiento de propuestas	121
4.6.6	Subsistema de Excitación –SS6-.....	122
4.6.6.1	Planteamiento de propuestas	122
4.6.6.2	Implementación del regulador de tensión en el automatismo	123
4.6.6.3	Implementación del regulador de factor de potencia (cos φ)	124
4.6.6.4	Requerimientos técnicos del sistema de excitación.....	124
4.6.6.5	Opción equipos nuevos (excitación diodos rotativos).....	126
4.6.7	Subsistema de Sincronización –SS7-	127
4.6.7.1	Planteamiento de propuestas	127
4.6.7.2	Implementación del sincronizador en el automatismo	129
4.6.8	Subsistema Regulador de Turbina –SS8-.....	129

4.6.8.1	Valoración comportamiento dinámico del equipo oleo-hidráulico	129
4.6.8.2	Planteamiento de propuestas	130
4.6.8.3	Implementación regulador de turbina en automatismo	131
4.6.9	Red de comunicaciones	133
4.6.9.1	Requisitos básicos del sistema de comunicaciones	133
4.6.9.2	Descripción del modelo del sistema	134
4.6.9.3	Descripción del funcionamiento de la RTU Concentrador para el intercambio de datos con los front-ends del CC	135
4.7	Cuadro resumen de interacción de subsistemas con el sistema de control ...	137
5	<i>Planteamiento de alternativas y elección del sistema de control optimizado.</i>	138
5.1	Diagrama de bloque del sistema objetivo.....	138
5.2	Valoración de alternativas para los sistemas y subsistemas.....	139
5.3	Requisitos del sistema de control: centralizado o descentralizado	140
6	<i>Especificación del sistema de control optimizado</i>	141
6.1	Arquitectura del sistema.....	141
6.2	Requisitos de software	143
6.2.1	Conceptos básicos referido a las señales	143
6.2.1.1	Clasificación de las señales	143
6.2.1.2	Señales Digitales Captadas.....	146
6.2.1.3	Señales Digitales Lógicas o Calculadas	146
6.2.1.4	Señales Analógicas Captadas	147
6.2.1.5	Señales Analógicas Lógicas o Calculadas.....	147
6.2.1.6	Mandos Digitales	147
6.2.1.7	Mandos Digitales Lógicos.....	148
6.2.1.8	Mandos Analógicos.....	148
6.2.1.9	Señales De Impulsos De Contaje	148
6.2.2	Único programa generador automatizado de bases de datos	149
6.2.2.1	El Generador de bases de datos	150
6.2.2.2	Diccionario de señales.....	150
6.2.3	Programación de secuenciales:.....	151
6.2.3.1	Función del secuencial dentro del automatismo de grupo.....	151
6.2.3.2	Concepto de Secuencia y de Paso	151
6.2.3.3	Configuración.....	152
6.2.3.4	Modularidad	152
6.2.3.5	Funcionamiento.....	152
6.2.3.6	Tipos de Servicio.....	153
6.2.3.7	Alarmas o indicaciones definidas en el automatismo.....	155
6.2.3.8	Estados definidos	157
6.2.3.9	Control	159
6.2.3.10	Tipos de secuencias:.....	160
6.2.4	Programación de lógica: enclavamientos para seguridades,.....	169
6.2.4.1	Control comunicación con equipos críticos	169
6.2.4.2	Enclavamientos	169
6.2.4.3	Cadena de seguridad a paro de emergencia del grupo.....	169
6.2.5	Programación de Lazos de control	171
6.2.5.1	Regulador de potencia activa: Variación de Potencia activa o carga del grupo ...	171
6.2.5.1.1	Regulador tipo 1	171
6.2.5.1.2	Regulador tipo 2	175
6.2.5.2	Regulador de potencia reactiva: variación de Potencia reactiva	176
6.2.5.2.1	Regulador tipo 1	176
6.2.5.2.2	Regulador tipo 2	177
6.2.5.3	Regulador de cámara de carga.....	178
6.2.5.3.1	Filosofía del regulador de nivel de cámara de carga	178
6.2.5.3.2	Consigna de nivel	179
6.2.5.3.3	Cálculo del error del nivel	179

6.2.5.3.4	Cálculo derivada del nivel	180
6.2.5.3.5	Variables necesarias	181
6.2.5.3.6	Algoritmo	181
6.2.5.3.6.1	Fuera de servicio (FS)	181
6.2.5.3.6.2	Parado, disponible para el arranque (PA)	182
6.2.5.3.6.3	Estado transitorio 1 (T1)	182
6.2.5.3.6.4	Un grupo funcionando (F1)	182
6.2.5.3.6.5	Estado transitorio 2 (T2)	184
6.2.5.3.6.6	Funcionando con 2 grupos (F2)	184
6.2.5.3.6.7	Transitorio 3 (T3)	185
6.2.5.3.6.8	Funcionando con 3 grupos (F3)	185
6.2.5.3.6.9	Transitorio 4 (T4)	185
6.2.5.3.6.10	Funcionando con 4 grupos (F4)	185
6.2.5.3.7	Acciones del ARN	185
6.2.5.3.8	Tipos de órdenes para regular carga del grupo	185
6.2.5.3.8.1	Estrategia de maniobras	187
6.2.5.3.8.2	Reparto de cargas	187
6.2.5.3.8.3	Parada de grupo	188
6.2.5.3.8.4	Prioridad de grupos	189
6.2.5.3.8.5	Inhibición de grupos	189
6.2.5.3.8.6	Parámetros de la Base de datos	189
6.2.5.3.9	Interacción con el automatismo secuencial	191
6.2.5.3.10	Interacción con el centro de control (CCPH)	191
6.2.5.4	Regulación de nivel de canal	192
6.2.5.4.1	Consigna de producción aguas abajo	192
6.2.5.4.2	Consigna de caudal aguas abajo	192
6.2.5.4.3	Consigna de nivel aguas abajo	193
6.2.5.5	Regulación de nivel de embalse y posición de compuerta	193
6.2.5.5.1	Fenómeno de la histéresis en compuertas	193
6.2.5.5.2	Supervisión mal funcionamiento	193
6.2.5.5.3	Consigna de nivel aguas arriba	194
6.2.5.5.4	Consigna de apertura de compuertas	195
6.2.6	Control Adaptativo Predictivo Avanzado	195
6.2.7	Protocolos de comunicación	196
6.2.8	Sincronización Horaria	197
6.2.9	Software Scada Local Operación	197
6.2.9.1	Requisitos Generales	197
6.2.9.2	Descripción funcionalidad	199
6.2.9.3	Adquisición señales digitales	201
6.2.9.4	Adquisición de Señales Analógicas	202
6.2.9.5	Mandos Digitales	203
6.2.9.6	Mandos Analógicos	203
6.2.10	Software Scada Remoto	203
6.3	Normalización de bases de datos	204
6.3.1	Especificación según necesidades definidas en equipos y sistemas	204
6.3.2	Agrupación de señales y tratamientos asociados	204
6.3.2.1	Descripción General de los Tratamientos	204
6.3.2.2	Destino de la información	207
6.3.3	Listado de Tratamientos de Captadas	207
6.3.3.1	Tratamiento Directo	207
6.3.3.2	Tratamiento Temporizado	209
6.3.3.3	Tratamiento Filtrado	210
6.3.3.4	Tratamiento Condicionada AND	210
6.3.3.5	Tratamiento Condicionado a función	211
6.3.3.6	Tratamiento Temporizado y Condicionada AND	211
6.3.3.7	Tratamiento Temporizada y Condicionada a función	212
6.3.3.8	Tratamiento Medida Filtrada	212
6.3.3.9	Tratamiento Medida Descrestada y Filtrada	213
6.3.3.10	Tratamiento Medida Condicionada AND	214
6.3.3.11	Tratamiento Medida Filtrada y Condicionada AND	215

6.3.3.12	Tratamiento Medida Corregida	215
6.3.4	Listado De Tratamientos De Elaborada	216
6.3.4.1	Tratamiento Directo	216
6.3.4.2	Tratamiento OR sin Mando Local.....	216
6.3.4.2.1	Tratamiento OR Genérico	216
6.3.4.2.2	Tratamiento OR función.....	217
6.3.4.3	Tratamiento OR con Mando Local.....	217
6.3.5	Ejemplos.....	219
6.4	Requisitos de hardware	223
6.4.1	Unidad Central (CPU).....	223
6.4.1.1	Procesador	223
6.4.1.2	Memoria.....	223
6.4.1.3	Reloj.....	224
6.4.1.4	Watch-Dog y Monitor	224
6.4.1.5	Interfaces de buses de campo	224
6.4.2	Alimentación.....	225
6.4.3	Tarjetas adquisición.....	225
6.4.3.1	Entradas Digitales	225
6.4.3.2	Entradas Analógicas.....	226
6.4.3.3	Salidas Digitales.....	226
6.4.3.4	Salidas / Entradas De Regulación	227
6.4.3.5	Salidas Analógicas	227
6.4.3.6	Entradas De Impulsos De Contaje.....	227
6.4.3.7	Bornes De Entrada/Salida	228
6.4.3.8	Etiquetado	228
6.4.4	Tarjetas de comunicaciones.....	229
6.4.5	Convertidores de alimentación	229
6.4.6	Panel de Control.....	229
6.4.6.1	Alarmas ó Indicaciones Visuales	229
6.4.6.2	Secuencias.....	230
6.4.6.3	Control	230
6.4.6.4	Servicio	231
6.4.6.5	Transferencia de control.....	231
6.4.6.5.1	Transferencia de mando del nivel 0 al 1 ó superiores.....	232
6.4.6.5.2	Transferencia de mando del nivel 3, 2, 1 al 0	232
6.4.6.5.3	Transferencia de mando del nivel 1 al 2.....	233
6.4.6.5.4	Transferencia de mando de los niveles 1 y 2 al nivel 3.....	233
6.4.6.5.5	Procedimiento para arrancar un grupo.....	233
6.4.7	Armario electrificado	234
6.4.8	Scada Operación.....	234
6.4.8.1	Características del sistema	234
6.4.8.2	Arquitectura del Sistema	234
6.4.8.3	Requerimientos Mínimos de Hardware.....	235
6.4.8.4	Alimentación del Scada.....	235
6.4.9	Normativa aplicable	236
6.4.9.1	Fiabilidad	237
6.4.9.2	Disponibilidad.....	237
6.4.9.3	Condiciones medioambientales.....	237
6.4.9.4	Compatibilidad electromagnética.....	237
6.4.9.5	Fenómenos permanentes	238
6.4.9.6	Fenómenos transitorios frecuentes	239
6.4.9.7	Fenómenos transitorios ocasionales.....	239
7	Ensayos, verificaciones, recepciones parciales y final.....	240
7.1	Pruebas en fábrica (FAT).....	240
7.1.1	Verificación de la continuidad.....	240
7.1.2	Medida de aislamiento.....	240
7.1.3	Rigidez dieléctrica.....	240
7.1.4	Pruebas funcionales.....	240

7.2	Pruebas de puesta en servicio (PES).....	241
7.3	Documentación técnica final	241
8	Repuestos y Formación	242
8.1	Repuestos	242
8.2	Formación	243
9	Presupuesto.....	244
10	Pliego de condiciones	245
10.1	Condiciones para la presentación de ofertas	245
10.1.1	Petición de oferta.....	245
10.1.2	Presentación de ofertas.....	245
10.1.3	Contenido de la oferta	245
10.1.3.1	Parte técnica	245
10.1.3.2	Parte económico comercial	245
10.1.4	Comunicaciones	246
10.2	Condiciones de la adjudicación.....	246
10.2.1	Alcance del suministro	246
10.2.2	Comunicaciones	246
10.2.2.1	Notificaciones contractuales.....	246
10.2.2.2	Comunicaciones de proyecto	246
10.2.2.3	Facturas.....	246
10.2.3	Plazos de entrega.....	246
10.2.4	Garantías	247
10.3	Condiciones económicas	248
10.3.1	Precios.....	248
10.3.2	Revisión de precios	248
10.3.3	Facturación.....	248
10.3.4	Pagos.....	248
10.3.5	Avales.....	249
11	Plan de Seguridad Laboral y Prevención de riesgos laborales.....	249
12	Medidas Medioambientales	250
12.1	En Obra o Servicios	250
12.2	Para el suministro de materiales.....	251
13	Control De Calidad.....	253
	APÉNDICES.....	254
	APÉNDICE “A”	254
	APÉNDICE “B”.....	256
	APÉNDICE “C”	257
	APÉNDICE “D”	258
	APÉNDICE “E”	260
	APÉNDICE “F”	261
	APÉNDICE “G”	265
	$PI = Pa_{nxt}$.....	269
	$PI + Kfa*DER > Pa_{nxt}$.....	269
	<i>PI: potencia primer grupo</i>	269

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Tabla 1 : Datos específicos cuenca</i>	7
<i>Tabla 2 : Datos específicos salto</i>	9
<i>Tabla 3 : Datos específicos canales</i>	13
<i>Tabla 4 : Listado transformadores medida y protección</i>	36
<i>Tabla 5 : Listado transformadores de potencia</i>	37
<i>Tabla 6 : Listado elementos actuales Presa de Pont</i>	42
<i>Tabla 7 : Listado elementos actuales Sifón Ribagorzana</i>	45
<i>Tabla 8 : Listado elementos actuales Toma Vilaller</i>	47
<i>Tabla 9 : Listado elementos actuales Azud Bajo Baliere</i>	47
<i>Tabla 10 : Listado elementos actuales Cámara de Carga</i>	49
<i>Tabla 11 : Listado elementos actuales Tubería Forzada</i>	52
<i>Tabla 12 : Listado elementos actuales Válvula</i>	53
<i>Tabla 13 : Listado elementos actuales Alternador</i>	55
<i>Tabla 14 : Listado elementos actuales Turbina</i>	57
<i>Tabla 15 : Listado elementos actuales Interruptor y Seccionador</i>	65
<i>Tabla 16 : Listado elementos actuales Transformador</i>	66
<i>Tabla 17 : Listado elementos actuales baterías</i>	69
<i>Tabla 18 : Listado elementos actuales SSAA o SL</i>	70
<i>Tabla 19 : Listado elementos actuales pozo achique</i>	73
<i>Tabla 20 : Listado elementos actuales compuertas de toma</i>	74
<i>Tabla 21 : Listado elementos actuales Sistema de Refrigeración</i>	77
<i>Tabla 22 : Listado elementos actuales Sistema de Aceite de Mando</i>	79
<i>Tabla 23 : Listado elementos actuales sistema pivote</i>	81
<i>Tabla 24 : Listado elementos actuales sistema de excitación</i>	82
<i>Tabla 25 : Listado elementos actuales sistema de sincronización</i>	83
<i>Tabla 26 : Listado elementos actuales sistema de regulador de turbina</i>	86
<i>Tabla 27 : Listado elementos propuestos Presa de Pont</i>	95
<i>Tabla 28 : Listado elementos propuestos Sifón Pont</i>	97
<i>Tabla 29 : Listado elementos propuestos Toma Vilaller</i>	98
<i>Tabla 30 : Listado elementos propuestos Azud Bajo Baliere</i>	99
<i>Tabla 31 : Listado elementos propuestos Cámara de Carga</i>	101
<i>Tabla 32 : Listado elementos propuestos Tubería Forzada</i>	103
<i>Tabla 33 : Listado elementos propuestos turbina</i>	105
<i>Tabla 34 : Listado elementos propuestos interruptor y seccionador</i>	109
<i>Tabla 35 : Listado elementos propuestos baterías</i>	112
<i>Tabla 36 : Listado elementos propuestos servicios locales</i>	114
<i>Tabla 37 : Listado elementos propuestos pozo de achique</i>	115
<i>Tabla 38 : Listado elementos propuestos sistema de compuertas</i>	116
<i>Tabla 39 : Listado elementos propuestos sistema de refrigeración</i>	118
<i>Tabla 40 : Listado elementos propuestos sistema de aceite de mando</i>	120
<i>Tabla 41 : Listado elementos propuestos sistema de inyección pivote</i>	122
<i>Tabla 42 : Listado elementos propuestos sistema de excitación</i>	123
<i>Tabla 43 : Listado elementos propuestos sistema de sincronización</i>	129
<i>Tabla 44 : Listado elementos propuestos regulador de turbina</i>	130
<i>Tabla 45 : Tabla resumen de decisión para todos los equipos</i>	139
<i>Tabla 46 : Listado señales cadena de disparos</i>	170
<i>Tabla 47 : Listado Tipos de estados señales dobles</i>	208

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 : Esquema cuenca noguera ribagorzana</i>	7
<i>Figura 2 : Esquema hidráulico Salto Pont de Suert</i>	8
<i>Figura 3 : Esquema elementos hidráulicos</i>	10
<i>Figura 4 : Ubicación Presa de Pont</i>	11
<i>Figura 5 : Vista Presa Pont de Suert</i>	11
<i>Figura 6 : Vista entrada canal y compuerta de río de la “Presa de Pont”</i>	12
<i>Figura 7 : Vista Compuerta automática canal de “Presa de Pont”</i>	12
<i>Figura 8 : Topología hidráulica del salto</i>	14
<i>Figura 9 : Ubicación Sifón de Pont</i>	14
<i>Figura 10 : Vista Sifón Ribagorzana lado margen izquierdo</i>	15
<i>Figura 11 : Vista entrada Sifón Ribagorzana</i>	16
<i>Figura 12 : Vista Compuertas del Sifón y de desagüe</i>	16
<i>Figura 13 : Ubicación Compuertas Vilaller</i>	17
<i>Figura 14 : Ubicación Azud Bajo Baliera</i>	17
<i>Figura 15 : Vista Presa Bajo Baliera</i>	18
<i>Figura 16 : Vista Compuertas de canal y desagüe</i>	18
<i>Figura 17 : Ubicación Cámara de carga</i>	19
<i>Figura 18 : Vista cámara de carga</i>	19
<i>Figura 19 : Sección plano cámara carga y tubería forzada</i>	20
<i>Figura 20 : Vista canal descarga y compuerta desagüe</i>	20
<i>Figura 21 : Limpiarrejas cámara y compuerta de cabecera</i>	21
<i>Figura 22 : Vista tubería forzada y chimenea de equilibrio</i>	22
<i>Figura 23 : Plano detalle tubería forzada</i>	22
<i>Figura 24 : Vista de la central y desde la cámara de carga</i>	23
<i>Figura 25 : Vista de la sala alternadores</i>	23
<i>Figura 26 : Vista longitudinal turbina y alternador</i>	24
<i>Figura 27 : Vista válvula esférica grupo y by-pass</i>	25
<i>Figura 28 : Vista alternador</i>	26
<i>Figura 29 : Detalle bobinados estator y rotor</i>	27
<i>Figura 30 : Vista tapa distribuidor y rodete</i>	27
<i>Figura 31 : Vista tapa distribuidor y servo</i>	28
<i>Figura 32 : Vista tapa distribuidor y rodete</i>	28
<i>Figura 33 : Vista orificio compensador</i>	29
<i>Figura 34 : Vista cuadro relés zona turbinas</i>	30
<i>Figura 35 : Vista equipo detección vibraciones turbina</i>	31
<i>Figura 36 : Vista cojinete turbina, pivote y junta carbones</i>	31
<i>Figura 37 : Vista sistema refrigeración general</i>	32
<i>Figura 38 : Vista cuadro relés</i>	32
<i>Figura 39 : Vista equipo multifunción protecciones</i>	33
<i>Figura 40 : Vista parque exterior</i>	35
<i>Figura 41 : Vista transformador potencia</i>	36
<i>Figura 42 : Vista equipo cargador y vasos baterías</i>	38
<i>Figura 43 : Esquema unificar servicios auxiliares corriente alterna</i>	39
<i>Figura 44 : Vista cuadros servicios locales</i>	39
<i>Figura 45 : Vista pozo de achique</i>	40
<i>Figura 46 : Confinamiento de fluidos</i>	40
<i>Figura 47 : Sensores posición compuertas</i>	43
<i>Figura 48 : Actuadores compuertas de canal</i>	43
<i>Figura 49 : Limpiarrejas entrada canal</i>	43
<i>Figura 50 : Sensor de Nivel Presa Pont</i>	44
<i>Figura 51 : Interruptor de mercurio</i>	45
<i>Figura 52 : Limpiarrejas entrada sifón, vista frontal</i>	46
<i>Figura 53 : Limpiarrejas entrada sifón, vista botonera</i>	46
<i>Figura 54 : Interruptor de posición encapsulado</i>	48
<i>Figura 55 : Compuertas motorizadas aportación baliera</i>	48
<i>Figura 56 : Equipo limpiarrejas cámara de carga</i>	50
<i>Figura 57 : Niveles y boyas cámara de carga</i>	51

Figura 58 : Vista equipo control válvula	53
Figura 59 : Detalle presostatos marca Barksdale	54
Figura 60 : Rack control temperaturas	55
Figura 61 : Vista instrumentación cojinete turbina	58
Figura 62 : Vista sinóptico arranque manual desde panel centralizado	59
Figura 63 : Equipo multifunción REM-543 de ABB	60
Figura 64 : Ejemplo de diagrama de conexiones del REM-543 de ABB	61
Figura 65 : Vista equipo buchholz y chimenea trafo	67
Figura 66 : Cuadro distribución alimentaciones CC	69
Figura 67 : Cuadro del automatismo de conmutación de SSAA	70
Figura 68 : Esquema equipo Pozo de Achique	73
Figura 69 : Boyas pozo achique	74
Figura 70 : Finales carrera control posición compuerta y grupo oleohidraulico	75
Figura 71 : Cuadro maniobra circuito refrigeración	76
Figura 72 : Esquema circuito refrigeración	78
Figura 73 : Deposito circuito aceite de mando	79
Figura 74 : Bomba principal regulador	80
Figura 75 : Armario control excitación	82
Figura 76 : Vista Panel Frontal Sincronizador Marca ABB	84
Figura 77 : Vista unidad de control regulador turbina y actuador	86
Figura 78 : Vista actuador y válvula distribuidora marca Alstom	87
Figura 79 : Vista posicionador distribuidor	87
Figura 80 : Esquema Regulador Hidráulico de Turbina	89
Figura 81 : Esquema sistema control SICL	91
Figura 82 : Armario Sistema control SICL (nudo central)	92
Figura 83 : Scada Sistema control SICL	93
Figura 84 : Monitorización Online Vibraciones Grupo	106
Figura 85 : Vista ventilador y detectores temperatura	111
Figura 86 : Cargador Baterías marca SAFT modelo TPR	112
Figura 87 : Sensor Magnetoestrictivo de Disibeint	115
Figura 88 : Transductor de posición angular “KINAX WT707-SSI” de Camille Bauer	117
Figura 89 : Equipo inyección aceite y patines pivote modificados	122
Figura 90 : Esquema excitación con diodos rotativos	127
Figura 91 : Circuito de medida propuesto	128
Figura 92 : Detector de velocidad de turbina	131
Figura 93 : Esquema simplificado comunicaciones	133
Figura 94 : Estructura protocolos comunicaciones	135
Figura 95 : Diagrama bloques sistema actual	137
Figura 96 : Diagrama bloques sistema propuesto	138
Figura 97 : Estructura 1 sistema control propuesto	141
Figura 98 : Estructura 2 sistema control propuesto	142
Figura 99 : Diagrama bloques estructura RTU de segundo nivel	143
Figura 100 : Iconos indicando los estados de alarma posibles	155
Figura 101 : Diagrama de bloques partiendo del estado parado de grupo	161
Figura 102 : Esquema funcionamiento general regulador de nivel de cámara	179
Figura 103 : Gráfica de la tendencia del nivel con ARN activo y error considerado nulo (banda muerta)	180
Figura 104 : Diagrama de bloques ARN	190
Figura 105 : Regulación de nivel de la “Presa de Pont”	194
Figura 106 : Funcionalidades Scada Local	199
Figura 107 : Interacción entre funcionalidades del Scada Local	201
Figura 108 : Definición de Tratamientos	206
Figura 109 : Definición de Tratamiento de Captada	207
Figura 110 : Definición de Tratamiento Directo	208
Figura 111 : Definición de Tratamiento Temporizado de Captadas	209
Figura 112 : Definición de Tratamiento Condicionada AND de Captadas	210
Figura 113 : Definición de Tratamiento Temporizada y Condicionada AND de Captadas	211
Figura 114 : Definición de Tratamiento Filtrado de Medida Captada	212
Figura 115 : Definición de Tratamiento Descrestado y Filtrado de Medida Captada	213
Figura 116 : Definición de Tratamiento Condicionado de Medida Captada	214
Figura 117 : Definición de Tratamiento Filtrado y Condicionado de Medida Captada	215

<i>Figura 118: Definición de Tratamiento Corrector de Medida Captada</i>	215
<i>Figura 119: Definición de Tratamiento de Elaboradas</i>	216
<i>Figura 120: Definición de Tratamiento Directo de Elaboradas</i>	216
<i>Figura 121: Definición de Tratamiento OR de Elaboradas</i>	217
<i>Figura 122: Definición de Tratamiento OR con Mando Local de Elaboradas</i>	218
<i>Figura 123 : Transferencia de control entre niveles</i>	232
<i>Figura 124 : Esquema Sistema control local</i>	235
<i>Figura 125 : Esquema funcional ondulator</i>	236
<i>Figura 126 : Detalle Ondulador de SAFT modelo ARCON ST3000</i>	236

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Este índice corresponde a los gráficos que se visualizarán como pantallas en el SCADA LOCAL.

<i>Gráfico 1 : Esquema alimentaciones CC de la Cámara de Carga</i>	52
<i>Gráfico 2 : Pantalla con indicaciones de las temperaturas y setpoints</i>	57
<i>Gráfico 3 : Esquema distribución alimentaciones CC</i>	68
<i>Gráfico 4 : Esquema distribución alimentaciones CA</i>	72
<i>Gráfico 5 : Esquema alternador-turbina</i>	104
<i>Gráfico 6 : Esquema sistema de refrigeración</i>	119
<i>Gráfico 7 : Definición de estado parado – Permisivos Grupo</i>	158
<i>Gráfico 8 : Definición de estado acoplado</i>	158
<i>Gráfico 9 : Secuencia Arranque Normal Grupo – Paso 1</i>	162
<i>Gráfico 10 : Secuencia Arranque Vacio – Paso 1</i>	163
<i>Gráfico 11 : Secuencia Conmutación de Vacio a Acoplado – Paso 1</i>	164
<i>Gráfico 12 : Secuencia Conmutación de Rodando a Acoplado – Paso 1</i>	165
<i>Gráfico 13 : Secuencia Conmutación de Vacio a Parado – Paso 1</i>	166
<i>Gráfico 14 : Secuencia Parada Normal – Paso 1</i>	167
<i>Gráfico 15 : Secuencia Parada Emergencia – Paso 1</i>	168
<i>Gráfico 16 : Seguimiento Regulador de Potencia Activa y reactiva</i>	178
<i>Gráfico 17 : Seguimiento Regulador de Nivel de Cámara de Carga</i>	191
<i>Gráfico 18 : Pantalla unificar grupos</i>	256
<i>Gráfico 19 : Pantalla unificar parque 132KV</i>	256

ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS

RTU	“Remote terminal Unit”
DicPH	Diccionario de Producción Hidráulica
DidiED	Diccionario ENDESA Distribución
GR	Grupo Hidráulico
Trafo	Transformador
SAUX	Servicios Auxiliares
IED	“Intelligent Electronic Device”
SCADA	Supervisory Control And Data Adquisition
CC	Centro de Control
GPS	Global Positioning System
GW	Gateway
IEC	International Electrotechnical Commission
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunications Union
LAN	Local Area Network
RNCC	Regulador de Nivel en Camara de Carga
TCP	Transmission Control Protocol

1 Introducción

1.1 Situación

Este proyecto se plantea como una inversión a realizar en una central hidráulica. Se trata de la modernización del sistema de control de una central hidráulica tipo y que sirve como estándar para todas las que están en la misma situación. Para la realización práctica se ha escogido la instalación ubicada en El Pont de Suert. En una primera fase se pretende realizar un estudio del estado de la instalación valorando los aspectos técnicos y económicos en función de las alternativas posibles. Lo haremos desde el punto de vista del sistema de control aunque posteriormente pondremos como requisito el integrar al máximo los diferentes subsistemas en el propio sistema de control para conseguir un mayor grado de automatización que repercuta en una mejora en el control, reduciendo los fallos y aumentando en general la fiabilidad y disponibilidad de la instalación.

1.2 Datos técnicos de la instalación

1.3 Antecedentes

Para tomar como referentes se han buscado proyectos relacionados con “centrales hidráulicas”, “energía hidráulica”. Como resultado se han encontrado proyectos en los que en general se realizan los cálculos de los elementos eléctricos, hidráulicos y se hace una pequeña descripción del automatismo y del scada local.

1.4 Referencias

Seguidamente enumero las reseñas bibliográficas más destacadas en relación con este proyecto, entre las que destacamos la norma europea EN62270:2005 como base fundamental de este proyecto, pues constituye y define los principios básicos que se han adoptado respecto al mismo. Aunque no reproduciremos aquí el contenido de este documento, sí que con frecuencia nos referiremos a él mediante las correspondientes observaciones.

1.4.1 Estándares utilizados

- UNE-EN 62270: Diciembre 2005, Automatización de centrales hidroeléctricas – Guía para el control basado en ordenador.
- UNE-EN 206003: 2001, Nomenclatura de la maquinaria de los aprovechamientos hidroeléctricos.

- UNE-EN 60870-5-104: 1998, Telecontrol equipment and systems - Part 5: Transmission protocols - Section 104: Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles.
- UNE-EN 60041: Noviembre 1998, Versión Oficial en Español - Ensayos de recepción en central de las turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bomba, para determinar sus prestaciones hidráulicas.
- UNE-EN 60193: Septiembre 2002, Versión Oficial en Español - Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bombas. Ensayos de recepción de modelo.
- UNE-EN 60308: Noviembre 2006, Versión Oficial en Español - Turbinas hidráulicas. Ensayos de los sistemas de regulación.
- UNE-EN 60545: 1976-01, Guide for commissioning operation and naintenance of hydraulic turbines
- UNE-EN 60609-1: Octubre 2005, Versión Oficial En español - Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bombas. Evaluación de la emisión por cavitación. Parte 1: Evaluación en las turbinas de reacción, bombas de acumulación y turbinas-bombas.
- UNE-EN 60609-2: Noviembre 1999, Versión Oficial en Español - Evaluación de la erosión por cavitación en las turbinas hidráulicas. bombas de acumulación y turbinas-bombas. Parte 2: Evaluación en las turbinas Pelton.
- UNE-EN 60805: 1985-09, Guide for commissioning, operation and maintenance of storage pumps and of pump-turbines operating as pumps.
- UNE-EN 60994: 1991-02, Versión Oficial en español (Incluye corrigendum de abril de 1997.) Guía para la medida en central de vibraciones y pulsaciones en máquinas hidráulicas (turbinas, bombas de acumulación y turbinas-bombas).
- UNE-EN 61116: Marzo 1997, Versión Oficial en español - Guía para el equipamiento electromecánico de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.
- CEI-IEC 61346: Marzo 1996, Versión oficial en español – Sistemas industriales, instalaciones y equipos y productos industriales. Principios de estructuración y designaciones de referencia. Parte 1: Reglas básicas.
- UNE-EN 61362: Julio 1999, Versión Oficial en Español - Guía para la especificación de los sistemas de regulación de las turbinas hidráulicas.
- IEC 61366-1: 1998-03, Versión Oficial en Español - Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bombas. Documentación de petición de ofertas. Parte 1: General y anexos.
- IEC 61366-3: 1998-03, Versión Oficial En español - Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bombas. Documentación de Petición de Ofertas- Parte 3: Recomendaciones para tas especificaciones técnicas de las turbinas Pelton.
- IEC 61366-4: 1998-03, Versión Oficial en Español - Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bombas. Documentación de Petición de Ofertas. Parte 4: Recomendaciones para las especificaciones técnicas de turbinas Kaplan y hélice"

- IEC 61366-5: 1998-03, Versión Oficial en Español - Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bomba. Documentación de Petición de Ofertas. Parte 5: Recomendación para las especificaciones técnicas de las turbinas tubulares.

1.4.2 Documentación interna Endesa.

- Tratamientos de Telecontrol del diccionario.
- Diccionario de señales de ENDESA Generación.

1.4.3 Documentación externa Endesa.

- SA-00-0000-USE-180: Unidad remota multimedidora directa SAIMED.
- SA-00-0000-UST-288: Tarjeta Controladora de Remota SAITEL-100
- GBD_SAINCO Alarmas internas hardware Saitel 2000
- UCS SAITEL 2000. Implementación Diccionario Telecontrol Endesa

Se adjunta en el APÉNDICE “E” un listado de referencias bibliográficas de artículos de revistas electrónicas de interés para este proyecto o futuros estudios.

1.4.4 Documentación de Proyectos asociados.

- Perfil de interoperabilidad para el protocolo IEC 60870-5-101. Zona Catalana. Ver 1.0. 21/6/99.
- Norma GE SNC008.Estación Remota de Telecontrol para Subestaciones de AT/MT. 1ª Edición. Enero 1999.

1.5 Evolución del sistema de telecontrol

Los sistemas de control de que se compone la Unidad de Producción hidráulica, provienen de los sistemas que poseían las empresas FECSA, ENHER-HECSA y ERZ.

Cada empresa utilizaba sistemas y protocolos diferentes y la tecnología empleada es, en todos los casos, de los años 85/90.

Los sistemas de control están basados, fundamentalmente, en las Remotas de Telecontrol de Westronic (FECSA), SICL (ENHER-HECSA) e Indactic33 (ERZ).

En el año 2000 con la fusión de los tres centros de control provenientes de cada una de las empresa se estableció como estándares los protocolos ICCP, para enlazar centros de control, y el IEC60870-101/104 , para enlazar las Remotas con los centros de control.

Con el cambio al protocolo 101 realizado en todas las remotas de ENHER-HECSA, se perdieron algunas funciones puesto que la incorporación de dicho protocolo a la cpu requería una optimización de recursos.

Asimismo se ha establecido, como estándar, las comunicaciones vía TRAME, lo que permite utilizar los diferentes canales de comunicación para cualquier tipo de necesidad de transmisión de datos (permite compartir los canales de comunicación).

A nivel de ENDESA Generación en el año 2001 se estandarizaron las Remotas de Telecontrol TELVENT, (SAITEL2000), para la sustitución de los diferentes Autómatas de grupo, totalmente obsoletos o inexistentes, de las Centrales Reversibles. Estos Autómatas también actúan de remotas de Telecontrol comunicándose con los centros de control pero incorporando el protocolo 101 como estándar.

2 Objetivos

- En primer lugar se pretende **determinar la idoneidad** del sistema de control actual de la central hidráulica objeto del proyecto.
- En base al estudio anterior el segundo objetivo se centrará en **especificar** el sistema de control más apropiado y que cumpla con los requerimientos óptimos para el funcionamiento de la instalación: ya sea modificándolo, ampliándolo o sustituyéndolo total o parcialmente. El documento resultante deberá ser válido para poder solicitar y realizar la ingeniería de detalle.

INFORMACIÓ CONFIDENCIAL

Este proyecto contiene información confidencial que no ha sido publicada,
para obtener mas información dirigirse a:

Javier Maixé Altés

Teléfono: 977 559 632

Fax: 977 559 605

E-mail: javier.maixe.urv.cat



**UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI**

Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica