



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TFG. Nº: **770G01A008**

TÍTULO: **ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

AUTOR: **GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

TUTOR: **ANTONIO COUCE CASANOVA**

FECHA: **SEPTIEMBRE DE 2013**

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR



**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **ÍNDICE GENERAL**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

<b>MEMORIA</b>	<b>10</b>
Índice	11
1 MEMORIA	13
1.1 Objeto	13
1.2 Alcance	13
1.3 Antecedentes	13
1.4 Normas y referencias	15
1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	15
1.4.2 Bibliografía	20
1.4.3 Programas de cálculo	21
1.4.4 Otras referencias	21
1.5 Definiciones y abreviaturas	22
1.6 Requisitos de diseño	26
1.6.1 Introducción	26
1.6.2 Centrales de embalse o regulación mixtas	28
1.6.2.1 Presa	29
1.6.2.1.1 Aliviadero	30
1.6.2.1.2 Desagüe de fondo y de medio fondo	31
1.6.2.1.3 Obra de toma	31
1.6.2.2 Obras de conducción	31
1.6.2.2.1 Canal	32
1.6.2.2.2 Túnel	32
1.6.2.2.3 Almenara o chimenea de equilibrio	32
1.6.2.2.4 Cámara de válvulas	34
1.6.2.2.5 Tubería de presión	34
1.6.2.2.5.1 Apoyos y anclajes de la tubería de presión	35
1.6.2.2.5.2 Diámetro y espesor de la tubería	36
1.6.2.3 Casa de máquinas	38
1.6.2.3.1 Turbina	38
1.6.2.3.1.1 Turbina Francis	39
1.6.2.3.1.2 Turbina Kaplan	40
1.6.2.3.1.3 Turbina Pelton	41
1.6.2.3.2 Generador	45

1.6.2.3.2.1	Generador asíncrono	45
1.6.2.3.2.2	Generador síncrono	45
1.6.2.3.3	Válvulas y compuertas	47
1.6.2.3.4	Galería de desagüe	50
1.6.2.3.5	Subestación elevadora	51
1.6.2.3.5.1	Transformador de potencia	52
1.6.2.3.5.2	Aparamenta	54
1.6.2.3.5.3	Transformadores de tensión e intensidad	60
1.6.2.3.5.4	Celdas de media tensión	61
1.6.2.3.5.5	Batería de corriente continua y rectificador	63
1.6.2.3.5.6	Conductores	64
1.6.2.3.5.7	Red de tierras	65
1.6.2.3.6	Servicios auxiliares	66
1.6.2.4	Diseño hidráulico	67
1.6.2.4.1	Circulación de agua y pérdidas en tuberías	67
1.6.2.4.2	Pérdida de carga en válvulas y por contracción de vena	71
1.6.2.4.3	Criterio de selección de la turbina hidráulica	72
1.6.2.5	Diseño eléctrico	76
1.6.2.5.1	Cálculo de la Sección de conductores	77
1.6.2.5.2	Cálculo de la red de tierra	82
1.6.2.6	Automatización de centrales hidroeléctricas	85
1.6.2.6.1	Diseño con autómatas programables	86
1.6.2.6.2	Regulación automática de tensión y velocidad	88
1.6.2.6.3	Arranque y paro de la central	90
1.7	Análisis de las soluciones	92
1.8	Resultados finales	93
1.8.1	Funcionamiento de la minicentral	98
1.8.2	Planificación de los trabajos	100
<b>ANEXOS</b>		<b>101</b>
Índice		102
2 ANEXOS		103
2.1	Documentación de partida	103

2.2 Cálculos	103
2.2.1 Caudal de diseño	104
2.2.2 Pérdidas de carga en el canal	104
2.2.3 Tubería de presión	105
2.2.4 Pérdida de carga en la bocatoma	106
2.2.5 Pérdidas en la cámara de carga	106
2.2.6 Pérdida en los codos	107
2.2.7 Pérdida en la válvula de guarda de la turbina	107
2.2.8 Golpe de ariete y chimenea de equilibrio	107
2.2.9 Salto neto y potencia útil	108
2.2.10 Elección de la turbina	108
2.2.11 Generador	109
2.2.12 Transformador	110
2.2.13 Interconexión a la red	110
2.2.14 Puesta a tierra	111
2.2.14.1 Tierra de protección	111
2.2.13.2 Tierra de servicio	113
2.3 Justificación económica	114
2.3.2 Índices de rentabilidad	115
2.3.2.1 Periodo simple de retorno	116
2.3.2.2 Índice de Energía	117
2.3.2.3 Índice de Potencia	117
2.3.3 Análisis de la rentabilidad de la inversión	117
2.3.3.1 Valor Actual Neto (VAN)	117
2.3.3.2 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	118
<b>ESTADO DE MEDICIONES</b>	<b>120</b>
Índice	121
3 ESTADO DE MEDICIONES	122
3.1 Capítulo I: obra civil, accesos	122
3.2 Capítulo 2: obra civil, bocatoma, canal y cámara de carga	122
3.3 Capítulo 3: obra civil, casa de máquinas	123
3.4 Capítulo 4: Instalación tubería de presión	123

3.5 Capítulo 5: Equipamiento mecánico-hidráulico	124
3.6 Capítulo 6: Equipamiento eléctrico	125
<b>PRESUPUESTO</b>	<b>127</b>
Índice	128
<b>4 PRESUPUESTO</b>	<b>129</b>
4.1 Capítulo I: obra civil, accesos	129
4.2 Capítulo 2: obra civil, bocatoma, canal y cámara de carga	129
4.3 Capítulo 3: obra civil, casa de máquinas	130
4.4 Capítulo 4: Instalación tubería presión	130
4.5 Capítulo 5: Equipamiento mecánico-hidráulico	131
4.6 Capítulo 6: Equipamiento eléctrico	132
4.7 Presupuesto general	133
<b>PLIEGO DE CONDICIONES</b>	<b>134</b>
Índice	135
<b>5 PLIEGO DE CONDICIONES</b>	<b>137</b>
5.1 Ámbito de aplicación y alcance	137
5.2 Disposiciones legales, instrucciones y normas complementarias de aplicación	137
5.3 Documentación técnica	139
5.4 Desarrollo y control de las obras	140
5.5 Materiales	145
5.5.1 Zahorras	146
5.5.2 Rellenos compactados	146
5.5.3 Gravas para relleno de base	148
5.5.4 Áridos para hormigones	148
5.5.5 Cementos y hormigones	148
5.5.6 Morteros de cemento	150
5.5.7 Lechadas de cemento	151
5.5.8 Acero en barras para hormigones	152
5.5.9 Mallas electro soldadas	153

5.5.10	Encofrados de madera y/o chapa	154
5.5.11	Acero en perfiles conformados, laminados y tubos	154
5.5.12	Chapas y paneles metálicos	156
5.5.13	Tornillos para uniones de perfiles metálicos	156
5.5.14	Prefabricados de cemento y hormigón	156
5.5.15	Tuberías de polietileno y pvc	157
5.5.16	Pinturas	158
5.5.17	Elementos metálicos embebidos en obras de fábrica y hormigones	159
5.6	Ejecución de obras de hormigón	159
5.7	Excavaciones en zanjas, pozos y cimentaciones	161
5.8	turbina	163
5.9	Rejas y compuertas	165
5.10	Tubería forzada	165
5.11	Generador	166
5.12	Transformador	166
5.13	Celdas para alta tensión	167
5.14	Aparellaje y conductores para alta tensión	167
5.15	Aparellaje y conductores para baja tensión	168
5.16	Ejecución de unidades de obra no previstas, indefinidas o no especificadas	169
5.17	Medios auxiliares	170
5.18	Modo de abonar las obras concluidas y las incompletas	171
	<b>ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD</b>	<b>172</b>
	Índice	173
6	ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	173
6.1	Objeto del Plan de Seguridad y Salud	173
6.2	Disposiciones legales de aplicación	174
6.3	Datos generales de la obra	176
6.3.1	Unidades Constructivas que Componen la Obra	176
6.3.2	Maquinaria y Medios Auxiliares	176



6.3.3 Instalaciones Provisionales de Obra	177
6.4 Análisis de Riesgos	177
6.4.1 Riesgos en demoliciones, movimientos de tierras y hormigonado	177
6.4.2 Riesgos en tuberías y Accesorios	178
6.4.3 Riesgos en obras de fábrica	179
6.4.4 Riesgos en maquinaria y medios auxiliares	180
6.4.5 Riesgos Eléctricos	181
6.5 Medidas de Prevención y Protección	181
6.5.1 Medidas de prevención en demoliciones, movimientos de tierras y hormigonado	181
6.5.2 Medidas de prevención en tuberías y Accesorios	183
6.5.3 Medidas de prevención en obras de fábrica	184
6.5.4 Medidas de prevención en maquinaria y medios auxiliares	184
6.5.5 Medidas de prevención en trabajos eléctricos	188
6.6 Medidas de Protección personales y colectivas de la Obra	190
6.6.1 Protecciones personales	191
6.6.2 Protecciones colectivas	192
6.7 Servicios e instalaciones en la obra	193
6.7.1 Servicio técnico de seguridad e higiene	193
6.7.2 servicios médico y de higiene	193
6.7.3 Vigilante y comité de seguridad e higiene	194
6.8 Instrucciones en Caso de Emergencia	194
6.9 Participación de los Trabajadores	195
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>197</b>
Índice	198
<b>7 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>199</b>
7.1 Introducción	199
7.2 Legislación ambiental aplicable	200
7.2.1 Normativa de aplicación en materia de medio atmosférico	200
7.2.2 Normativa de aplicación en materia de calidad acústica	201
7.2.3 Normativa de aplicación en materia de calidad de aguas	201

7.2.4 Normativa de aplicación en materia de residuos	202
7.2.5 Normativa de aplicación en materia efectos ambientales	202
7.2.6 Normativa en materia de Espacios Naturales y Especies Protegidas	203
7.2.7 Normativa de aplicación en materia de pesca fluvial	204
7.3 Descripción del proyecto	204
7.4 Descripción ambiental del área de estudio	205
7.4.1 Características hidromorfológicas del cauce	205
7.4.2 Características limnológicas	207
7.4.3 Espacios naturales protegidos (P.N. Fragas do Eume)	209
7.4.4 Usos del río	210
7.5 Análisis de efectos ambientales	210
7.5.1 Ámbito del estudio	210
7.5.2 Acciones del proyecto sobre el medio atmosférico.	210
7.5.3 Acciones del proyecto sobre el medio acuático	211
7.5.4 Acciones del proyecto sobre el medio terrestre y la ribera	211
7.5.5 Acciones del proyecto sobre el medio socioeconómico y perceptual	212
7.6 Medidas preventivas y correctoras	212
7.6.1 Medidas para prevenir la afectación a las infraestructuras	213
7.6.2 Medidas para prevenir la contaminación acústica	214
7.6.3 Medidas para prevenir la contaminación del aire (emisiones)	214
7.6.4 Medidas para prevenir vertidos y derrames accidentales	214
7.6.5 Medidas para prevenir acciones al paisaje y usos recreativos	215
7.7 Plan de vigilancia	216
7.7.1 Plan de vigilancia para el río	217
<b>PLANOS</b>	<b>218</b>
Índice	219
Plano 1: Mapa situación central 1:200000	220
Plano 2: Mapa situación central 1:5000	221
Plano 3: Topografía y planta general	222
Plano 4: Trazado línea 20 Kv y tubería de presión	223
Plano 5: Situación equipos en casa de máquinas	224

Plano 6: Detalle cuenco captación	225
Plano 7: Detalle apoyo y anclaje tubería de presión	226
Plano 8: Transformador y celdas CT	227
Plano 9: Esquema de fuerza	228
Plano 10: Esquema servicios auxiliares	229
Plano 11: Esquema regulación tensión y frecuencia	230
Plano 12: Planificación temporal de trabajos	231

**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **MEMORIA**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

## ÍNDICE

1 MEMORIA	13
1.1 Objeto	13
1.2 Alcance	13
1.3 Antecedentes	13
1.4 Normas y referencias	15
1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	15
1.4.2 Bibliografía	20
1.4.3 Programas de cálculo	21
1.4.4 Otras referencias	21
1.5 Definiciones y abreviaturas	22
1.6 Requisitos de diseño	26
1.6.1 Introducción	26
1.6.2 Centrales de embalse o regulación mixtas	28
1.6.2.1 Presa	29
1.6.2.1.1 Aliviadero	30
1.6.2.1.2 Desagüe de fondo y de medio fondo	31
1.6.2.1.3 Obra de toma	31
1.6.2.2 Obras de conducción	31
1.6.2.2.1 Canal	32
1.6.2.2.2 Túnel	32
1.6.2.2.3 Almenara o chimenea de equilibrio	32
1.6.2.2.4 Cámara de válvulas	34
1.6.2.2.5 Tubería de presión	34
1.6.2.2.5.1 Apoyos y anclajes de la tubería de presión	35
1.6.2.2.5.2 Diámetro y espesor de la tubería	36
1.6.2.3 Casa de máquinas	38
1.6.2.3.1 Turbina	38
1.6.2.3.1.1 Turbina Francis	39
1.6.2.3.1.2 Turbina Kaplan	40
1.6.2.3.1.3 Turbina Pelton	41
1.6.2.3.2 Generador	45
1.6.2.3.2.1 Generador asíncrono	45

1.6.2.3.2	Generador síncrono	45
1.6.2.3.3	Válvulas y compuertas	47
1.6.2.3.4	Galería de desagüe	50
1.6.2.3.5	Subestación elevadora	51
1.6.2.3.5.1	Transformador de potencia	52
1.6.2.3.5.2	Aparamenta	54
1.6.2.3.5.3	Transformadores de tensión e intensidad	60
1.6.2.3.5.4	Celdas de media tensión	61
1.6.2.3.5.5	Batería de corriente continua y rectificador	63
1.6.2.3.5.6	Conductores	64
1.6.2.3.5.7	Red de tierras	65
1.6.2.3.6	Servicios auxiliares	66
1.6.2.4	Diseño hidráulico	67
1.6.2.4.1	Circulación de agua y pérdidas en tuberías	67
1.6.2.4.2	Pérdida de carga en válvulas y por contracción de vena	71
1.6.2.4.3	Criterio de selección de la turbina hidráulica	72
1.6.2.5	Diseño eléctrico	76
1.6.2.5.1	Cálculo de la Sección de conductores	77
1.6.2.5.2	Cálculo de la red de tierra	82
1.6.2.6	Automatización de centrales hidroeléctricas	85
1.6.2.6.1	Diseño con autómatas programables	86
1.6.2.6.2	Regulación automática de tensión y velocidad	88
1.6.2.6.3	Arranque y paro de la central	90
1.7	Análisis de las soluciones	92
1.8	Resultados finales	93
1.8.1	Funcionamiento de la minicentral	98
1.8.2	Planificación de los trabajos	100

## **1 MEMORIA**

### **1.1 Objeto**

La finalidad del presente trabajo es realizar un estudio de viabilidad, tanto técnica como económica, que justifique acometer las obras de rehabilitación y puesta de nuevo en marcha de la antigua central hidroeléctrica de Ventureira, situada en el cauce del río Eume a su paso por el municipio coruñés de A Capela.

Para ello se toma como base de partida las antiguas instalaciones de la minicentral y aprovechando en lo posible las todavía operativas, el presente estudio contempla tanto los desarrollos teóricos como la descripción de todos los equipos e instalaciones necesarias para la puesta, de nuevo en servicio, de la mencionada central hidroeléctrica.

### **1.2 Alcance**

El presente estudio abarca todas las etapas del diseño de una central hidroeléctrica de agua embalsada, y que principalmente son:

- Captación del recurso hídrico.
- Conducción del agua hasta la minicentral.
- Cálculo y selección del equipamiento electromecánico.
- Diseño de subestación eléctrica y línea de evacuación.
- Control y telemando de la instalación.
- Rehabilitación de la casa de máquinas.

### **1.3 Antecedentes**

La Antigua Central hidroeléctrica de Ventureira, ubicada en el corazón de As Fragas do Eume, en el municipio de A Capela perteneciente a la provincia de A Coruña, es una de las primeras minicentrales hidroeléctricas Gallegas de principios del siglo XX que aprovechó los recursos hídricos para obtener energía eléctrica.

Bajo la dirección del ingeniero de caminos coruñés don Emilio Pan Español (que trabajaba también en el proyecto de la central de la Fervenza, en Neda), los técnicos comenzarán en 1897 los estudios de las posibilidades de aprovechamiento hidroeléctrico del salto da Ventureira. La opción elegida proyectaba un aprovechamiento de un salto de 160 metros con un máximo de 3.000 litros por segundo de caudal aprovechado. Se solicitaba el aprovechamiento de los caudales del río Eume y del riachuelo de Teixido mediante dos canales construidos en la ladera derecha del Eume que conflúan en un depósito de regulación o cámara de carga, y se preveía la posterior construcción de un embalse de acumulación en el río Eume. Desde la cámara de carga las aguas se llevaban a la central por una tubería de chapa de acero de ochenta centímetro de diámetro y unos 210 metros de longitud. La casa de máquinas disponía del alojamiento de las turbinas, generadores y transformadores precisos, construyéndose una vivienda contigua para el operador.

El proyecto de construcción se presentó en 1901, dando comienzo las obras ese mismo año, obtuvo concesión del salto en enero de 1902 y del embalse en marzo de 1919, se inauguró a principios de 1903.

Tras su puesta en funcionamiento la mayor parte de la producción eléctrica se conduce a Coruña. Tras un planteamiento inicial de alojar 6 turbinas Voith de 600 caballos, finalmente por dificultades financieras se instala en 1902 dos turbinas de 500 HP J.M.Voith - Heidenheim Würtemberg, que pasan a formar las unidades 2 y 3. En 1909 tras un acuerdo suministra energía a la central de A Fervenza en el río Belelle.

En 1911 y 1920 se completa la instalación con las dos últimas turbinas de la central, las número 4 y 1, de 2000 HP cada una, conectadas a dos alternadores Siemens Schuckert de 1360 y 1800 KVA. Las turbinas eran movidas por un caudal de 3.000 l/s, provocado por el desnivel de 160 metros sobre el embalse. La corriente se generaba a una tensión de 2.200 voltios, transformados para transporte a 33.000 y 15.000 voltios.

La central fue explotada durante más de 25 años por la Electra Industrial Coruñesa hasta ser transferida a Fábricas Coruñesas de Gas y Electricidad. En



diciembre de 1946 la Sociedad General Gallega de Electricidad protocoliza a su favor su compra venta y cesión dentro de su política expansionista, posteriormente es a su vez absorbida por FENOSA en 1955 que continúa con la explotación.

En 1959 se pone en funcionamiento la nueva central. Como consecuencia de la falta de caudal por el llenado del nuevo embalse la central de Ventureira se cierra y abandona.

## **1.4 Normas y referencias**

### **1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas**

Para la realización del presente proyecto se han considerado las siguientes disposiciones técnicas y administrativas que a continuación se relacionan:

- Decreto de 12 de marzo de 1954, del Ministerio de Industria, por el que se aprueba el reglamento de verificaciones eléctricas y regularidad en el suministro de energía (B.O.E. del 15-04-54).
- Decreto 2.414/1961, de 30 de noviembre, de la Presidencia del Gobierno, por el que se aprueba el reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas (B.O.E. del 07-12-64).
- Orden de 15 de marzo de 1963, de la Presidencia del Gobierno, por la que se aprueba una instrucción que dicta normas complementarias para la aplicación del reglamento de actividades molestas, Insalubres, nocivas y peligrosas (B.O.E. N° 79 de 02 de abril de 1.963).
- Decreto 2183/1.968, de 16 de agosto, por el que se regula la aplicación del reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas en las zonas de dominio público y sobre actividades ejecutables directamente por órganos oficiales (B.O.E. N° 227 de 20 de septiembre y 242 de 8 de octubre de 1.968).
- Ley 10/1966, de 18 de marzo, de la presidencia del gobierno, de expropiación forzosa y sanciones en materia de instalaciones eléctricas (B.O.E. del 19-03-66).
- Decreto 2.619/1966, de 20 de octubre, de la Presidencia del Gobierno, por el que se aprueba el reglamento de la Ley 10/1966, de 18 marzo, sobre expro-

piación forzosa y sanciones en materia de instalaciones eléctricas (B.O.E. del 24-10-66).

- Decreto 2.617/1966, de 20 de octubre, de la Presidencia del Gobierno, sobre autorización de instalaciones eléctricas (B.O.E. del 24-10-66).
- Orden de 31 de marzo de 1967, del Ministerio de Obras Publicas, por la que se aprueba la Instrucción para proyecto, construcción y explotación de grandes presas (B.O.E. del 27-10-67).
- Decreto 3.151/1968, de 28 de noviembre, del Ministerio de Industria, por el que se aprueba el reglamento de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (B.O.E. del 27-12-68).
- Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo (9 de marzo de 1971).
- Decreto 2.413/1973, de 20 de septiembre, del Ministerio de Industria, por el que se aprueba el reglamento electrotécnico para baja tensión (B.O.E. del 09-10-73).
- Orden de 31 de octubre de 1973, del Ministerio de Industria, por la que se aprueban las Instrucciones Complementarias denominadas MIE-BT, con arreglo a lo dispuesto en el Reglamento electrotécnico para baja tensión (B.O.E. del 27, 28,29 y 31 de diciembre de 1976).
- Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre conservación de energía (B.O.E. del 27-01-81).
- Real Decreto 1.217/1981, de 10 de abril, de la Presidencia del Gobierno, para el fomento de la producción hidroeléctrica en pequeñas centrales (B.O.E. del 24-06-81).
- Real Decreto 872/1982, de 5 de marzo, de la Presidencia del Gobierno, sobre tramitación de expedientes de solicitud de beneficios creados por la Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre conservación de energía (B.O.E. del 06 de Mayo de 1982).

- Real Decreto 907/1982, de 2 de abril, del Ministerio de Industria y Energía, sobre fomento de la autogeneración de energía eléctrica (B.O.E. del 10-05-82).
- Real Decreto 1.544/1982, de 25 de junio, de la Presidencia del Gobierno, para el fomento de la construcción de centrales hidroeléctricas (B.O.E. del 16-07-82).
- Orden de 7 de julio de 1982, del Ministerio de Industria y Energía, por la que se establecen normas para la obtención de la condición de auto generador eléctrico (B.O.E. del 17-07-82).
- Orden de 7 de julio de 1982, del Ministerio de Industria y Energía, por la que se regulan las relaciones técnicas y económicas entre autos generadores y empresas o entidades eléctricas (B.O.E. del 17-07-82).
- Orden de 28 de julio de 1982, del Ministerio de Industria y Energía, por la que se desarrolla el Real Decreto 1.217/1981, de abril, sobre fomento de la producción hidroeléctrica en pequeñas centrales (B.O.E. del 05-08-82).
- Real Decreto 2.949/1982, de 15 de octubre, del Ministerio de Industria y Energía, por el que se dan Normas sobre acometidas eléctricas y se aprueba el Reglamento correspondiente (B.O.E. del 12-11-82).
- Real Decreto 3.275/1982, de 12 de noviembre, del Ministerio de Industria y Energía, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (B.O.E. del 01-12-82).
- Orden de 6 de julio de 1984, del Ministerio de Industria y Energía, por la que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias del reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación, denominadas MIE-RAT (B.O.E. del 1 de agosto de 1.984).
- Real Decreto 916/1985, de 25 de mayo, de la Presidencia del Gobierno, por el que se establece un procedimiento abreviado de tramitación de concesiones y autorizaciones administrativas para la instalación, ampliación o adaptación de aprovechamientos hidroeléctricos con potencia nominal no superior a 5.000 kva. (B. O. E. del 22 de junio de 1.985).

- Ley 29/1985, de 2 de agosto, de la Jefatura del Estado, de Aguas (B.O.E. N° 189 de 8 de agosto de 1.985 y N° 243 de 10 de octubre).
- Orden de 5 de septiembre de 1985, del Ministerio de Industria y Energía, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5.000 kva. y centrales de auto generación eléctrica (B.O.E. del 12-09-85).
- Real Decreto 555/1.986, de 21 de febrero, por el que se implanta la obligatoriedad de la inclusión de un estudio de seguridad e higiene en el trabajo en los proyectos de edificación y obras públicas. (B.O.E. N° 69, de 21 de marzo de 1.986).
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, por el que se aprueba el reglamento del dominio público hidráulico que desarrolla parcialmente la Ley de Aguas (B.O.E. del 30-04-86).
- Real Decreto 1.075/1986, de 2 de mayo, de la Presidencia del Gobierno, por el que se establecen normas sobre las condiciones de los suministros de energía eléctrica y la calidad de este servicio (B.O.E. del 06-06-86).
- Real Decreto Legislativo 1.302/1986, de 28 de junio, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, de evaluación de Impacto Ambiental (B.O.E. del 30-06-86).
- Decreto 241/1987, de 29 de enero, de la Consellería de la Presidencia de la Xunta de Galicia, sobre asunción de competencias en materia de obras hidráulicas (D.O.G. del 11-02-87).
- Real Decreto 2491/1.988, de 18 de marzo (B.O.E. N° 70 de 22 de marzo de 1.988), desarrollado por orden de 3 de febrero de 1.989 (B.O.E. N° 35 de 10 de febrero de 1.989) por el que se modifica el Real Decreto 916/1985, de 25 de mayo, de la Presidencia del Gobierno, sobre procedimiento abreviado de tramitación de concesiones y autorizaciones administrativas para la instalación, ampliación o adaptación de aprovechamientos hidroeléctricos con potencia nominal no superior a 5.000 kva.
- Real Decreto 1.131/1988, de 30 de septiembre, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, por el que se aprueba el reglamento para la ejecución del Real

Decreto Legislativo 1.302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental (B.O.E. del 5 de octubre de 1.988).

- Ley 4/1.989, de 27 de marzo, de conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres. Jefatura del Estado. (B.O.E. Nº 74 de 28 de marzo de 1.989).
- Decreto 442/1990, de 13 de septiembre, de la Consellería de la Presidencia y administración pública de la Xunta de Galicia, de evaluación del impacto ambiental para Galicia (D.O.G. del 25-09-90).
- Normas Complementarias y Subsidiarias de Planeamiento de las Provincias de A Coruña, Lugo, Ourense y Pontevedra. (D.O.G. Nº 116, de 19 de junio de 1.991).
- Decreto 327/1991, de 4 de octubre, de la Consellería de la Presidencia y Administración Pública de la Xunta de Galicia, de evaluación de efectos ambientales para Galicia (D.O.G. del 15 de octubre de 1.991).
- Real Decreto 2.252/1991, de 24 de julio, del Ministerio de Obras Públicas y transportes, por el que se aprueba la instrucción EH-91 para el Proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (B.O.E. del 13 de septiembre de 1.991).
- Ley 7/1992, de 24 de julio, de la Consellería de la Presidencia de la Xunta de Galicia, de pesca fluvial (D.O.G. del 05-08-92).
- Real Decreto 2543/1.994, de 29 de diciembre, por el que se aprueba la Norma de construcción sismo resistente: parte general y edificación (NCSE-94).
- Ley 1/1.995, de 2 de enero, de protección ambiental de Galicia. (D.O.G. Nº 29 de 10 de febrero de 1.995).
- Orden de 12 de marzo de 1.996 del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente por la que se aprueba el reglamento técnico sobre seguridad en presas y embalses. (B.O.E. Nº 78 de 30 de marzo de 1.996).
- Orden del 11 de febrero de 1.997, de la Consellería de Industria e Comercio de la Xunta de Galicia, por la que se establece el procedimiento para la ejecución y

puesta en servicio de las instalaciones eléctricas de baja tensión. (D.O.G. N° 36 de 21 de febrero de 1.997).

- Ley 1/1.997, de 24 de marzo, del Suelo de Galicia (D.O.G. N° 59, de 26 de marzo de 1.997).
- Real Decreto 485/1.997, de 14 de abril, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (B.O.E. N° 97 de 23 de abril de 1.997).
- Real Decreto 486/1.997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (B.O.E. N° 97 de 23 de abril de 1.997).
- Norma de "Unión Eléctrica Fenosa, S.A." sobre condiciones técnicas para la conexión a la Red de Unión-Fenosa de centrales hidroeléctricas de hasta 5.000 kva y centrales de auto generación.

#### **1.4.2 Bibliografía**

Se han consultado las siguientes referencias bibliográficas para llevar a cabo el desarrollo teórico de este proyecto:

- Manual de mini y microcentrales hidráulicas, Intermediate Technology Development Group, ITDG-PERU.
- Control de minicentrales hidroeléctricas fluyentes. Modelado y estabilidad. Publicación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos. (Madrid).
- Manual de pequeña hidráulica, Celso Penche (U. Politécnica de Madrid).
- Minicentrales hidroeléctricas. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (Adriana Castro).
- Mecánica de fluidos. Irving h. shames (Mcgraw-Hill).
- Mecánica de los Fluidos e Hidráulica - Ranald Gile (McGraw Hill).

- Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica. European Small Hydropower Association (ESHA).
- UNESA, Métodos de cálculo y Proyecto de Instalaciones de Puesta a Tierra para Centros de Transformación Conectados a Redes de Tercera Categoría.
- Protecciones en las instalaciones eléctricas evolución y perspectivas. Montané Sangrá, Paulino. Barcelona : Marcombo, D.L. 1990.
- Máquinas eléctricas. Jesús Fraile Mora.– 6ª ed.–Madrid : McGraw-Hill.
- MACIAS, F. y R. CALVO DE ANTA (1992). Suelos de la provincia de La Coruña. Ed. Serv. Publ.Diputación Provincial de La Coruña.
- SOCIEDADE GALEGA DE HISTORIA NATURAL (1995). Atlas de vertebrados de Galicia. Consello da Cultura Galega. Santiago de Compostela.
- CALVO DE ANTA, R., F. MACIAS y A. RIVEIRO (1992). Aptitud agronómica de los suelos de la provincia de La Coruña (Cultivos, pinos, robles, eucaliptos y castaños). Ed. Serv. Publ. Diputacion Provincial de La Coruna.
- CARBALLEIRA y col. (1983). Bioclimatología de Galicia. Ed. Fundación Pedro Barrié de la Maza.

### **1.4.3 Programas de cálculo**

Para el estudio económico (cálculo del TIR y del VAN) y para el tratamiento de los datos y resolución de ecuaciones se ha utilizado el programa EXCEL 2007.

Por otro lado para la realización de planos en 2D, se ha utilizado el programa de diseño AutoCAD 2007.

### **1.4.4 Otras referencias**

En las siguientes direcciones web se pueden consultar catálogos y documentación técnica de distintos fabricantes de componentes eléctricos e hidráulicos utilizados en minicentrales hidroeléctricas:

- <http://www.legrand.cl/inter/liblocal/tecnicos%20pdf/CAPGPLG2.PDF>

- <http://www.tecnocable.es/>
- <http://www.ormazabal.es>
- <http://www.merlengerin.es/>
- <http://www.schneiderelectric.es/index.html>
- <http://www.connel.com/freeware/scripts.shtml>.
- [www.automatas.org/Siemens/s7-200.htm](http://www.automatas.org/Siemens/s7-200.htm)
- <http://www.industrystock.es/html/goto.php?lang=es&statistik=6&h=395364&fromword=1562&suchbegriff=Turbinas%20Francis>
- <http://www.mitsubishisolar.com/catalogo2004.pdf>
- [www.hydrowatt.de](http://www.hydrowatt.de)
- [www.abb.es](http://www.abb.es)
- [www.turbinas3hc.com](http://www.turbinas3hc.com)
- [http://www.ingeteam.com/Portals/0/Productos/Documentos/SBP17\\_\\_Indar%20Hydro%20Solutions.pdf](http://www.ingeteam.com/Portals/0/Productos/Documentos/SBP17__Indar%20Hydro%20Solutions.pdf)
- <http://www.balino.es>
- [www.inersol.es/thidraulica.htm](http://www.inersol.es/thidraulica.htm)
- [www.tubacero.es/es/7/catalogos-tubos-acero](http://www.tubacero.es/es/7/catalogos-tubos-acero)
- [www.imcyc.com/normas/NMX-C-012-1994-scfi.pdf](http://www.imcyc.com/normas/NMX-C-012-1994-scfi.pdf)

## 1.5 Definiciones y abreviaturas

A continuación se definen una serie de conceptos que se han utilizado a lo largo del texto y que facilitan su interpretación:

- **Actuador hidráulico:** es el dispositivo que convierte la energía hidráulica a energía mecánica y se encarga de aplicar la fuerza para el movimiento del vástago que desplaza el distribuidor de la turbina.



- **Amperímetro:** dispositivo capaz de medir la corriente que circula a través de un circuito eléctrico.
- **Voltímetro:** instrumento que mide la tensión entre dos puntos de un circuito eléctrico.
- **Vatímetro:** elemento electrodinámico que mediante la medición de tensiones y corrientes de un circuito, nos ofrece la potencia eléctrica consumida o suministrada por un circuito o carga.
- **Contador de activa:** se trata de un dispositivo capaz de medir la potencia activa, acumulando el consumo total.
- **Contador de reactiva:** se trata de un dispositivo capaz de medir la potencia reactiva, acumulando el consumo total.
- **Frecuencímetro:** elemento electrodinámico que es capaz de medir frecuencias de corriente alterna en circuitos eléctricos.
- **Cosfímetro:** instrumento que mide el factor de potencia a la que trabaja la red o una carga aislada, comparando energía activa y reactiva.
- **Cavitación:** Formación de burbujas de vapor en un fluido debida a cambios bruscos de velocidad al encontrarse la presión por debajo de la de vaporización. Estas burbujas tienden a ir hacia las zonas con menor presión.
- **Cuenca hidrográfica:** Superficie de terreno, cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta.
- **Electrodo de tierra:** es un conductor metálico, o un sistema de conductores metálicos interconectados, u otras piezas metálicas que actúan del mismo modo, empotradas en el suelo y en contacto eléctrico con el mismo, o empotradas en hormigón, que esté en contacto con la tierra en una gran superficie (p.ej., los cimientos de un edificio).
- **Flujos de caja:** en finanzas y en economía se entiende por flujo de caja o flujo de fondos (en inglés cash flow) los flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período dado. El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en

un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa.

- **Impacto ambiental:** alteración favorable (impacto positivo) o desfavorable (impacto negativo) en el medio natural producido por una acción o actividad.
- **KVA:** kilovoltio amperio reactivo, unidad de medida de la potencia aparente, que se define como el producto de la tensión por la intensidad en circuitos eléctricos de corriente alterna.
- **Maxímetro:** un máximometro o medidor de demanda es un instrumento de medición eléctrico cuya finalidad es obtener el valor máximo de la potencia eléctrica demandada o entregada durante un periodo de tiempo (normalmente el periodo de facturación de una compañía suministradora de energía eléctrica).
- **Minicentral hidroeléctrica:** central hidroeléctrica de potencia inferior a 10 MW en España y Europa.
- **PLC:** controlador lógico programable, de sus siglas en inglés, son dispositivos electrónicos que reproducen programas informáticos, que permiten controlar procesos automáticamente.
- **Potencial superficial de tierra:** es la diferencia de tensión entre un punto  $x$  sobre la superficie del terreno y la tierra de referencia.
- **Puesta a tierra o sistema de puesta a tierra:** es el conjunto de todos los medios y procedimientos por los que una parte de un circuito eléctrico, las partes conductoras accesibles de los equipos eléctricos (partes metálicas descubiertas) o partes conductoras próximas a una instalación eléctrica (partes metálicas ajenas a la propia instalación eléctrica) se conectan a tierra.
- **Resistividad del terreno:** es la resistencia, medida entre dos caras opuestas de un cubo del terreno de un metro de arista. La resistividad del terreno se expresa en  $\Omega\text{m}$ .
- **SCADA** consiste en una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, brindando comunicación con los dispositivos de campo (PLC) y controlando el proceso de forma

automática desde la pantalla del ordenador por medio de una interfaz gráfica. También provee información útil que se genera durante el proceso productivo, la cual puede ser analizada para determinar la eficiencia del proceso y almacenar datos.

- **Sensor:** es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores, o transductores, analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios o 4 a 20 mA.

- **Sistema de control en lazo cerrado:** es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado. También es llamado control realimentado.

- **Servo-válvula:** es una válvula solenoide que incluye una bobina y una válvula piloto. La bobina es excitada con una corriente variable y dependiendo de la corriente aplicada a la servo-válvula, la válvula piloto se desplazará en el interior del solenoide cambiando de puertos con lo que el flujo de aceite al actuador aumentará o se drenará posicionando el distribuidor de la turbina.

- **Tensión de Contacto:** Es la diferencia de potencial entre la elevación del potencial de tierra (GPR) y el potencial superficial en el punto en donde una persona esta parada mientras al mismo tiempo tiene una mano en contacto con una estructura metálica aterrizada.

- **Tensión de Paso:** Es la diferencia de potencial superficial que puede experimentar una persona con los pies separados a 1 metro de distancia y sin hacer contacto con algún objeto aterrizado

- **Tensión de puesta a tierra:** es la tensión que aparece entre el sistema de puesta a tierra y la tierra de referencia, cuando un determinado valor de la corriente de tierra fluye a través del sistema de puesta a tierra.

- **Tierra de referencia:** es la parte del terreno, en especial sobre la superficie, situado fuera del área de influencia del electrodo de tierra considerado, es decir, entre dos puntos cualesquiera entre los que no existe una tensión perceptible, como resultado del flujo de corriente de puesta a tierra a través de este electrodo. Se considera que el potencial de la tierra de referencia es cero.
- **TIR:** es la tasa de interés (o la tasa de descuento) con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad.
- **Turbina de acción:** turbina que aprovecha únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerla girar (el agua actúa por efecto de su energía cinética).
- **Turbina de reacción:** turbina que además de aprovechar la velocidad del flujo de agua, aprovecha la presión que le resta a la corriente en el momento de contacto (el agua actúa por efecto de su energía cinética y potencial).
- **VAN:** Valor actual neto, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

## 1.6 Requisitos de diseño

### 1.6.1 Introducción

El origen de la energía hidráulica está en el ciclo hidrológico de las lluvias y, por tanto en la evaporación solar y climatología, que remontan grandes cantidades de agua a zonas elevadas de los continentes alimentando los ríos. Este proceso está originado, de manera primaria, por la radiación solar que recibe la tierra.

Estas características hacen que sea significativa en regiones donde existe una combinación adecuada de lluvias, desniveles geológicos y orografía favorable para la construcción de presas. Es debida a la energía potencial contenida en las masas de agua que transportan los ríos, provenientes de la lluvia y del deshielo.

Puede ser utilizada para producir energía eléctrica mediante un salto de agua, como se hace en las centrales hidroeléctricas.

La energía hidráulica tiene la cualidad de ser renovable, pues no agota la fuente primaria al explotarla, y es limpia, ya que no produce en su explotación sustancias contaminantes de ningún tipo. Sin embargo, el impacto medioambiental de las grandes presas, por la severa alteración del paisaje e, incluso la inducción de un microclima diferenciado en su emplazamiento, ha desmerecido la bondad ecológica de este concepto en los últimos años. Al mismo tiempo, la madurez de la explotación hace que en los países desarrollados no queden apenas ubicaciones atractivas por desarrollar nuevas centrales hidroeléctricas, por lo que esta fuente de energía, que aporta una cantidad significativa de la energía eléctrica en muchos países (en España, según los años, puede alcanzar el 30%) no permite un desarrollo adicional excesivo. Recientemente se están realizando centrales mini hidroeléctricas, mucho más respetuosas con el ambiente y que se benefician de los progresos tecnológicos, logrando un rendimiento y una viabilidad económica razonables. El objetivo de un aprovechamiento hidroeléctrico es convertir la energía potencial de una masa de agua situada en un punto (el más alto del aprovechamiento) en energía eléctrica, disponible en el punto más bajo, donde está ubicada la casa de máquinas. La potencia eléctrica que se obtiene en un aprovechamiento es proporcional al caudal utilizado y a la altura del salto.

Existen dos parámetros fundamentales a la hora de considerar el emplazamiento de una central hidroeléctrica: la topografía y el caudal. Así, existe la posibilidad de emplazamientos que, aún ofreciendo una pequeña cantidad de caudal, tengan suficiente interés por poseer un desnivel importante y viceversa. Las peculiaridades de cada zona teniendo en cuenta estos dos factores hacen que las características de una central sean prácticamente únicas por obtenerse en cada caso particular una solución específica en pro de su optimización. Con todo, es posible realizar una clasificación muy general atendiendo a la manera de aprovechar la energía. Esta es una de las posibles clasificaciones:

- Centrales de agua fluyente o de canal en derivación: En este tipo de instalaciones se desvía parte del agua del río de su cauce normal mediante la construcción de una pequeña presa o azud que eleva el nivel de éste.

Así, se puede canalizar el agua hasta la ubicación de la central, o construirla directamente sobre el cauce del río.

- Centrales a pie de presa con embalse: Estas centrales se encuentran adosadas a la zona inferior de la presa y aprovechan la propia altura de ésta.
- Centrales mixtas: En este caso la central se encuentra aguas abajo de la presa para aumentar la altura del salto y con ella la potencia.
- Centrales de bombeo o reversibles: Su constitución es similar a la de las centrales de embalse mixtas, pero la diferencia radica en la posibilidad de invertir el proceso, es decir, bombear hacia arriba el agua que ya ha sido turbinada.

### **1.6.2 Centrales de embalse o regulación mixtas**

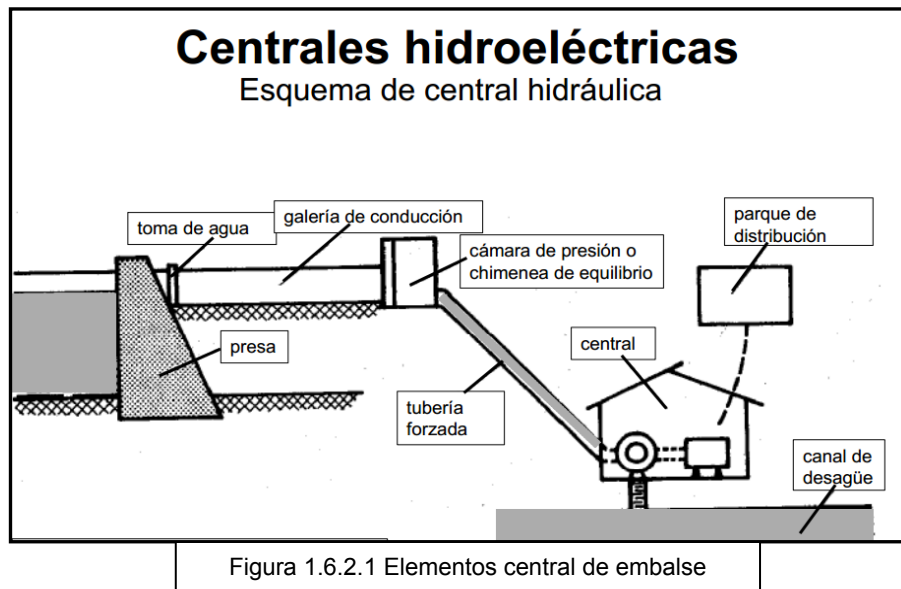
Este tipo de centrales se basa en el almacenamiento de gran cantidad de agua mediante una presa artificial de entre 3 y varias decenas de metros de altura. De esta manera, el agua puede permanecer acumulada y ser soltada a voluntad cuando resulte necesaria.

Para dar paso al agua se utiliza una abertura en la presa denominada toma de agua, que la divide en dos partes: la zona útil es la que se encuentra por encima de la toma y la zona muerta por debajo. La zona útil es la que fija la capacidad de regulación. Ésta puede ser diaria, semanal, anual o plurianual. La principal ventaja de este tipo de presas es la posibilidad de producción de electricidad para cubrir los picos de consumo en las horas punta.

En la figura 1.6.2.1 se muestra la disposición típica de todos los elementos que constituyen una central de embalse mixta. El agua entra inicialmente en un conducto horizontal denominado galería de presión, y que consiste en un túnel excavado en la ladera del río, al final del cual se sitúa la llamada chimenea de equilibrio o cámara de presión, un conducto vertical y abierto a la atmósfera en su parte superior y que sirve para evitar los posibles golpes de ariete que podrían causar daños graves en las turbinas. De aquí el agua pasa a la tubería forzada, que es donde se produce el desnivel, y la conduce hasta la central. Este esquema

permite utilizar el desnivel de la presa y ganar más desnivel gracias a la conducción en presión.

Al llegar a la casa de máquinas, el agua, actúa sobre los álabes del rodete de la turbina haciéndolo girar. El rodete de la turbina está unido por un eje al rotor del generador que, al girar con los polos excitados por una corriente continua, induce una corriente alterna de media tensión y alta intensidad. Mediante transformadores, es convertida en corriente de baja intensidad y alta tensión para poder ser enviada a la red general mediante las líneas de transporte. El agua, una vez que ha cedido su energía, es restituida al río, aguas abajo de la central, mediante el canal de desagüe.



### 1.6.2.1 Presa

Es la construcción destinada al almacenamiento y elevación del nivel del agua. La presa debe soportar fuerzas verticales (como el peso y la componente vertical de la presión hidrostática del agua), horizontales (componente horizontal de la presión hidrostática) y otras que se pueden dar en ciertas situaciones (hielo, sedimentos, variaciones de temperatura, oleaje, efectos sísmicos...).

Dependiendo de su forma o del material utilizado, se pueden clasificar en varios tipos:

- De gravedad: La estabilidad se debe al propio peso de la presa. Consiste en un perfil robusto y macizo de hormigón de forma triangular o trapezoidal. El terreno debe ser consistente.
- De arco-gravedad: Se apoya tanto en el terreno como en las laderas. Su diseño es de forma circular.
- De arco: Se apoya principalmente en las laderas, por lo que éstas deben ser de roca fuerte. Tiene forma curvada.
- De bóveda o de cúpula: Se apoya en las laderas y se suele construir en valles angostos con terreno consistente. Su forma es esférica y convexa hacia el embalse. Tienen menos sección pero mayor cimentación que las de gravedad.
- De contrafuertes: Como las de gravedad, pero compuesta por varios tramos reforzados con contrafuertes. Así se disminuye la cantidad de hormigón utilizada.
- De tierra: Presa de gravedad constituida por un gran macizo de tierra. Posee una gran base y poca altura.
- De escollera: Similar al tipo anterior, pero construida con piedra.
- Inflable: Consiste en una bolsa tubular de goma que se coloca a través del curso de un río para elevar el nivel del agua. Cuando ese nivel sobrepasa una cierta altura, la presa se desinfla automáticamente y queda aplastada por el agua.

#### **1.6.2.1.1 Aliviadero**

Su objetivo es poder liberar parte del agua retenida en el caso de que sea necesario. Existen tres tipos:

- De superficie: Son aberturas simétricas practicadas en la parte superior de la pared principal de la presa. También puede haber dos en los laterales (vertederos laterales).
- Túneles aliviaderos: Son independientes de la presa. Se construyen en principio para desviar el agua durante la construcción de la presa y más tarde se utilizan para desalojar el agua sobrante.



• De emergencia: Se sitúan en la parte central superior de las presas de bóveda para los casos de emergencia como grandes avenidas. Para amortiguar la energía que lleva el agua al caer, se practican en la pared de la presa unas canalizaciones a modo de tobogán y en el pie de presa el cuenco de amortiguación.

#### **1.6.2.1.2 Desagüe de fondo y de medio fondo**

Los desagües de fondo son conductos horizontales practicados a través de la presa y situados cerca de las cimentaciones. Tienen la doble misión de controlar el agua evacuada y vaciar totalmente el embalse si resulta necesario. Están protegidos mediante rejillas que impiden el paso de cuerpos sólidos susceptibles de obstaculizar el paso del agua y su apertura está controlada mediante compuertas y ataguías.

Por otra parte, los desagües de medio fondo son similares a los anteriores, pero practicados en el centro y los laterales a media altura. Tienen el doble cometido de elemento de seguridad y regulador del nivel del embalse.

#### **1.6.2.1.3 Obra de toma**

Su función consiste en captar el agua que será conducida a la central y debe estar diseñada para evitar turbulencias que podrían ocasionar pérdidas de carga. Suele estar protegida mediante rejillas con peines de limpieza automatizados para impedir el paso de cuerpos sólidos. El control de paso se realiza mediante válvulas, compuertas o ataguías que disponen de un inyector de aire para evitar los fenómenos de cavitación cuando se produce el cierre total de las mismas.

Su diseño varía en función del tipo de central. Así, en las presas, se trata de una embocadura situada bajo el nivel del agua, aunque, en algunos casos, puede constituir una estructura independiente.

#### **1.6.2.2 Obras de conducción**

Son las que realizan el traslado del agua desde el embalse hasta las turbinas. Pueden ser canales, túneles o a veces una combinación de ambos y siempre rematan con tubería de presión o tubería forzada.

### 1.6.2.2.1 Canal

Su misión es conducir el agua desde la toma hasta la cámara de válvulas. Puede ser abierto en su parte superior o enterrado, y normalmente es de forma rectangular. Si el terreno reúne las características adecuadas, puede practicarse directamente en él, aunque lo más habitual es construirlo artificialmente a base de hormigón. Normalmente se construyen sobre la propia ladera, con muy poca pendiente para que la velocidad del agua sea pequeña y que se produzca la menor pérdida de carga posible, (en torno al 0,05 por ciento) y con un área suficiente para que no se encuentre nunca totalmente llena. En el principio del canal, donde se capta el agua se coloca un vertedero de sobrante, para controlar que el caudal de agua transportado no supere el de diseño.

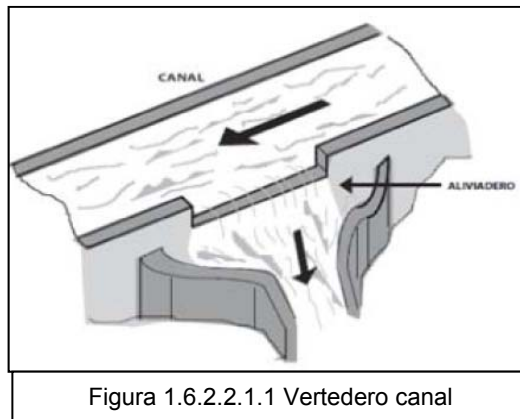


Figura 1.6.2.2.1.1 Vertedero canal

### 1.6.2.2.2 Túnel

Al igual que los canales, su misión es conducir el agua desde la bocatoma del embalse hasta la cámara de válvulas, sólo que a diferencia de los canales el túnel es un tramo de conducción bajo la superficie del suelo. Si se inicia en una de las paredes del embalse, la entrada estará constituida por la toma de agua, la que contienen en el frente unas rejillas que evitan que objetos voluminosos y restos de plantas o animales penetren al túnel. En su extremo posterior, la toma cuenta con una compuerta de acceso que permite o no que las aguas ingresen al túnel, según las necesidades. Generalmente está abierta.

### 1.6.2.2.3 Almenara o chimenea de equilibrio

Los sistemas de conducción se diseñan de tal manera que puedan soportar sobrepresiones y subpresiones causadas por una posible condición de operación

que pueda ocurrir durante la vida del sistema. Esta particularidad del diseño, en muchos casos, resulta altamente costosa. Por lo tanto, se usan varios dispositivos o procedimientos de control para reducir o eliminar los transitorios no deseables, tales como aumentos o disminuciones excesivos de presión, separación de la columna de agua, sobrevelocidad de las turbinas, entre otros.

Para reducir o eliminar los transitorios indeseables, se usan las almenaras o chimeneas de equilibrio, las cámaras de aire y las válvulas de alivio.

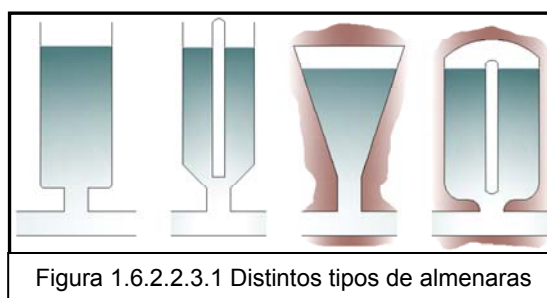
La almenara es una cámara abierta o un tanque conectado a la conducción (túnel o tubería de presión). Este tanque refleja las ondas de presión y suministra o almacena líquido en exceso.

La almenara mejora la característica de regulación de la turbina. Porque la longitud de la conducción que se usa para determinar el tiempo de arranque del agua, se contabiliza solamente hasta la almenara y no hasta el embalse. Se disminuye, entonces, el valor de este tiempo y en consecuencia se mejoran las características de regulación de la planta.

La almenara almacena o suministra agua. Por lo tanto, el agua en la conducción se acelera o desacelera lentamente, y la amplitud de las fluctuaciones de presión en el sistema se reduce.

Su ubicación será próxima a la tubería de presión o sobre la misma. En proyectos con turbinas de reacción puede requerirse la instalación de una almenara en la descarga y en estos casos se localizará lo más cerca posible a la turbina.

Existen varios diseños de almenaras, tal como se muestran en la figura 1.6.2.2.3.1. Como puede observarse en los esquemas, existen diseños en los que la superficie libre del agua en la chimenea está expuesta a la presión atmosférica y otras completamente cerradas formando cámaras de aire a presión.



#### 1.6.2.2.4 Cámara de válvulas

Al final de la conducción, se dispone de un recinto en el que se aloja una válvula de guarda de la tubería de presión, válvula que generalmente es del tipo mariposa, dado su característica de cierre rápido comparado con otro tipo de válvula, así como la posibilidad de operar (cerrar) con flujo. En la figura 1.6.2.2.4.1 se presenta un esquema de la válvula de guarda de la tubería.

La válvula de aire mostrada en la figura, facilita la admisión de aire en el proceso de vaciado de la tubería y permite la evacuación del mismo en el llenado, se evitan así posibles daños, implosiones o rupturas, respectivamente. Mediante el bypass se consigue el llenado total de la tubería antes de que se produzca la apertura de la válvula.

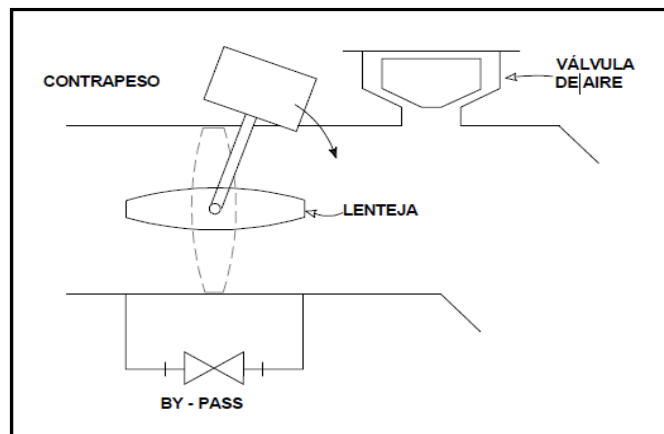


Figura 1.6.2.2.4.1 Instalación válvula de aire

#### 1.6.2.2.5 Tubería de presión

Son tuberías que transportan agua bajo presión hasta la turbina, se conectan con la cámara de válvulas, para que desde allí empiece el sistema de conducción de alta presión. Dependiendo de la orografía del terreno y de los factores medioambientales, la colocación de la tubería forzada será enterrada o aérea. En este último caso, será necesario sujetar la tubería mediante apoyos, además de los anclajes necesarios en cada cambio de dirección de ésta y la instalación de juntas de dilatación que compensen los esfuerzos originados por los cambios de temperatura. Para grandes saltos y diámetros, la tubería fabricada de acero sigue siendo la mejor solución, al ser relativamente barata y porque puede conseguirse con el diámetro y espesor requeridos por el proyectista. Debido a que el costo de

está tubería puede representar gran parte del presupuesto invertido en la conducción, es prioritario optimar el diseño, para reducir no sólo los costos de mantenimiento sino la inversión inicial. Para el diseño de la tubería de presión debemos considerar que para definir la presión de servicio de la tubería, es necesario definir la presión de diseño del proyecto, la cual debe ser inferior a la presión de la tubería. La presión de diseño corresponde al valor de la presión estática en el perfil trazado, multiplicado por un factor de seguridad.

#### **1.6.2.2.5.1 Apoyos y anclajes de la tubería de presión**

Los pilares de soporte, los anclajes y los bloques de empuje cumplen la función de dar el peso necesario para contrarrestar las fuerzas de los fluidos que pueden hacer que la tubería se mueva y corra el peligro de romperse.

Las cargas que deben soportar los apoyos son principalmente las siguientes:

- Cargas de gravedad: Peso del anclaje y de la tubería llena que queda soportada por el anclaje.
- Cargas de presión: Suma vectorial de la presión, incluyendo el efecto de cierre de válvulas, sobre todas las áreas aguas arriba y aguas abajo del vértice del anclaje.
- Cargas de fricción: Causadas por el movimiento de la tubería sobre los sillares y en las juntas de expansión, debidas a variaciones de temperatura.
- Cargas hidrodinámicas: Debidas al cambio de dirección del flujo del agua en el vértice del anclaje.
- Efecto de "Poisson": Fuerza longitudinalmente generada en la tubería cuando, estando su movimiento axial restringido, la presión causa un aumento de diámetro del tubo.

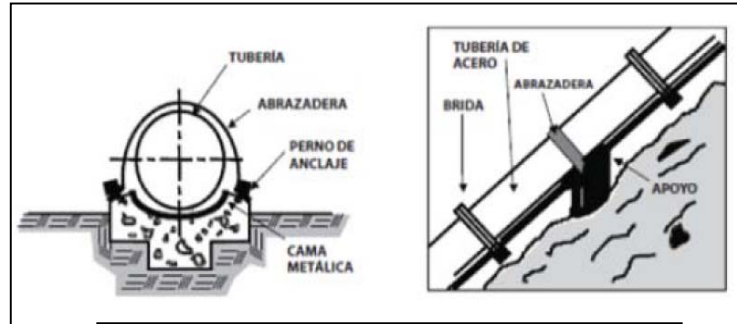


Figura 1.6.2.2.5.1.1 Anclaje tubería de carga

Los apoyos o soportes deben construirse de manera tal que permitan el movimiento longitudinal de la tubería al contraerse o dilatarse debido a cambios de temperatura. Además, los soportes tienen que ser construidos sobre suelo firme y no en un relleno.

#### 1.6.2.2.5.2 Diámetro y espesor de la tubería

El diámetro suele diseñarse en función del caudal para minimizar las pérdidas por conducción en la tubería. La siguiente tabla muestra una aproximación del diámetro económico en función del caudal:

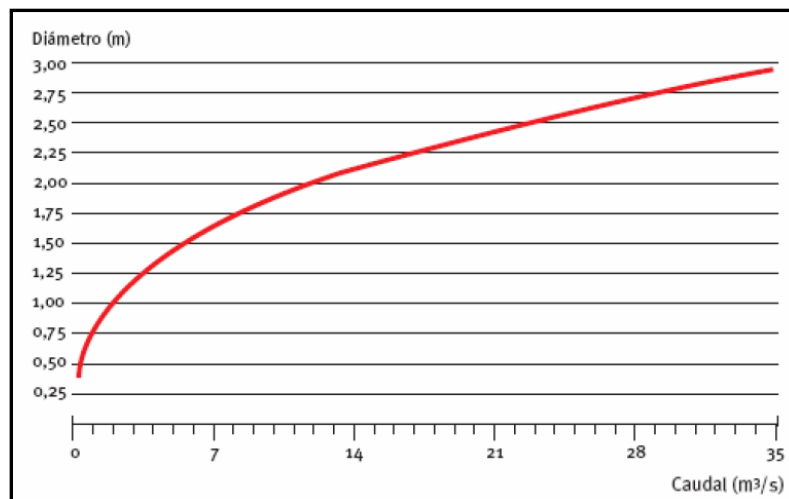


Figura 1.6.2.2.5.2.1 Gráfico diámetro-caudal tubería presión

A continuación, se presentan dos expresiones adicionales para el cálculo rápido del diámetro óptimo de la tubería de presión:

- F. E. Fahlbusch en un artículo denominado: Power tunnels and penstocks: the economics re-examined, propone la formula:

$$D_{(m)} = 0,52 * H^{-\frac{1}{7}} * \left(\frac{P}{H}\right)^{\frac{3}{7}} \quad (1.6.2.2.5.2.1)$$

Donde:

H: Cabeza neta de diseño expresada en metros.

P: Potencia total de las unidades que se alimentan a través de la tubería. Es decir, que si la tubería alimenta n unidades, la potencia de esta expresión será la suma de las potencias de las n unidades, expresada en kW.

- G. S. Sarkaria en artículo publicado en 1979: Economic penstock diameters: A 20 year review, presenta la expresión siguiente:

$$D_{(m)} = 4,44 * \frac{P^{0,43}}{H^{0,65}} \quad (1.6.2.2.5.2.2)$$

Donde:

P: Potencia de las unidades que se alimentan en hp.

H: Cabeza neta de diseño en pies.

- Para el cálculo del espesor mínimo de la tubería se utiliza la expresión:

$$e = \frac{P_1 D}{2K_f \sigma_f} + e_s \quad (1.6.2.2.5.2.3)$$

En donde,

e = espesor de la pared del tubo (mm).

$P_1 = 1,3P_0$ , si no es necesaria chimenea de equilibrio.

$P_0$  = Presión hidrostática (kg/cm<sup>2</sup>).

D = Diámetro interno del tubo (mm).

$\sigma_f$  = Resistencia a la Tracción del acero (1600 kg/cm<sup>2</sup>).

$K_f = 0,9$  para uniones soldadas y radiografiadas

$e_s$  = sobre espesor para tener en cuenta en la corrosión (1 mm por cada 10 años de vida).

### **1.6.2.3 Casa de máquinas**

En un aprovechamiento hidroeléctrico, la casa de máquinas es el emplazamiento donde se sitúa el equipamiento de la central: turbinas, bancadas, generadores, alternadores, cuadros eléctricos, cuadros de control, etc. Tiene la función de proteger todos los equipos electro-mecánicos de las adversidades climatológicas. El número, tipo y potencia de las turbinas, su disposición con respecto al canal de descarga, la altura de salto y la geomorfología del sitio, condicionan la topología del edificio. Normalmente consta de varias partes. Entre las más importantes se encuentran las unidades de generación, la sala de control y los equipos auxiliares.

El edificio contará con las conducciones necesarias para que el agua llegue hasta la turbina con las menores pérdidas de carga posibles. Además, hay que realizar el desagüe hacia el canal de descarga.

#### **1.6.2.3.1 Turbina**

La turbina es el principal componente de una central hidroeléctrica, puesto que en ella se transforma la energía que porta el agua en trabajo en el eje del alternador, el cual transformará a su vez ese trabajo en energía eléctrica. Se pueden establecer varias clasificaciones dependiendo de los siguientes factores a considerar:

- Velocidad específica del agua: lentas, normales, rápidas y extra rápidas.
- Posición del eje: horizontal o vertical.
- Dirección del agua respecto a la turbina: radiales, axiales, tangenciales y radiales-tangenciales.
- Forma de aprovechar la energía, los principales tipos de turbinas son:



- **Reacción:** Aprovechan, además de la velocidad del agua, la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la turbina. El salto bruto se considera hasta la salida. Entran en este apartado las Francis y Kaplan.
- **Acción:** El agua sigue la dirección de giro del rodete, siendo la altura bruta a considerar hasta el eje de la turbina. Aprovechan la velocidad del agua. Son de este tipo las Pelton.

#### **1.6.2.3.1.1 Turbina Francis**

Es un tipo de turbina de reacción, de flujo radial-axial y que puede ser de velocidad lenta (saltos de más de 100 metros), normal (entre 50 y 100 metros), rápida (de 25 a 50 metros) o extra rápida (saltos menores de 25 metros). Consta de las siguientes partes (figura 1.6.2.3.1.1.1):

- **Carcasa o caracol:** Estructura fija en forma de espiral y sección menguante donde se transforma la energía de presión en energía cinética.
- **Distribuidor:** Formado por dos coronas concéntricas de álabes. La exterior, denominada estator, es de álabes fijos y se encarga de guiar el agua; la interior o rotor es de álabes móviles y su cometido es regular el caudal.
- **Rodete:** Es donde se transforma la energía del agua en trabajo. En él entra el agua en dirección radial y sale en dirección axial. Está formado por álabes fijos con doble curvatura. La presión del agua en este elemento es menor que la atmosférica.
- **Difusor:** Consiste en un tubo divergente en el cual se recupera parte de la energía cinética para transformarla en energía de presión y así conseguir que la presión del fluido se iguale a la atmosférica.

Su rango de aplicación es muy amplio, tanto en la altura del salto (desde 2 hasta 200 metros) como en caudal (de 1 a 200 m<sup>3</sup>/s). El rendimiento es muy variable dependiendo del porcentaje de carga. Se puede montar con eje horizontal o vertical, siendo más habitual la segunda opción.

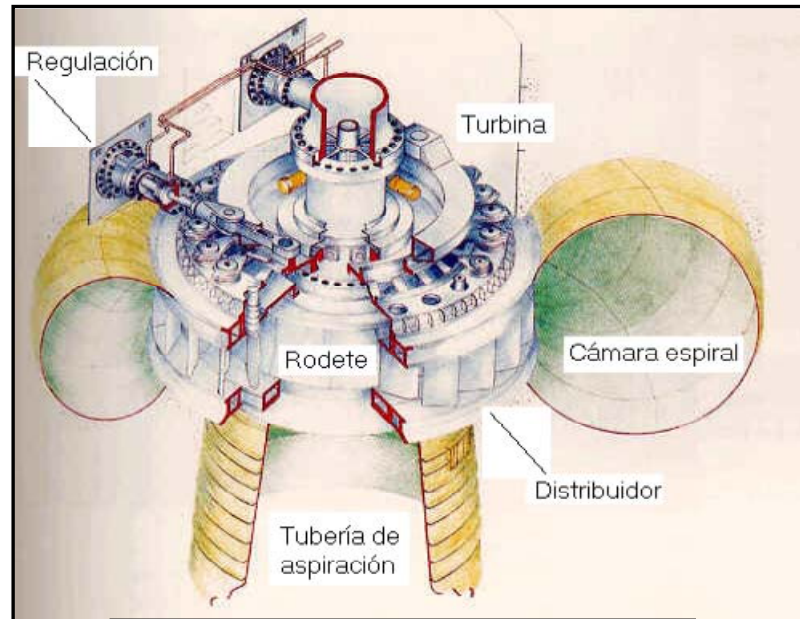


Figura 1.6.2.3.1.1.1 Componentes turbina Francis

### 1.6.2.3.1.2 Turbina Kaplan

Es una evolución de la turbina Francis diseñada para saltos de pequeña altura y caudal elevado. Se diferencia de la anterior en que el flujo de entrada es axial y en el diseño del rodete, que es más pequeño y los álabes se pueden regular, lo que aumenta su rendimiento. Además de los álabes del rotor, también permite regular las palas del distribuidor (ver figura 1.6.2.3.1.2.1). Esta turbina es muy sensible a los fenómenos de cavitación, lo que limita su utilización a saltos de menos de 75 metros.

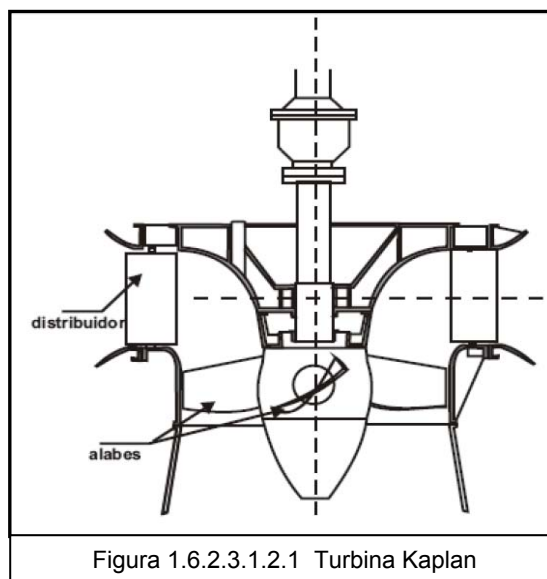


Figura 1.6.2.3.1.2.1 Turbina Kaplan

### 1.6.2.3.1.3 Turbina Pelton

En esencia, la turbina Pelton consta de un distribuidor denominado inyector (que consta de una tobera y es regulado por una aguja) y del rodete o rueda. Del inyector sale un chorro, a presión ambiente, que ataca a los álabes (también denominados por su forma, cucharas, palas, o cazoletas), les cede prácticamente toda su energía cinética y sale de ellos a velocidad mínima. El rodete o rueda está alojado en una carcasa para evitar salpicaduras y accidentes. Los componentes principales de una turbina Pelton son los siguientes (figura 1.6.2.3.1.3.1):

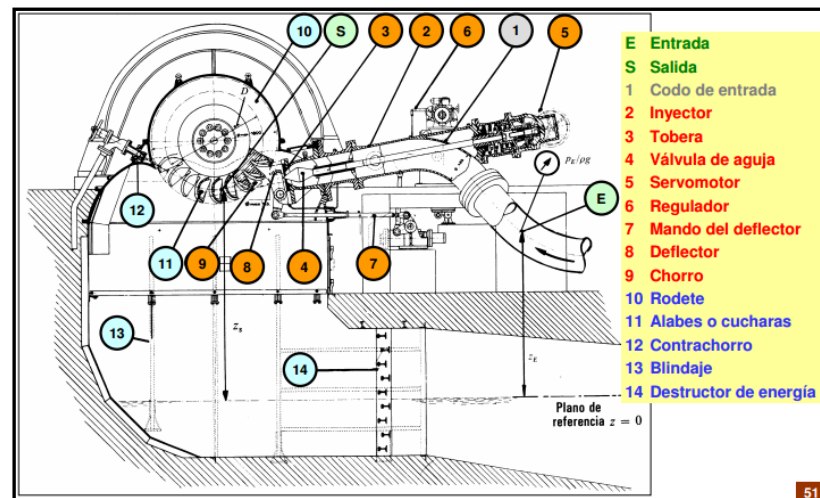


Figura 1.6.2.3.1.3.1 Componentes turbina Pelton

- Regulador de velocidad: Conjunto de dispositivos electro-mecánicos, (servomecanismos, palancas, bielas...) diseñados para mantener constante la velocidad del grupo, a fin de que la frecuencia de la corriente generada tenga, en todas las circunstancias de carga, 50 Hz.

Cuando se produce una disminución brusca de la carga, primero interviene el deflector, desviando parte del chorro de agua hacia el exterior del rodete; para que luego, el acercamiento de la aguja hacia la tobera se lo realice de una forma lenta, logrando evitar los efectos del golpe de ariete en la tubería de presión, que para casos de turbinas Pelton es de gran longitud. Mientras que cuando se aumenta la demanda, el deflector se aleja del chorro agua y, al mismo tiempo, la aguja se separa del orificio de la tobera, permitiendo el paso de mayor caudal de agua hacia los cangilones.

- **Inyector:** El inyector es normalmente una prolongación de la tubería forzada de alimentación. Realmente empieza en la brida que lo une a la válvula de cierre. Para obtener una alimentación adecuada, disminuyendo la pérdida de carga, la entrada a la parte convergente de la tobera ha de estar precedida de una parte recta de sección recta tan grande como sea posible (baja velocidad). El codo ha de tener también un gran radio de curvatura en orden a disminuir las pérdidas asociadas a corrientes secundarias. El caudal se regula acercando la aguja a la salida de la tobera lo que cerrará el área de salida y hará que el caudal disminuya (ver figura). Cuanto más cerca este colocado el inyector de la rueda mejor será el rendimiento de la máquina.

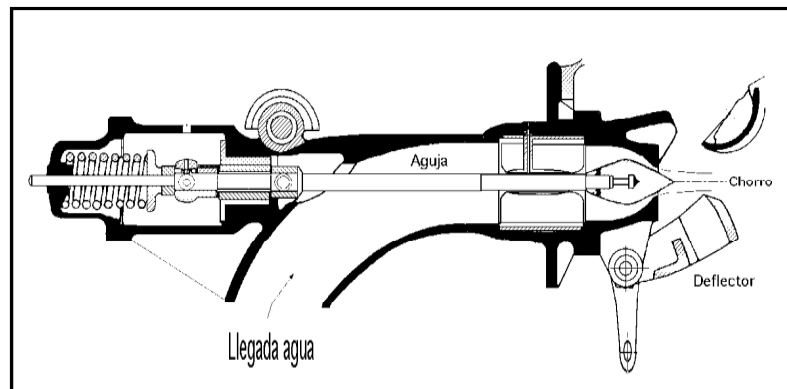


Figura 1.6.2.3.1.3.2 Tobera turbina Pelton

- **Rodete:** El rodete es una rueda circular que lleva adosada una serie de álabes o cucharas. El chorro está situado en el plano del rotor. El diámetro del rodete se define como el doble de la distancia entre el eje de giro y el eje del chorro.
- **Las cucharas:** La forma de las cucharas es muy singular. En ellas la desviación del agua no debe de ser muy brusca, ya que produciría grandes pérdidas, ni muy suave, pues el tamaño del álabe sería excesivamente grande. En definitiva, su forma, como su tamaño es el resultado de la experiencia. Cada álabe lleva en su extremo periférico una escotadura centrada en forma de W. Con ello se consigue que las cazoletas no reciban el chorro de agua hasta que su arista se encuentre en la posición perpendicular respecto al eje del chorro, aprovechando al máximo el

caudal y el impulso que éste le proporciona al acompañarle durante un corto trayecto.



Figura 1.6.2.3.1.3.3 Cuchara Pelton

- Pantalla deflectora: La pantalla deflectora, se encuentra colocada entre el inyector y la rodete de la turbina, y su misión es desviar el chorro para que no incida sobre los álabes de la rueda.

La pantalla deflectora es un elemento de seguridad que se usa para evitar que la turbina se embale. En efecto, si por cualquier razón la turbina queda desacoplada del alternador, desaparecería el par resistente mientras que el par motor (chorro) sigue existiendo. Esto llevaría consigo una aceleración de la velocidad de giro hasta llegar a su valor límite: la velocidad de embalamiento. Para evitar que esto ocurra hay dos alternativas. Cerrar el inyector rápidamente lo que produciría un golpe de ariete, o desviar el chorro.

- Cámara de descarga: Es la zona por donde cae el agua libremente hacia el desagüe, después de haber movido al rodete. También se conoce como tubería de descarga. Para evitar deterioros debidos a la acción de los chorros de agua, especialmente de los originados por la intervención del deflector, se suele disponer en el fondo de la cámara de descarga de un colchón de agua de 2 a 3 m de espesor. Con el mismo fin, se instalan

blindajes, bloques de granito o placas, situadas adecuadamente, que protegen la obra de hormigón

Con respecto al mantenimiento de turbinas Pelton, este tipo de turbinas son las que ofrecen la mayor seguridad desde el punto de vista mecánico, pero, aun con todo, tras periodos de tiempo reducidos se pueden observar desgastes en la aguja, la boca de la tobera, en los cazos del rodete y en el deflector. Estos desgastes se deben a la acción abrasiva de la arena que no se ha filtrado a la entrada. Es muy importante que los elementos antes referidos conserven sus características originales, por lo que se debe revisar su estado cada año para repararlos en caso de que fuera necesario.

En efecto, el desgaste del inyector puede provocar una dispersión del chorro con lo que el rendimiento total de la turbina cae. Esto también puede producir deterioros en el rodete por los choques con las gotas sueltas. Tanto los cazos como los deflectores se pueden arreglar mediante soldadura y esmerilado. Otra posible fuente de danos tiene su origen en el agua que se escapa de los cazos, perdiendo su energía en el armazón, para evitar este peligro se puede instalar como blindaje una chapa de acero moldeado reparable mediante soldadura en caso de que fuera necesario.

Las turbinas Pelton cuyas agujas del inyector se cierran mediante un muelle van provistos de un diafragma de aceite que permite regular la lentitud del cierre. La correspondencia entre las posiciones relativas de la aguja y de los deflectores se controla mediante la regulación de la turbina.

Al terminar el montaje de la turbina es importante asegurarse de que el deflector se encuentra en todas las posiciones posibles del punzón casi tangente al chorro pero sin tocarlo nunca. Esto debe suceder de este modo para que si el deflector tiene que actuar, lo haga de manera inmediata. Esta disposición se comprueba midiendo las potencias para distintas posiciones del deflector. Antes de poner en marcha la turbina será necesario purgar de aire el cilindro del servomotor, este aire podría provocar un cierre brusco con el consiguiente golpe de ariete, que podría dañar a la tubería forzada.

### **1.6.2.3.2 Generador**

El generador tiene como misión transformar en energía eléctrica la energía mecánica suministrada por la turbina. Solo se utilizan alternadores trifásicos de corriente alterna. En función de la red que debe alimentar, y de la potencia a generar se selecciona un generador asíncrono o un generador síncrono o alternador.

#### **1.6.2.3.2.1 Generador asíncrono**

Los generadores asíncronos trabajan a una velocidad ligeramente mayor que la de sincronismo y son capaces de producir energía eléctrica únicamente cuando su estator recibe una tensión determinada capaz de excitar su circuito magnético. Debido a esto, se dice que los generadores asíncronos no tienen funcionamiento autónomo, ya que no pueden producir, por sí mismos, la corriente de excitación que necesitan para su funcionamiento. Para este tipo de generadores se requiere de una instalación sencilla que prescinde de dispositivos para el arranque, sincronización y regulación; y su mantenimiento tiene un costo anual mucho menor comparado con un generador síncrono.

#### **1.6.2.3.2.2 Generador síncrono**

En este tipo de generador la conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo. Está formado básicamente por dos elementos: uno fijo cuyo nombre genérico es el de estator y otro que gira concéntricamente en éste, llamado rotor. Uno de ellos debe crear un campo magnético, alimentado con corriente directa (corriente de excitación del campo), tomada de la excitatriz. A dicho elemento se le denomina inductor y está formado por un conjunto de bobinas. La excitación es una corriente continua que se induce en el bobinado de campo, de este modo se produce el flujo giratorio que inducirá un voltaje en la armadura estatórica. El campo giratorio consiste en uno o varios pares de núcleos de polos laminados con bobinas que se encuentran alrededor de los polos, para crear el campo de excitación. Las bobinas arrolladas crean el campo magnético en los polos del rotor. Para que esto ocurra, por estas bobinas debe circular una corriente eléctrica

continua. Para producir esta corriente continua pueden emplearse diferentes sistemas de excitación:

- Excitatrices rotativas de corriente continua: Los inducidos de la excitatriz principal y auxiliar van montados sobre el eje del generador principal. Utilizando dos excitatrices en cascada se amplifica la potencia y se regula la tensión, actuando sobre un circuito de poca potencia.
- Excitatrices de corriente alterna sin escobillas: Se utiliza un pequeño generador de corriente alterna cuyo inducido va montado en el rotor del generador principal. La corriente se rectifica mediante un rectificador estático, eliminándose el problema de mantenimiento de las escobillas. La tensión se regula mediante un equipo electrónico que actúa sobre la excitación de la excitatriz.
- Excitatrices estáticas: La corriente de excitación se extrae de los terminales del generador principal, mediante un transformador. Esta corriente se rectifica mediante un equipo electrónico y se inyecta en el bobinado de excitación rotórica del generador, gracias a un sistema de escobillas y anillos rozantes. Cuando el generador arranca no hay tensión en bornes y por lo tanto no se dispone de corriente de excitación. Los magnetismos remanentes, ayudados si es necesario por una batería, permiten iniciar el funcionamiento, que se normaliza inmediatamente en cuanto la tensión en bornes alcanza un valor modesto. Estos equipos exigen menos mantenimientos, tienen buen rendimiento y la velocidad de respuesta del generador, ante las oscilaciones de tensión, es muy buena.

El generador síncrono se arranca en vacío, actuando sobre la admisión de la turbina para aumentar gradualmente la velocidad. El generador se sincroniza con la red igualando previamente, en la máquina y en la red, las tensiones eficaces, las frecuencias, los desfases y el sentido de rotación. Cuando el generador alcanza una velocidad próxima al sincronismo, se arranca la excitación y se regula para que la tensión entre bornes sea igual a la tensión entre barras.



En generadores acoplados a una red aislada, el regulador debe mantener un valor predeterminado de la tensión sea cual sea la carga. Si está acoplado a una red importante, el regulador mantendrá el valor preajustado de la potencia reactiva.

La tensión de generación viene determinada por la potencia del generador. Lo normal es generar a 380 V hasta 1.400 kVA y a 6000/6600 para potencias mayores.

Los generadores síncronos son los más utilizados debido a que su velocidad es constante, lo que facilita la regulación de la frecuencia y la tensión. Sus inconvenientes son fundamentalmente económicos, ya que son caros y con altos costes de mantenimiento. Poseen un elevado rendimiento. Necesitan de la utilización de fluido refrigerante, siendo los más utilizados el aire o el agua en los de pequeño tamaño y el hidrógeno líquido en los de gran tamaño.

#### **1.6.2.3.3 Válvulas y compuertas**

En todo aprovechamiento hidroeléctrico es necesario poder aislar determinadas estructuras para proceder a su mantenimiento o reparación, cortar el paso del agua a la turbina para evitar que se embale cuando se desconecta bruscamente el generador, e incluso para regular la cantidad de agua que entra a las turbinas, cuando estas no disponen de distribuidor variable. Para conseguir esos objetivos existen en el mercado diferentes modelos de compuertas y válvulas, entre las que cabe destacar los siguientes:

- Válvulas de compuerta: Estas válvulas realizan sólo y exclusivamente las funciones de apertura y cierre puesto que no son adecuadas para regular el paso del agua debido a las pérdidas de carga que se producen. En caso de estar completamente abierta la pérdida de presión es mínima.

Mediante un vástago accionado manualmente o por medio de equipos hidráulicos, mecánicos, etc., se consigue el desplazamiento, en dirección perpendicular al sentido de la circulación del agua, del obturador, consistente en un disco de sección circular o placa de sección rectangular que, según las características del circuito, pueden tener distintas formas.

Cuando el conducto tiene una gran sección, y por consiguiente el obturador de la válvula también, han de equilibrarse presiones a ambos lados de éste antes de su apertura. Se logra a través de un circuito; con válvula incorporada, denominada válvula bypass; conectado en paralelo con el conducto general, estando las respectivas conexiones, antes y después de la válvula principal del circuito. En el tramo de conducción, posterior a esta última, se suele disponer de una válvula para facilitar la salida del aire a medida que se va llenando.

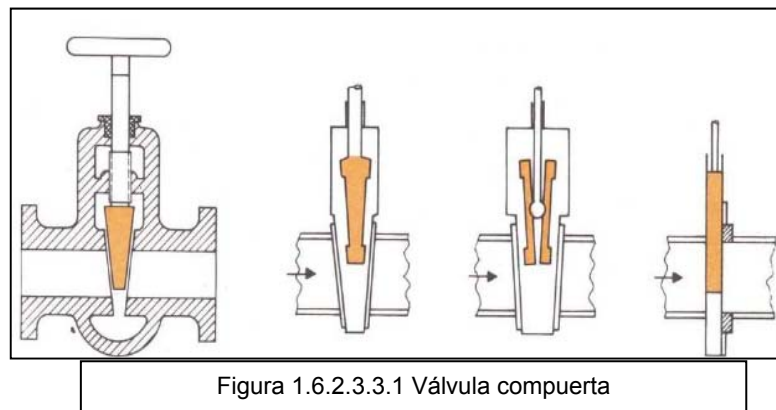


Figura 1.6.2.3.3.1 Válvula compuerta

- Válvulas de mariposa: De la misma manera que las válvulas de compuerta, no son aptas para ser situadas en posiciones intermedias de regulación ya que esto supone una gran pérdida de carga, además de originarse vibraciones y fenómenos de cavitación. Se utilizan por lo general para dar paso total o bloquear por completo la circulación de las masas de agua.

El dispositivo de obturación consiste en un disco conocido como lenteja que, adaptado a la sección de paso de la válvula, gira como máximo un cuarto de vuelta, accionado por un eje instalado diametralmente al cuerpo de la válvula. El cierre estanco, entre el cuerpo de válvula y el disco, se logra por contacto directo de anillos metálicos intercambiables, mediante discos macizos de caucho otro material sintético, o con tubos de estos materiales llenos de aire a presión.

Son válvulas utilizadas en conducciones de gran diámetro, siendo necesario equilibrar presiones a ambos lados del obturador antes de su

apertura. Se instalan preferentemente en las tuberías forzadas antes de la llegada del agua a la turbina. También en los desagües de fondo.

El accionamiento se efectúa por medio de servomotores o por sistemas de cremalleras accionadas por grupos moto-reductores. Para facilitar los giros del obturador se disponen contrapesos que equilibran esfuerzos.

Como ventajas tiene que se limpia por sí sola y carece de válvula de bypass y por tanto requiere poco mantenimiento, es ligera, de bajo costo, posee pocas piezas móviles y carece de bolas o cavidades.

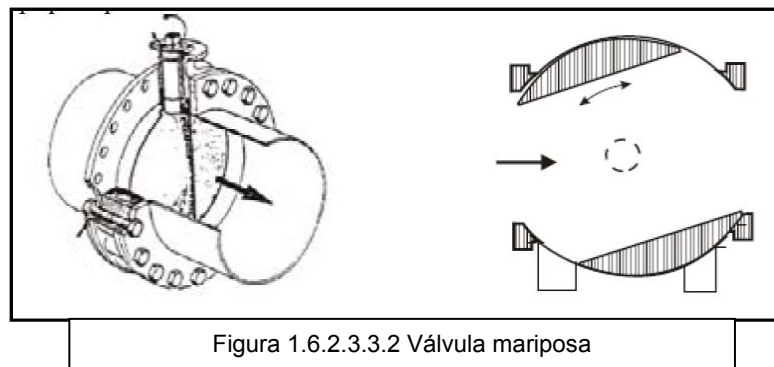


Figura 1.6.2.3.3.2 Válvula mariposa

- Válvulas esféricas: Estas válvulas son diseñadas para realizar la apertura o cierre total en un conducto, el obturador está constituido por una esfera ajustada perfectamente al cuerpo de la válvula. Dicha esfera está atravesada por un orificio que, en posición de abierto, da continuidad al conducto y, en posición de cerrado, se coloca perpendicularmente a éste. En la actualidad se construyen válvulas esféricas en las que, por su configuración, se eliminan las vibraciones pudiéndose emplear como válvulas de regulación.

Los sistemas de accionamiento son similares a los de las válvulas de mariposa. Los movimientos son relativamente lentos respecto a otros tipos de válvulas. En la mayoría de los casos disponen de bypass para equilibrar presiones.

- Válvula de guarda de la turbina: En caso de parada de la central es imprescindible la existencia de dispositivos que aíslen la turbina u otros órganos de funcionamiento. La válvula de guarda es, por lo tanto, una

válvula de protección preparada para operar como órgano de seguridad y de cierre que se coloca a la entrada de la turbina. Son válvulas o compuertas que aíslan la turbina en caso de parada y permiten el vaciado de la tubería y las labores de reparación y mantenimiento.

Pueden cerrarse manualmente, o bien automáticamente mediante un servomotor gobernador por el sistema de control de la minicentral.

#### **1.6.2.3.4 Galería de desagüe**

Después de pasar por la turbina, el agua tiene que ser devuelta al río. Las turbinas descargan directamente a esta especie de canal ubicado generalmente por debajo del piso de casa de máquinas. La altura a la cual se ubicará la turbina incidirá significativamente en la profundidad de la fundación de la casa de máquinas.

Las turbinas de acción pueden llegar a tener velocidades de salida muy elevadas, por lo que habrá que proteger el canal para que su erosión no ponga en peligro la casa de máquinas. Normalmente se colocan, entre la turbina y el canal, unos escudos de hormigón o una protección de riprap. Hay que prever también que, incluso en los períodos de grandes crecidas, el nivel del agua en el canal nunca llegue al rodete de la turbina. En casas de máquinas equipadas con turbinas de reacción, el nivel del agua en el canal de descarga influencia el comportamiento de la turbina ya que si no es el correcto, puede dar lugar a fenómenos de cavitación. Ese nivel también afecta al valor de la altura de salto, y en saltos de pequeña altura puede llegar hacer que el proyecto sea económicamente inviable. Las turbinas tipo Pelton se localizarán por encima del nivel del agua de descarga. No obstante, pueden existir diferentes elevaciones entre el nivel del agua y la línea central del rodete. La idea es instalar la turbina Pelton en la posición más baja posible. De otra parte, se mantendrán condiciones seguras de operación y para ello los cangilones del rodete deberán ubicarse lo suficientemente altos por encima del nivel del agua de descarga, con el objeto de asegurar la aireación de los cangilones en régimen de operación y mantener el oleaje por debajo del rodete en el caso de una súbita deflexión del chorro.

### **1.6.2.3.5. Subestación elevadora**

En una central hidroeléctrica, es necesario un equipamiento eléctrico que tiene por objeto la transformación de tensión, la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica en la central, la conexión a la línea de salida y la distribución de la energía.

Un elemento fundamental lo constituye el transformador de tensión. Dependiendo de la tensión de trabajo del generador, la transformación puede ser baja/media o media/alta tensión.

Entre los equipos eléctricos necesarios se encuentran:

- Los interruptores y seccionadores, utilizados para la conexión y desconexión a la red.
- Transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad, que proporciona los valores instantáneos de estas magnitudes en diversas partes de la instalación.
- Transformadores de equipos auxiliares, que suministran la tensión adecuada para el buen funcionamiento de estos equipos.
- Relés de protección, tienen como misión aislar los elementos de la red en caso de que se produzcan fallas que hagan peligrar su funcionamiento o integridad.
- Pararrayos o autoválvulas, que actúan como descargadores a tierra de las sobre intensidades producidas.
- Baterías y cargador de baterías necesarias para el funcionamiento de los relés de protección.

En general, estos equipos se disponen en cuadros eléctricos situados en el interior del edificio de la central.

Otro punto a tener en cuenta es la línea eléctrica necesaria para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución. El costo de la línea puede superar los dos millones de pese-tas por kilómetro, lo que puede influir en la viabilidad económica del proyecto, dependiendo de su longitud.

Las características de la red que es necesario conocer son: la frecuencia y la tensión. La primera es un dato de partida conocido (50 Hz), y la segunda puede oscilar desde 3 a 66 kilovoltios. La tensión nominal de la red existente tiene gran importancia ya que implica una transformación al mismo nivel, lo que puede suponer un elevado costo si se tuviera condicionado a conectar a una línea de alta tensión.

#### **1.6.2.3.5.1 Transformador de potencia**

El transformador de potencia es uno de los elementos fundamentales de la subestación de transformación. Estos aparatos se componen principalmente de dos arrollamientos, aislados eléctricamente entre sí, bobinados alrededor de un núcleo magnético cerrado que aprovechan el campo magnético y el fenómeno de inducción electromagnética para elevar o reducir la tensión del primario al secundario. Esto se consigue sin variar prácticamente la frecuencia y sin tener pérdidas de potencia, ya que la potencia del primario es igual a la del secundario (salvo pequeñas pérdidas producidas por características de diseño como su tamaño, flujos dispersos,...).

El motivo del uso de estos dispositivos es el de evitar, en la manera de lo posible, las pérdidas de potencia en el transporte de energía. Esto se debe a que al aumentar la tensión y reducir la corriente, sin variar la potencia transmitida (transformadores elevadores), se consigue que las pérdidas por efecto Joule se reduzcan y, por lo tanto, se evitan pérdidas de potencia. Una vez transportada hasta los lugares de consumo, gracias a los transformadores, se puede disminuir los valores de tensión (aumentado los de intensidad y sin variar la potencia: transformadores reductores) hasta niveles de voltaje en los que la energía se puede utilizar en los núcleos de consumo. Dependiendo de la tensión de trabajo del generador, la transformación puede ser baja/media o media/alta tensión. El objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente para permitir el transporte de la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles.

El dato que nos marca la elección de nuestro transformador es la potencia que recibe la instalación. A la hora de elegir un transformador la eficiencia en la refrigeración es un factor fundamental, ya que así se pueden evitar pérdidas y

posibles roturas por efecto del sobrecalentamiento, viéndose afectados los arrollamientos y los aislantes de los bobinados, y acortando así su vida útil. El método más utilizado es la refrigeración natural, donde el calor es absorbido por el aceite que baña los arrollamientos y disipado al aire por medio de los radiadores y aletas que poseen los transformadores. Los dos tipos principales de transformadores que se utilizan son los siguientes:

- Transformador encapsulado seco: Normalmente se instalan en el interior del edificio de la central, minimizando la obra civil asociada a la subestación. Presenta una menor capacidad de evacuación del calor de pérdidas por lo que es importante tener en cuenta en el diseño un sistema de refrigeración, mediante circulación de aire natural o forzado.
- Transformador en aceite: Requieren la construcción de un cubeto para prever la recogida de aceite ante una fuga o derrame. Al estar sumergido en aceite y disponer de sistemas de radiadores para la evacuación del calor de pérdidas pueden alcanzar mayores potencias nominales que los secos.



Figura 1.6.2.3.5.1.1 Trafo potencia trifásico

### 1.6.2.3.5.2 Aparamenta

Denominamos aparamenta eléctrica para alta tensión a los dispositivos de maniobra, protección, medida, regulación y control, incluyendo los accesorios de las canalizaciones eléctricas que se utilizan en instalaciones de alta tensión (tensión alterna superior a 1000V). En estos elementos no se incluyen los sistemas de generación, transporte, transformación y utilización de la energía eléctrica.

Debido a la gran variedad de dispositivos y de usos, no se puede hablar de una única clasificación. Por lo tanto estos mecanismos se pueden catalogar según:

- **Seccionadores:** La función principal de los seccionadores es la de aislar tramos de línea de forma visible, cuando las condiciones de explotación de la instalación eléctrica lo requieran. Para poder hacer actuar al seccionador, el circuito o los circuitos que queremos seccionar tendrán que estar obligatoriamente libres de corriente, es decir sin carga. Por esto, el seccionador siempre debe maniobrar en condiciones de vacío, aunque en condiciones de funcionamiento normal, deben ser capaces de soportar las corrientes nominales y también las sobre intensidades y corrientes de cortocircuitos durante un periodo de tiempo especificado por el fabricante. Gracias a estos aparatos, por medio del corte visible, nos aseguramos que los tramos de las líneas y circuitos que protegen se encuentren aislados, es decir, que se encuentren libres de tensión para poder ser manipulados por parte de los trabajadores.
- **Interruptores:** La clasificación de los disyuntores se hará según el método o técnica de ruptura empleado, y se basaran para ello, en el agente extintor del arco. Atendiendo a esto, podemos encontrar:
  - **Interruptores de ruptura en aire:** la extinción de los arcos eléctricos con aire atmosférico es la forma más simple de todas, la más utilizada y la primera técnica utilizada. También se puede utilizar aire comprimido.
  - **Interruptores de ruptura en aceite:** los contactos del disyuntor se sumergen en una cuba de aceite aislante.



- Interruptores de ruptura en el hexafluoruro de azufre: las cámaras de extinción de estos dispositivos operan dentro de un gas halógeno llamado hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), cuyas propiedades dieléctricas son superiores a otros aislantes conocidos.
- Interruptores de ruptura en vacío: se utilizan cámaras de aire a un grado de vacío muy elevado consiguiéndose rigideces dieléctricas muy elevadas.
- Autoválvulas: Se conocen como autoválvulas o pararrayos a los aparatos que tienen como objetivo absorber las sobretensiones repentinas producidas por las descargas atmosféricas, por determinadas maniobras o por otro tipo de causas. Si no utilizásemos estos dispositivos las descargas y sobretensiones afectarían a los aisladores o perforarían el aislamiento, produciéndose así, interrupciones en el sistema eléctrico. Los valores más característicos de las autoválvulas serán:
  - Tensión nominal: valor máximo de la tensión, en condiciones normales de explotación, a frecuencia industrial admisible entre los bornes del pararrayos. Estos valores están normalizados y comprenden un rango muy extenso que va desde los 0,175 hasta los 420 KV.
  - Frecuencia nominal: frecuencia nominal de la red a la que está conectado el dispositivo.
  - Corriente de descarga: onda de corriente evacuada por el pararrayos después de un cebado.
  - Corriente de descarga nominal: corriente de descarga con una amplitud y forma de onda concreta que se utiliza para definir un pararrayos. La forma de onda será la correspondiente a 8/20µs y el valor de la amplitud serán de entre 1500 A hasta 10000A.
  - Tensión de cebado a frecuencia industrial: es el valor eficaz de la mínima tensión que al aplicar entre bornes del pararrayos, provoca el cebado del arco eléctrico.

- Tensión de cebado a la onda de choque: es el valor de cresta de la tensión que aparece justo antes del momento de paso de la corriente de descarga.

-Tensión residual: es el valor del voltaje que aparece entre el terminal de línea y el de tierra durante el paso de la intensidad de descarga en las autoválvulas.

El funcionamiento de las autoválvulas será el siguiente: al ser alcanzado por una onda de sobretensión, y una vez que la tensión entre los explosores es suficientemente grande, se produce la ionización del aire o dieléctrico existente entre los electrodos de los explosores. Al cebarse, comienzan a conducir la corriente de defecto a tierra. Una vez pasada la sobretensión la corriente de defecto se convierte en corriente subsiguiente disminuyendo su valor hasta valores que los explosores son capaces de cortar y eliminar.

• Relés de protección: La misión fundamental de los relés de protección es coordinar la variedad de dispositivos y elementos de protección y maniobra, obteniendo así una selectividad apropiada en la actuación de estos aparatos cuando se produzca un problema o falta determinada. Estas perturbaciones que los relés son capaces de percibir y advertir a los distintos sistemas son principalmente:

- Cortocircuitos: cuando hay una conexión directa entre dos o más cables o conductores de distinta fase, aumentado así de forma instantánea y brusca, la intensidad circulante.

- Sobrecarga: se trata de una elevación de la corriente por encima de los valores máximos apropiados y admisibles. No se trata de aumentos tan repentinos como los cortocircuitos pero sus peligros a largo plazo son igualmente dañinos.

- Retorno de corriente: se da en circuitos de corriente alterna, donde la intensidad puede revertir el sentido normal de funcionamiento.

- Subtension: esta situación se presenta de forma habitual en centrales generadoras cuando las tensiones disminuyen por debajo del valor nominal, aumentando la corriente consumida por la carga conectada, en este caso la red.

- Sobretensión: se trata de una elevación instantánea de la tensión muy por encima del valor nominal, produciendo fallos en el aislamiento, perforaciones,...

#### • Tipos de relés

Para combatir estos tipos de faltas han aparecido y se han desarrollado una larga lista de tipos de relés de protección. Dependiendo de los principios constructivos, podemos dividirlos en:

- Relés electromagnéticos: basado en los principios de la fuerza de atracción ejercida entre piezas de material magnético.
- Relés de inducción: que tienen una constitución basada en la rueda de Barlow. Son dispositivos con una construcción sensiblemente parecida a los contadores de energía, que aprovechan la inducción de las bobinas para frenar el disco de un forma mayor o menos, dependiendo de la corriente que atraviesa las espiras.
- Relés electrodinámicos: su principio de funcionamiento trata de la acción que una bobina fija ejerce sobre una bobina móvil, que en caso de falta girara accionando los contactos de mando.
- Relés electrónicos: utiliza dispositivos electrónicos modernos para la detección de las posibles faltas. Su instalación se está introduciendo en el sistema eléctrico y está sustituyendo a los demás tipos de relés en la actualidad. Atendiendo a las faltas más comunes que aparecen en todos los circuitos e instalaciones nos encontramos con relés que controlan propiedades como la intensidad, tensión, producto (de dos magnitudes), cociente (de dos magnitudes), diferencia (de dos magnitudes) y frecuencia. Por lo tanto, atendiendo a todas estas magnitudes eléctricas nos encontramos principalmente con:

- Relés de protección de sobre intensidad o sobrecarga: tratan de proteger las maquinas, transformadores y líneas contra elevaciones anormales de la temperatura, producidas principalmente por sobre intensidades en los elementos conductores. Pueden ser de tiempo independiente o dependiente, según si su protección es dependiente de la intensidad o viene marcada por un valor fijo de trabajo.
- Relés de protección de máxima intensidad o cortocircuito: tienen el mismo funcionamiento que los de sobre intensidad con la salvedad de que, este tipo de dispositivos están calibrados con un tiempo de actuación mas corto y el valor de intensidad de disparo es mucho mayor.
- Relés de protección de mínima impedancia: este tipo actúa si el valor de la impedancia de la instalación disminuye con respecto a un nivel determinado. Se observa que en un cortocircuito la tensión disminuye puesto que no puede mantener su valor cuando la corriente aumenta de manera brusca, por lo que el cociente entre tensión y corriente disminuye, siendo este la impedancia vista desde la protección.
- Relés de protección direccional: consigue una selectividad en la instalación a base de determinar el sentido de la corriente del defecto producido. Se trata de relés de potencia que miden energías activas, reactivas o aparentes, de forma monofásica o trifásica. Estos elementos suelen combinarse con otros tipos de relés, ya que en ocasiones la lectura del sentido de circulación de la energía no basta para determinar la dirección del defecto.
- Relés de protección diferencial: todos los sistemas diferenciales son selectivos y la operación de selectividad y protección queda determinada por la comparación de corrientes de cada uno de los extremos de la zona protegida. Su funcionamiento se basa en la aplicación de la primera ley de Kirchhoff ya que la actuación dependerá de la suma de corrientes, que llegan al nudo, sea cero o distinta. Dentro de este tipo existe una gran variedad entre los que destacan los relés de protección diferencial:

- *Longitudinal*

- Longitudinal compensada
  - Direccional
  - Transversal
- Relés de protección de distancia: utilizan una bobina amperimétrica y otra voltimétrica, ya que en caso de falta, los valores de la tensión varían desde el punto de fallo a lo largo de la línea siendo la intensidad la producida por el cortocircuito. Estos dispositivos se utilizan en combinación con otros de máxima intensidad o mínima impedancia, y con órganos direccionales.
  - Relés de protección direccional de tierra: debido a los pequeños valores de intensidad de defecto no tiene sentido utilizar protecciones contra cortocircuitos sino que la misión de estos relés es la de indicar, señalar y, en ocasiones, desconectar selectivamente el circuito de puesta a tierra.
  - Relés de protección de sobretensión y Subtension: constructivamente se utilizan la misma estructura que en los relés de sobre intensidad con la diferencia de utilizar una bobina voltimétrica en lugar de una amperimétrica. Con estos dispositivos se protegen elementos que se pueden mostrar muy sensibles a las variaciones en las tensiones por encima o por debajo de su valor nominal.
  - Relés de protección de frecuencia: a través de efectos ferrodinámicos con la ayuda de condensadores y bobinas harán girar un disco cerrando los contactos correspondientes. Detectan tanto subfrecuencias como sobrefrecuencias.
  - Relés de protección tipo Buchholz: son empleados en transformadores de potencia con refrigeración en aceite. Al calentarse en exceso, por medio de la formación de gases (burbujeo) comienzan a oscilar dos ampollas rellenas de mercurio, que con el movimiento pone en unión los contactos del dispositivo. Uno de ellos servirá como alerta y otro, que entrara en acción con temperaturas que puedan dañar la instalación, se utilizara para dar la señal de corte.

### 1.6.2.3.5.3 Transformadores de tensión e intensidad

Se denomina transformadores de medida y protección a aquellos transformadores destinados a alimentar instrumentos de medida, contadores, relés y otros aparatos cuya función sea la medida y protección de las magnitudes eléctricas de las líneas. Con estos dispositivos se consigue reducir a valores no peligrosos y normalizados, las características de tensión e intensidad de las líneas eléctricas.

De esta forma, se evita la conexión directa entre los circuitos sometidos a medias y altas tensiones, de los aparatos e instrumentos de medida y protección, que además podría ser peligroso para los operarios que manipulasen las instalaciones. A esto habría que añadirle que los aislamientos de los equipos si estuviesen conectados directamente a alta tensión tendrían que ser especiales y muy costosos.

Tanto los transformadores de tensión como los de intensidad, pueden emplearse como transformadores de medida o de protección. A continuación pasaremos a hacer una breve descripción de ambos tipos:

- Transformadores de intensidad: en estos instrumentos, el bobinado del primario consta de una o varias espiras, que se conectan en serie con el circuito cuya intensidad se quiere medir, por lo tanto en serie con el circuito principal. El secundario alimenta los circuitos de intensidad de uno o varios aparatos de medida o protección, los cuales se conectarán en serie también. El arrollamiento primario puede poseer una, dos o cuatro secciones, permitiendo una, dos o tres intensidades primarias nominales, según el acoplamiento entre ellas. Además puede haber uno o varios arrollamientos secundarios, bobinados cada uno sobre su circuito magnético. Así pues, no existirá influencia de un secundario sobre otro. En este tipo de transformadores el secundario siempre tiene que estar cortocircuitado porque, ya que no depende la intensidad del primario de la carga del secundario, la tensión en el secundario se elevaría hasta niveles peligrosos.

El núcleo tiene forma toroide normalmente con el secundario repartido de forma uniforme.

Las intensidades tanto del primario como del secundario están normalizadas. En el primario las intensidades estarán comprendidas entre 5 A hasta 600 A, mientras que en el secundario están estandarizadas a 1 A o 5 A, siendo este último valor el más utilizado.

- Transformadores de tensión: en estos dispositivos, el primario se conecta a los bornes entre los cuales se quiere medir la tensión, mientras que el secundario se acopla a los circuitos de tensión de uno o varios aparatos de medida conectados en paralelo. Estos instrumentos pueden medir la tensión entre fases o entre fase y tierra, aunque a partir de 72,5 KV suelen ser del tipo fase-tierra.

Los equipos de transformación de tensión tienen mucho más parecido a los trafos de potencia que los transformadores de intensidad, fabricándose, por razones constructivas y de aislamiento, su núcleo en forma rectangular. Los secundarios del transformador (si hay más de uno) se bobinan sobre el mismo núcleo, no existiendo así, independencia entre ellos, como sucede en los transformadores de intensidad.

En este tipo de transformadores la tensión primaria abarca múltiples valores de tensión estandarizadas, mientras que las tensiones en el secundario serán de 69, 105, 115, 120 y 208 V (valores también normalizados).

#### **1.6.2.3.5.4 Celdas de media tensión**

Actualmente en las instalaciones de interior se ha dejado de utilizar elementos en tensión colocados al aire para sustituirlos por las llamadas celdas. Estos dispositivos, en forma de armarios metálicos, contienen tanto los elementos de medida, como los dispositivos y aparatos de corte y protección.

En la actualidad, estas cabinas están aisladas en diversos materiales aislantes, como puede ser el vacío, SF<sub>6</sub>,... con lo que se consigue que las personas y operarios estén protegidos de los elementos en tensión. Además, al incluir tanto seccionadores, como disyuntores en el interior de estos elementos, se consigue

poder realizar el corte, la medida o protección de las diferentes líneas que entran en la parte de interior de la subestación o centro de transformación.

La utilización de estas celdas se ha extendido en la actualidad debido a que permiten reducir las dimensiones de las partes interiores de las subestaciones así como aumentan la protección frente a contactos directos para los operarios. Cabe destacar que aunque su uso conlleva un desembolso de dinero, ya que es aparamenta mas cara por los aislantes y las pequeñas dimensiones de las protecciones, esto se contrarresta con la reducción de la obra civil que se debe hacer para construir el edificio donde ira albergada la subestación.

Los tipos de celdas que nos podemos encontrar e una subestación de una central hidroeléctrica son las siguientes:

- Celdas de transformador: Este tipo de celda es donde irán instaladas las protecciones de la línea que va hasta cada uno de los trafos. Estas protecciones serán un interruptor disyuntor para apertura en carga y cortocircuito y un seccionador para corte visible con posicionamiento a tierra, seleccionados anteriormente. En estas celdas se podrán encontrar:
  - 1 interruptor automático (mando motorizado)
  - 1 seccionador de tres posiciones (mando manual)
  - 3 transformadores de intensidad en posición de línea
  - 3 transformadores de tensión en posición de línea
- Celdas de medida: La misión de estas celdas será la de medir las tensiones e intensidades que provienen de las líneas de los transformadores, para saber las magnitudes de los valores que tenemos en las barras de media tensión. Estarán compuestas por un transformador de tensión y un de intensidad para cada fase. En estas celdas encontraremos:
  - 3 transformadores de intensidad y 3 transformadores de tensión
  - 3 voltímetros y 3 amperímetros
  - Frecuencímetro, cosfímetro y vatímetro



- Contador de energía activa y contador de energía reactiva
- Celdas de línea: en esta celda se instalarán las diversas protecciones para las líneas que salen desde la zona interior hacia las diversas salidas de la subestación. Podemos encontrar aquí los seccionadores e interruptores-disyuntores. Además llevarán incluidas sus propios transformadores de tensión e intensidad para protección.



Figura 1.6.2.3.5.4.1 Celdas alta tensión de SF6

#### 1.6.2.3.5.5 Batería de corriente continua y rectificador

La batería de corriente continua es el elemento a través del cual se alimentarán los motores de los seccionadores y de los disyuntores, así como los relés de alta tensión y los de media tensión. Se utiliza debido a que en caso de fallo de la instalación, la batería proporcionaría alimentación a los elementos anteriores con independencia, por lo que se podrán accionar y seguirían funcionando durante el tiempo que tenga carga la batería.

Estos dispositivos permiten su carga y descarga alimentando los relés y motores teniendo varios niveles de funcionamiento dependiendo del tipo de batería que se utilice. Así pues encontramos:

- Estado de flotación: para mantenimiento de la batería estando ya cargada, en función de la temperatura.

- Estado de carga: para reponer la capacidad perdida por la batería en una descarga a una corriente limitada y hasta una tensión final estabilizada. En este momento la batería absorbe energía a través del cargador.
- Estado de descarga: para alimentar los dispositivos a los que va conectada.

En las subestaciones se encuentra alimentada desde el cuadro de baja tensión de servicios auxiliares a través de un rectificador también llamado cargador de baterías.

#### **1.6.2.3.5.6 Conductores**

La misión principal de estos elementos es la de conducir la corriente, y deberán ser diseñados, seleccionados y ensayados para cumplir con los requisitos eléctricos y mecánicos que se definen según los parámetros de diseño de la línea.

El principal material empleado en electricidad es por excelencia el cobre, siendo dúctil, muy buen conductor y bastante fácil de manejar. No existiría ninguna razón para sustituirlo si no fuera porque su uso se ha extendido tanto como su precio. Por esta razón, aparece como primer sustitutivo el aluminio.

El aluminio es un material de una resistividad mayor que la del cobre, aunque sigue siendo un buen conductor. Como ventajas posee que es menos pesado y que su precio es sustancialmente más bajo. Como desventaja principal se conoce que el aluminio tiene un bajo poder de tracción. La solución a este problema fue la introducción de un alma de acero que sería la encargada de soportar los esfuerzos de tracción mientras que los hilos de aluminio transportarían la corriente eficientemente.

Para aumentar los esfuerzos de torsión y tracción de los conductores, estos cables desnudos están formados por haces de acero, en el alma y de aluminio, recubriéndola, trenzados entre sí.

Además de estos cables desnudos utilizados en transporte aéreos, también aparecen los cables aislados para transporte subterráneo principalmente. Estos cables están formados por un núcleo conductor de haces trenzados recubierto por

una capa semiconductor para homogeneizar el campo magnético. Recubriendo este semiconductor se encuentra la capa aislante y se vuelve a colocar otra capa conductora. Protegiendo el cable se coloca un entrelazado de material duro para dar resistencia mecánica al cable y rodeándolo se coloca una capa de aislante de diversos materiales a elegir.

#### **1.6.2.3.5.7 Red de tierras**

Uno de los requisitos indispensables en una subestación es la seguridad y para evitar tensiones de paso y contacto elevadas, que pondrían en peligro la integridad de los operarios, colocamos la llamada red de tierras. Esta red de tierras consistirá, normalmente, en una malla de conductor desnudo enterrada a una profundidad dada repartida por el área de toda la subestación. Cuanto más extensa sea la malla y mas longitud de cable este enterrado, la resistencia de tierra será menor, lo que facilitara el defecto a tierra de la corriente en caso de fallo, aumentando la seguridad del operario.

Todo elemento metálico (soportes, estructuras, vallas, armarios,...) de la instalación deberá estar conectado a esta malla.

Esta resistencia de tierra depende además de la resistividad del terreno, que a su vez varía en función de la época del año y de las condiciones meteorológicas. Otros factores que la determina son la concentración de sales en el terreno, la compactación y la composición.

Además según la forma de conexión del neutro de los transformadores, dependiendo de su tensión, zona geográfica y compañía, habrá que instalar una red de neutro aislada respecto de la red de mallas, que normalmente estará compuesta por un numero de picas a determinar unidas todas ellas por un elemento conductor y a su vez conectadas al neutro del trafo.

Los objetivos pues de estas redes son:

- Obtener un circuito que posea una impedancia baja para que fluya por él las corrientes de cortocircuito, corrientes producidas por sobretensiones, por descargas atmosféricas,... de forma segura

- Se consigue además que durante una falta a tierra, tanto las tensiones de paso como las de contacto sean de un valor reducido, con lo que la seguridad de los operarios aumenta.
- Para tareas de mantenimiento o maniobras en la subestación, la red de tierra nos ofrece un potencial cero, es decir una puesta a tierra para evitar sobretensiones o descargas sobre los operarios

#### **1.6.2.3.6 Servicios auxiliares**

En una central hidroeléctrica hay elementos que en teoría no son indispensables para el funcionamiento de la instalación pero que en realidad su función es igual de primordial que los elementos de corte y protección o los transformadores. Estos dispositivos son los servicios auxiliares, que están compuestos por el alumbrado, puente grúa, la ventilación, la calefacción, la alimentación de los relés y baterías de corriente continua. Estos dispositivos generalmente vienen alimentados desde la parte de media tensión, a través de un transformador de servicios auxiliares que transforma la tensión de la que se nutre, a valores de voltaje de baja tensión, en general de 400V. El transformador vendrá protegido en el lado de media tensión por sus correspondiente aparamenta, colocada en la celda de trafo de servicios auxiliares, mientras que en lado de baja, las protecciones principales serán interruptores automáticos típicos de circuitos de baja tensión. Estas protecciones las encontramos normalmente en el armario de servicios auxiliares. Tanto el transformador de servicios auxiliares como el armario de protecciones normalmente están instalados en el interior de la caseta de mando donde se encuentran el resto de cabinas.

Estos servicios auxiliares como hemos dicho se basan fundamentalmente en circuitos de alumbrado para la central, tanto para las zonas interiores de las casetas, como en la zona exterior o de intemperie. Además con los dispositivos de calefacción o ventilación se consigue una temperatura idónea en el interior a lo largo de todo el año para evitar un mal funcionamiento de los elementos electrónicos.

También habrá que tener en cuenta un número mínimo de tomas de corrientes para poder conectar diferentes dispositivos en caso de situaciones de mantenimiento.

A todo esto, hay que sumarle la alimentación de los relés y de las baterías de corriente continua, que se realizan a través del inversor. Se conseguirá por lo tanto mantener cargadas las baterías para situaciones de falta de alimentación a la central debidas a cualquier tipo de fallo.

#### **1.6.2.4 Diseño hidráulico**

La ingeniería hidráulica, se fundamenta en la mecánica de los fluidos, aunque en ocasiones, ante la imposibilidad de abordar un problema concreto mediante su análisis matemático, utilice formulas empíricas. Las ecuaciones principales para el diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico son la ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad.

##### **1.6.2.4.1 Circulación de agua y pérdidas en tuberías**

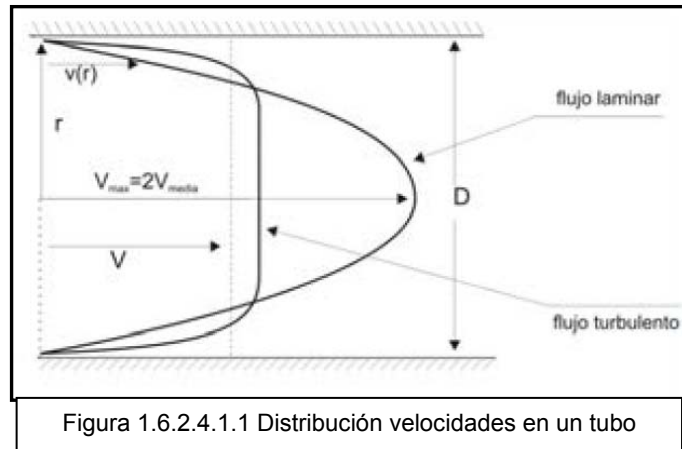
La energía contenida en un fluido incompresible que circula por el interior de un conducto cerrado viene dada por la ecuación de Bernoulli:

$$H_1 = h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \quad (1.6.2.4.1.1)$$

En la que H es la energía total, h la elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia, P la presión,  $\gamma$  el peso específico del fluido, V la velocidad de la línea de corriente y g la aceleración de la gravedad. La energía total en el punto 1 es pues la suma de la energía potencial  $h_1$ , la energía de presión  $P_1/\gamma$  y la energía cinética  $V_1^2/2g$ .

Reynolds observó en el siglo pasado que, cuando se hace circular agua con un a una velocidad suficientemente baja, el flujo exhibe un comportamiento laminar: el agua fluye en forma de tubos múltiples concéntricos, de pared muy delgada. El tubo virtual exterior se adhiere a la pared del tubo real, mientras que cada uno de los siguientes se desplaza a una velocidad ligeramente mayor que el anterior, hasta alcanzar un máximo en el centro del tubo. La distribución de la velocidad

toma la forma de un paraboloide de revolución cuya velocidad media es el cincuenta por ciento del valor máximo en el eje del tubo (figura 1.6.2.4.1.1).



Si se aumenta la velocidad llega un momento en el que las partículas cercanas a la pared, frenan a las que circulan a mayor velocidad por el interior. En ese momento el flujo pasa a ser turbulento, y la distribución de velocidad es más plana. Reynolds encontró que el punto de transición de flujo laminar a flujo turbulento venía determinado por un número adimensional  $Re$  (número de Reynolds) que, en el caso de un tubo de sección circular, viene dado por el producto del diámetro del tubo  $D$  (m) y la velocidad media  $V$  (m/s), dividido por el coeficiente de viscosidad cinemática del fluido  $\nu$  ( $m^2/s$ )

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu} \quad (1.6.2.4.1.2)$$

Se ha encontrado experimentalmente que, en un fluido que circula por un tubo de sección circular y paredes lisas, la transición de flujo laminar a flujo turbulento ocurre aproximadamente cuando  $Re$  alcanza el valor 2000. En realidad esta transición no siempre ocurre exactamente para  $Re = 2000$ , sino que varía con las condiciones en que se realiza el experimento, de forma que más que un punto de transición lo que realmente existe es una zona de transición.

Ahora bien, La viscosidad hace que el agua, circulando por el interior de un tubo, experimente una pérdida de energía  $h_f$  debida a:

- La fricción contra las paredes del tubo
- La disipación viscosa como consecuencia de la fricción interna del flujo

La fricción contra las paredes viene condicionada por su rugosidad y por el gradiente de velocidad en sus proximidades. El gradiente de velocidad, en las cercanías de la pared, como se observa en la figura anterior, es mayor en el flujo turbulento que en el laminar. Por tanto al aumentar el número de Reynolds debe esperarse un aumento de la fricción. Al mismo tiempo, al aumentar la turbulencia aumenta el entremezclado de partículas, y por lo tanto la disipación viscosa en el flujo. Por todo ello la pérdida de carga en régimen turbulento es siempre mayor que en régimen laminar.

Aplicando la ecuación de Bernoulli a un fluido real en dos posiciones de su recorrido se constata que:

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (1.6.2.4.1.3)$$

En la que aparece en el segundo término de la igualdad, una cantidad  $h_f$  que representa la energía perdida en el tramo 1-2, fundamentalmente como consecuencia de la fricción del fluido contra las paredes del tubo y en menor medida de la fricción interna debida a la turbulencia.

Para el cálculo de la pérdida de carga se recurre a la ecuación que obtuvieron Darcy-Weisbach, válida tanto para flujos laminares como turbulento, circulando en conductos de sección transversal arbitraria:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (1.6.2.4.1.4)$$

Donde:

$h_f$  = pérdida de carga

$f$  = factor de fricción de Darcy

$L$  = Longitud de la tubería

$D$  = Diámetro de la tubería

$V$  = velocidad media del fluido

$g$  = aceleración de la gravedad

El coeficiente de fricción es función del número de Reynolds ( $Re$ ) y del coeficiente de rugosidad ( $\epsilon$ ) de las paredes de la tubería. Para calcular el coeficiente de fricción en tuberías hidráulicas se puede recurrir a métodos gráficos, como el diagrama de Moody, representado esquemáticamente en la figura de la página siguiente. En dicha figura se diferencian cinco zonas:

1. Una zona laminar en la que  $f$  es una función lineal del número de Reynolds.
2. Una zona crítica, con definición algo confusa, en la que el régimen no es ni turbulento ni laminar y en la que no se encuentran valores de  $f$ .
3. Una zona de transición en la que  $f$  depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa  $\epsilon/D$ .
4. Una línea que corresponde a los tubos lisos.
5. Una zona plenamente turbulenta en la que  $f$  depende solamente del valor  $\epsilon/D$  de la rugosidad.

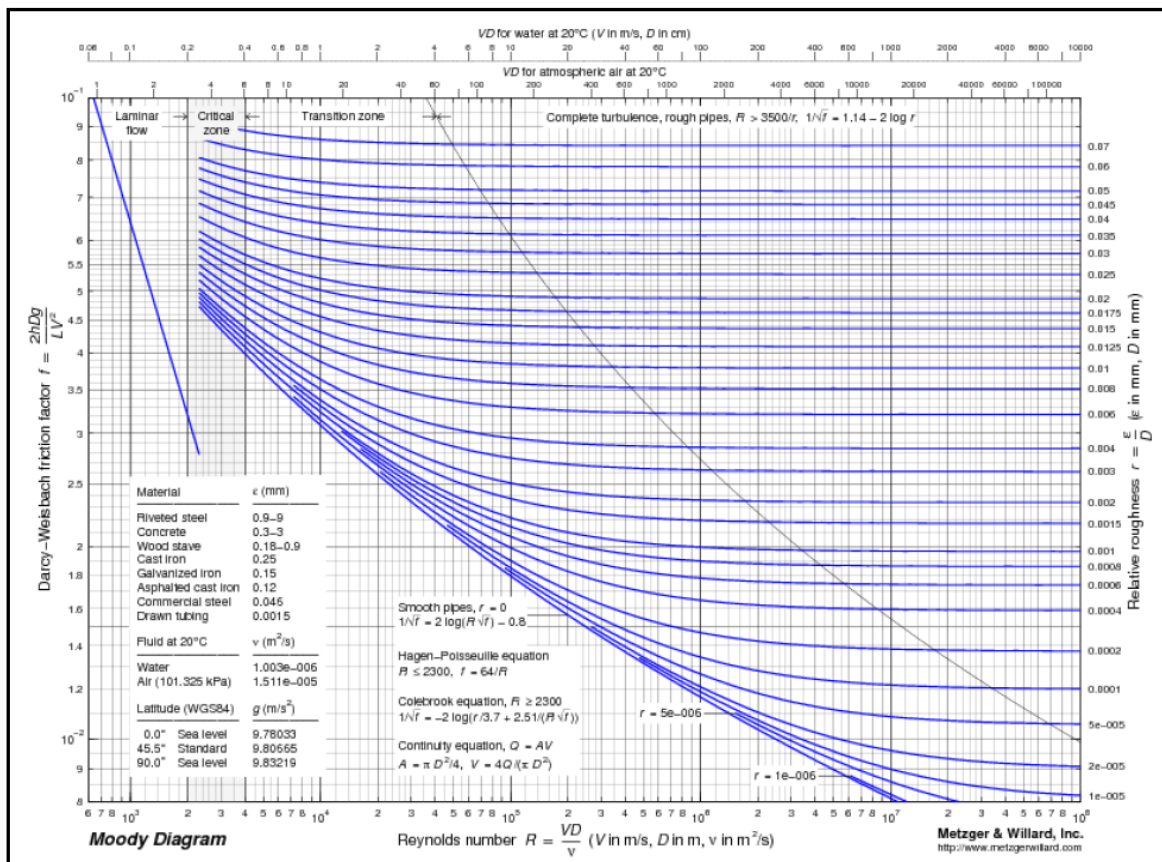


Figura 1.6.2.4.1.1 Diagrama de Moody



### 1.6.2.4.2 Pérdida de carga en válvulas y por contracción de vena

Una súbita contracción de la vena líquida genera una pérdida de carga, debida al aumento de velocidad y a la pérdida de energía consustancial a la turbulencia. El modelo de flujo es tan complejo que, al menos por el momento, es imposible elaborar un análisis matemático del fenómeno. La pérdida de carga adicional  $h_c$  se calcula experimentalmente hasta un valor  $d/D = 0,76$  como:

$$\text{---} \quad (1.6.2.4.2.1)$$

En el caso de expansión súbita, la pérdida de carga viene dada por la expresión:

$$\text{---} \quad (1.6.2.4.2.2)$$

En la que  $V_1$  es la velocidad del agua en el tubo de menor diámetro.

Con respecto a la pérdida de carga generada al paso del agua por una válvula completamente abierta, depende del modelo de válvula y se calcula aplicando la ecuación:

$$\text{---} \quad (1.6.2.4.2.3)$$

Donde,

$h_v$ =pérdida de carga en la válvula (m.)

$K_v$ = coeficiente de pérdida de la válvula (obtenido de la figura 1.6.2.4.2.1)

$V$ =velocidad del agua a través de la válvula

$g$ =aceleración de la gravedad

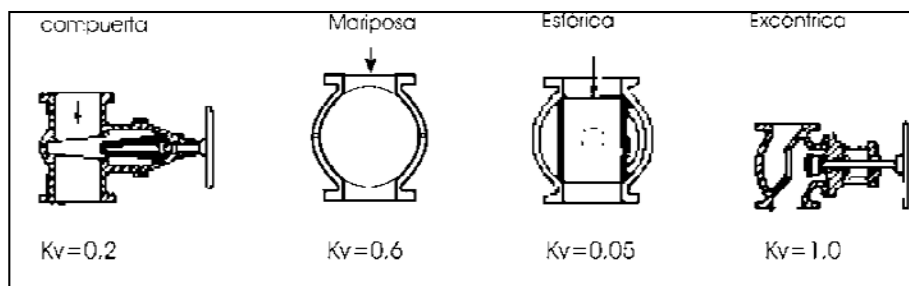


Figura 1.6.2.4.2.1 Coeficiente pérdidas de distintas válvulas

### 1.6.2.4.3 Criterio de selección de la turbina hidráulica

Los factores más importantes a la hora de seleccionar una turbina son los siguientes:

- Caudal: Se entiende por caudal la masa o el volumen de agua que pasa, en un tiempo determinado, por una sección  $S$  de una conducción cualquiera. En el sistema internacional se mide en  $m^3/s$ . Es decir:

$$Q = S * V \quad (1.6.2.4.3.1)$$

- Altura de salto neto: Es la altura de salto puesta a disposición de la turbina. La denominada altura útil se deduce del salto total, restando la altura debida a todas las pérdidas de carga sufridas en todo el proceso. El salto total es la diferencia de cotas entre el inicio del salto y la zona de desagüe. Consideraremos salto neto, como el que disponemos desde la cámara de presión hasta el final del tubo de aspiración. El salto útil corresponde a un valor menor que el salto neto, ya que se obtiene restando de este todas las pérdidas de carga que se originan en el camino. Dichas pérdidas se deben a las turbulencias y rozamientos del agua en las entradas de las tuberías, paredes de todo tipo de conducción, válvulas, codos, ángulos, cambios de sección y orificios de salida, etc.

A continuación se adjunta un esquema para hacerlo, lo más entendible posible:

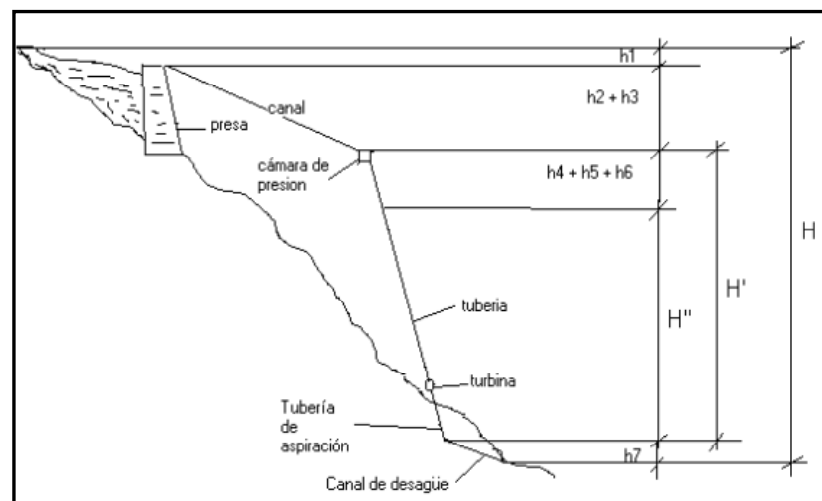


Figura 1.6.2.4.3.1 Definición de alturas de un salto

$h_1$  = pérdida debida al remanso.

$h_2$  = pérdida en el canal

$h_3$  = pérdida en la cámara de presión.

$h_4$  = pérdida en la tubería

$h_5$  = pérdida en la turbina.

$h_6$  = pérdida en el tubo de aspiración

$h_7$  = pérdida en el canal de desagüe.

$H$  = Altura de salto total

$H'$  = Altura de salto bruto.

$H''$  = altura de salto neto

Cabe destacar la importancia de la altura neta, ya que más que ninguna otra característica, es la que determina tanto la obra civil ( presa, canal de derivación, conducto forzado, central ) cuanto el tipo de turbina, así como la velocidad del grupo y el tipo de alternador:

$$H'' = H - (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6) \quad (1.6.2.4.3.2)$$

• Número de revoluciones específico  $n_s$ : El número  $n_s$  es el número específico de revoluciones europeo y es el número de revoluciones por minuto a que giraría una turbina para que con un salto de 1 metro, generase una potencia de 1 CV. Las turbinas Pelton tienen bajos  $n_s$  ( $< 75$ ) Las turbinas Francis y Kaplan tienen  $n_s$  mayores ( $60 < n_s < 1.000$ )

$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{(H_n)^{\frac{5}{4}}} \quad (1.6.2.4.3)$$

Donde tenemos,

$n_s$  = nº r.p.m específico

$n$  = nº r.p.m de sincronismo (r.p.m. del eje)

$P$  = Potencia en CV

$H_n$  = altura del salto neto

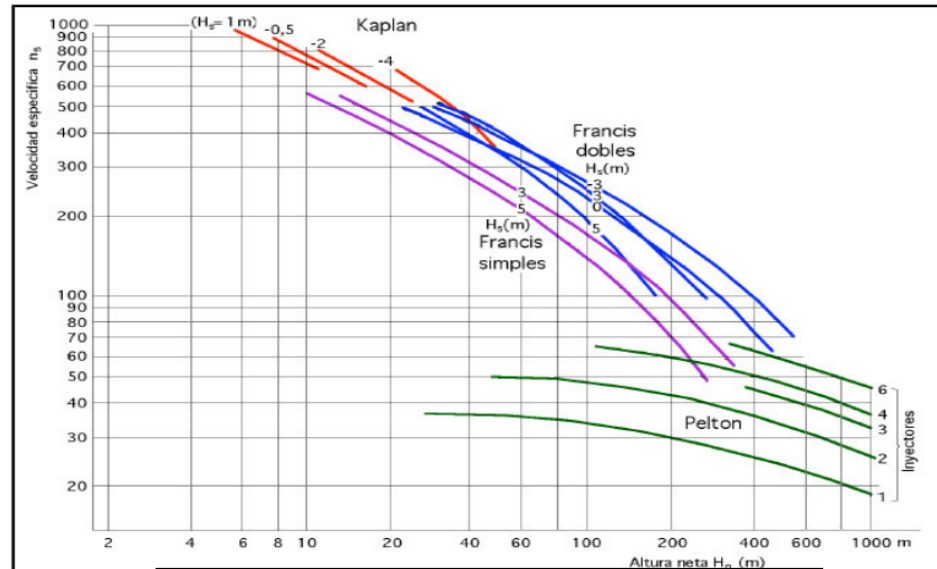


Figura 1.6.2.4.3.2 Selección turbina mediante  $n_s$

- Rendimiento mecánico: La potencia de una turbina es la energía, correspondiente a 1 segundo, de velocidad que el agua puede adquirir en la turbina como consecuencia de la presión a que está sometida. Llamando  $Q$  al caudal en  $m^3/s$  de la tubería de carga y  $H_n$  al salto neto en m, la potencia teórica en kW será:

$$P_t = g \times Q \times H_n \quad (1.6.2.4.3.4)$$

y considerando el rendimiento de la turbina  $\mu$ , la potencia efectiva en el eje del generador será:

$$P_a = g \times Q \times H_n \times \mu \quad (1.6.2.4.3.5)$$

Siendo,

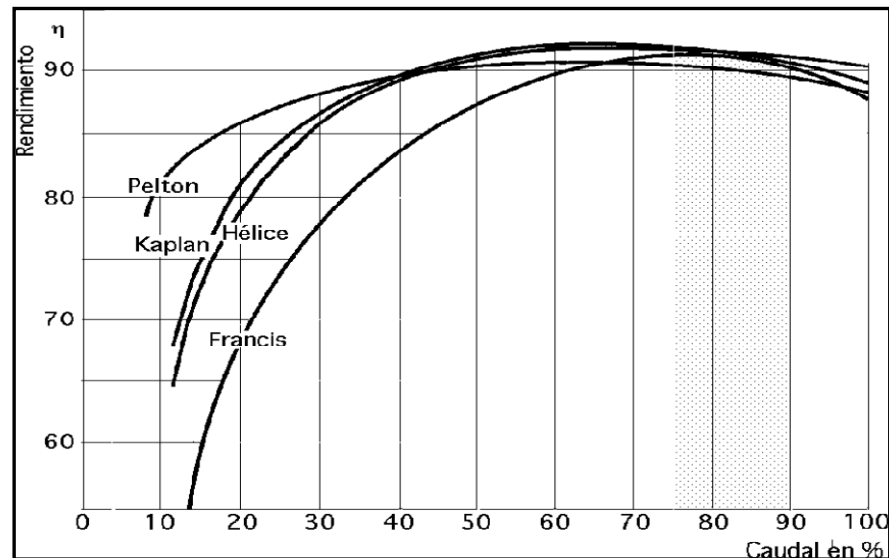
$H_n$ = Altura neta del salto.

$P_a$ = Potencia útil de la turbina o potencia de accionamiento.

$P_t$ = Potencia teórica del salto.

$\mu$ = rendimiento de la turbina.

En la siguiente figura se muestra una curva de los rendimientos de las turbinas más utilizadas en las minicentrales hidroeléctricas.



A la hora de elegir una turbina de acción Pelton, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones, con el objeto de conseguir un rendimiento mecánico óptimo de la máquina:

- Para números específicos mayores de 10, se prefiere usar, o bien 2 o más inyectores por rueda o bien dos ruedas acopladas a un solo árbol y a un mismo generador.
- Pelton con un inyector,  $5 < n_s < 30$
- Pelton con varios inyectores,  $30 < n_s < 50$
- Las actuales investigaciones realizadas recomiendan aumentar lo máximo posible la velocidad específica,  $n_s$  de las turbinas de Pelton.
- Se recomienda utilizar un número par de inyectores.
- Para velocidades específicas menores de  $n_s < 45$ , el rendimiento de la turbina varía poco con la variación de la carga.

- Para la selección de la turbina óptima para el aprovechamiento, tomaremos la selección del siguiente nomograma.

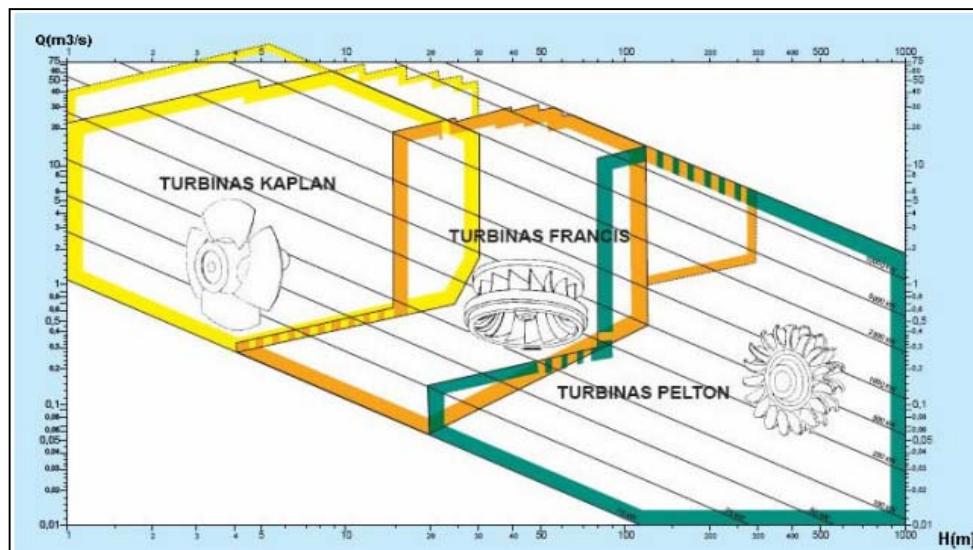


Figura 1.6.2.4.3.4 Nomograma para la selección de turbina

### 1.6.2.5 Diseño eléctrico

Las principales variables que intervienen en el estudio de los circuitos eléctricos son: corriente, tensión y potencia. Prácticamente, todos los cálculos que se realizan en el estudio de estas variables en una central de generación eléctrica pertenecen a los circuitos de corriente alterna senoidal en régimen permanente.

Las ecuaciones que se plantean para efectuar los cálculos son principalmente la ley de Ohm:

$$V(t) = I(t) * Z(t) \quad (1.6.2.5.1)$$

Y la potencia aparente en circuitos trifásicos,

$$S(t) = \sqrt{3} * V(t) * I(t) \quad (1.6.2.5.2)$$

Con  $P(t) = S(t) * \cos\varphi$  y  $(1.6.2.5.3)$

$$Q(t) = S(t) * \text{Sen}\varphi \quad (1.6.2.5.4)$$

En el que  $\varphi$  es el ángulo de desfase entre las ondas de tensión y corriente.  $V$ ,  $I$ ,  $Z$  son respectivamente la tensión, la corriente y la impedancia en función del tiempo.

Además  $P$  es la potencia activa y  $Q$  la reactiva. Como es sabida la relación entre las tensiones y corriente compuesta o de línea y de fase en estrella es:

$$V(t)_{fase} = \frac{V(t)_{línea}}{\sqrt{3}} \quad I(t)_{fase} = I(t)_{línea} \quad (1.6.2.5.5)$$

Y cuando la relación es en triángulo:

$$Y \quad I(t)_{fase} = \frac{I(t)_{línea}}{\sqrt{3}} \quad V(t)_{fase} = V(t)_{línea} \quad (1.6.2.5.6)$$

Además también son de aplicación las leyes de Kirchhoff, teoremas de Norton y Thevenin, así como el principio de superposición. Por otro lado en los cálculos no se utilizan las ecuaciones en su forma trigonométrica, sino que se aplica la teoría de fasores, asignándole a cada variable senoidal en función del tiempo un módulo y un argumento, referido a una magnitud que se toma como referencia.

#### 1.6.2.5.1 Cálculo de la Sección de conductores

Según la duración máxima de un eventual funcionamiento con una fase a tierra, que el sistema de puesta a tierra permita, las redes se clasifican en tres categorías:

- Categoría A: Los defectos a tierra se eliminan tan rápidamente como sea posible y en cualquier caso antes de 1 minuto.
- Categoría B: Comprende las redes que, en caso de defecto, sólo funcionan con una fase a tierra durante un tiempo limitado. Generalmente la duración de este funcionamiento no debería exceder de 1 hora, pero podrá admitirse una duración mayor cuando así se especifique en la norma particular del tipo de cable y accesorios considerados.

Conviene tener presente que en una red en la que un defecto a tierra no se elimina automática y rápidamente, los esfuerzos suplementarios soportados por el aislamiento de los cables y accesorios durante el defecto, reducen la vida de los cables y accesorios en una cierta proporción. Si se prevé que una red va a funcionar bastante frecuentemente con un defecto

a tierra durante largos periodos, puede ser económico clasificar dicha red dentro de la categoría C.

- Categoría C: Esta categoría comprende todas las redes no incluidas en la categoría A ni en la categoría B.

La selección de la sección del conductor de un cable de una línea subterránea de media tensión (MT) se realiza de acuerdo con los siguientes cuatro criterios:

1) La tensión de la red y el régimen de explotación: El valor de la tensión nominal de la línea condicionará el espesor del aislante que se clasifican según los valores  $U_0/U$ , pero además también dependerá del sistema de protección a tierra existente. Así, a partir de la tensión nominal y Categoría de la red se obtiene de la tabla  $U_0/U$  y el valor de  $U_p$  (Valor de cresta de la tensión soportada a impulsos tipo rayo aplicada entre cada conductor y la pantalla o la cubierta para el que se ha diseñado el cable o los accesorios).

Tensión nominal de la red $U_n$	Tensión más elevada de la red $U_s$ kV	Categoría de la red	Características mínimas del cable y accesorios	
			$U_0/U$ ó $U_0$ kV	$U_p$ kV
3	3,6	A-B	1,8/3	45
		C		
6	7,2	A-B	3,6/6	60
		C		
10	12	A-B	6/10	75
		C		
15	17,5	A-B	8,7/15	95
		C		
20	24	A-B	12/20	125
		C		
25	30	A-B	15/25	145
		C		
30	36	A-B	18/30	170

Figura 1.6.2.5.3.1 Categoría de las redes de alta tensión

2) La intensidad que debe circular: Dado que existe un límite de la temperatura de los aislamientos que no debe sobrepasarse si se quiere preservar sus propiedades dieléctricas, mecánicas o químicas a lo largo del tiempo, no se deben sobrepasar las intensidades de funcionamiento en función de la siguiente tabla:



Sección (mm <sup>2</sup> )	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	125	96	130	100	135	105
35	145	115	155	120	160	125
50	175	135	180	140	190	145
70	215	165	225	170	235	180
95	255	200	265	205	280	215
120	290	225	300	235	320	245
150	325	255	340	260	360	275
185	370	285	380	295	405	315
240	425	335	440	345	470	365
300	480	375	490	390	530	410
400	540	430	560	445	600	470

Figura 1.6.2.5.3.2 Tabla secciones conductores

3) La caída de tensión que se produce: En las redes subterráneas de MT existe un límite a la caída de tensión que puede producirse a lo largo de su longitud. Ese valor deberá ser un dato proporcionado por la compañía suministradora de energía y se expresará como un tanto por cien. Existe una expresión aproximada de la sección por caída de tensión en una línea trifásica que es:

$$S = \frac{\rho_{\theta} * L * P}{\Delta V * V} \quad (1.6.2.5.1.1)$$

Donde:

S = sección del cable en mm<sup>2</sup>

P = Potencia activa de la línea en W

L = Longitud de la línea en m

$\rho_{\theta}$  = Resistividad del conductor a la máxima temperatura de servicio en  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$\Delta V$  = caída de tensión absoluta producida en la línea

V = Tensión nominal de la línea en V

Del valor obtenido con la fórmula se redondea a la sección normalizada superior. Las máximas temperaturas de servicio dependen de los tipos aislamientos y sus valores son:

Tipo de Aislamiento		Condiciones	
		Servicio Permanente	Cortocircuito
Policloruro de Vinilo (PVC)	$s \leq 300 \text{ mm}^2$	70 °C	160 °C
	$S > 300 \text{ mm}^2$	70 °C	140 °C
Polietileno Reticulado (XLPE)		90 °C	250 °C
Etileno Propileno (EPR)		90 °C	250 °C
Etileno Propileno alto módulo (HEPR)	$U_0/U \leq 18/30 \text{ kV}$	105 °C	250 °C
	$U_0/U > 18/30 \text{ kV}$	90 °C	250 °C
Papel impregnado en aceite con mezcla no migrante	Hasta 12/20 kV	80 °C	170 °C
	De 15/25 a 18/30 kV	80 °C	150 °C
	26/45 kV	70 °C	150 °C
	36/66 kV	65 °C	150 °C

Figura 1.6.2.5.3.3 Tabla temperatura máxima conductores

Para determinar los valores de la resistividad a la máxima temperatura de servicio, partimos de los datos de la siguiente tabla:

Material	$\alpha$ (°C <sup>-1</sup> )	$\rho_{20}$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	$\rho_{65}$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	$\rho_{70}$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	$\rho_{80}$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	$\rho_{90}$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	$\rho_{105}$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )
Cu	0,00393	0,0172414	0,02029	0,02063	0,02131	0,02198	0,02300
Al	0,00403	0,0285714	0,03375	0,03433	0,03548	0,03663	0,03836

Figura 1.6.2.5.3.4 Resistividad Cu-Al para varias temperaturas

La resistividad a cualquier temperatura se puede estimar como:

$$\rho_{\theta} = \rho_{20^{\circ}\text{C}} * [1 + \alpha(\theta - 20)] \quad (1.6.2.5.1.2)$$

Donde:

$\rho_{\theta}$  = Resistividad del conductor a la temperatura  $\theta$  en  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$  = Resistividad del conductor a 20 °C en  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$\alpha$  = Coeficiente de variación de la resistividad del material con la temperatura en °C<sup>-1</sup>

$\theta$  = Temperatura a la que se quiere determinar la resistividad en °C

4) La intensidad producida en un cortocircuito: Los cables aislados deben tener dimensiones suficientes para soportar sin deteriorarse los esfuerzos

térmicos a los que queda sometido cuando se produce un cortocircuito accidental durante el tiempo que transcurre hasta que actúa la protección. La capacidad de resistir sobrecalentamientos breves depende de la sección y se puede calcular mediante la expresión:

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3}U_n} \quad (1.6.2.5.1.3)$$

Donde,

$I_{cc}$ =corriente de cortocircuito

$P_{cc}$ =potencia de cortocircuito de la red en el punto de enganche

Para calcular la sección en función de la corriente de cortocircuito admisible partimos de la siguiente ecuación,

$$S = \frac{I_{cc}\sqrt{t}}{K} \quad (1.6.2.5.1.4)$$

Donde,

$S$ = sección del conductor en ( $\text{mm}^2$ )

$I_{cc}$ =corriente de cortocircuito en (A)

$t$ =tiempo que tarda en actuar la protección (s)

$K$ = constante que depende del material del conductor y del tipo de aislamiento y que se obtiene de la siguiente tabla.

Conductor	Aislamiento	K
Cobre	PVC	115
	XLPE-EPR	135
Aluminio	PVC	74
	XLPE-EPR	87

Figura 1.6.2.5.3.5 Constante K cables Cu y Al

La densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito, en  $\text{A}/\text{mm}^2$ , para conductores de cobre y aluminio se muestran en las siguientes tablas:

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^*$ (K)	Duración del cortocircuito, $t_{cc}$ , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PVC:											
sección $\leq 300 \text{ mm}^2$	90	363	257	210	162	148	115	93	81	72	66
sección $> 300 \text{ mm}^2$	70	325	229	187	145	132	102	83	72	65	59
XLPE, EPR y HEPR $U_0/U > 18/30 \text{ kV}$	160	452	319	261	202	184	143	116	101	90	82
HEPR $U_0/U \leq 18/30 \text{ kV}$	145	426	301	246	190	174	135	110	95	85	78

Figura 1.6.2.5.3.6 Densidad corriente máxima conductores Cu

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^*$ (K)	Duración del cortocircuito, $t_{cc}$ , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PVC:											
sección $\leq 300 \text{ mm}^2$	90	240	170	138	107	98	76	62	53	48	43
sección $> 300 \text{ mm}^2$	70	215	152	124	96	87	68	55	48	43	39
XLPE, EPR y HEPR	160	298	211	172	133	122	94	77	66	59	54
HEPR $U_0/U \leq 18/30 \text{ kV}$	145	281	199	162	126	115	89	73	63	56	51

Figura 1.6.2.5.3.6 Densidad corriente máxima conductores Al

Por último, se selecciona la sección del cable que resulte mayor de los cuatro criterios anteriores.

### 1.6.2.5.2 Cálculo de la red de tierra

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra requiere un buen conocimiento de las características del suelo, en particular su resistividad  $\rho$ . Por ello, la gran variabilidad del valor de  $\rho$  supone un problema. En la práctica se suele considerar una estructura del terreno homogénea con un valor medio de  $\rho$ , que se estima sobre la base de un análisis del suelo o por mediciones específicas. Cuando no se disponga de información sobre el valor de  $\rho$ , se supondrá que  $\rho = 100 \Omega\text{m}$ . No obstante, en la Tabla 1.6.2.5.2.1 se indican los valores típicos para algunos tipos de suelo. El valor real puede ser muy distinto, por lo que debe realizarse un ensayo de verificación a la terminación de la instalación, además de tomar en consideración las probables variaciones futuras debidas a las condiciones climatológicas y durante la vida útil de la instalación

Tipo de terreno	Resistividad del terreno $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	
	Margen de valores	Valor medio
Terreno pantanoso	2 - 50	30
Barro mezclado con paja	2 - 200	40
Terreno fangoso y arcilloso, humus	20 - 260	100
Arena y terreno arenoso	50 - 3.000	200 (húmedo)
Turba	> 1.200	200
Grava (húmeda)	50 - 3.000	1.000 (húmedo)
Terreno pedregoso y rocoso	100 - 8.000	2.000
Hormigón:	50 - 300	150
1 parte de cemento + 3 partes de arena		
1 parte de cemento + 5 partes de grava	100 - 8.000	400

Figura 1.6.2.5.3.2.1 Resistividad varios tipos de terreno

Según MIE-RAT 13, en principio, hay que considerar dos sistemas de puesta a tierra diferentes:

- Puesta a tierra de protección: Para calcular la resistencia de la tierra de protección partiremos de las recomendaciones dadas por Unesa. Para una malla enterrada de cobre desnudo sin picas la resistencia a tierra es:

$$R_T = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad (1.6.2.5.2.1)$$

Donde,

$R_T$ =resistencia de puesta a tierra de la malla ( $\Omega$ )

$\rho$ =resistividad del terreno ( $\Omega\text{m}$ )

$r$ =radio de un círculo con la misma superficie que la encerrada por la malla de tierra (m)

$L$ =longitud del perímetro encerrado por la malla

- Puesta a tierra de servicio: Para la puesta a tierra de servicio se utilizan picas clavadas en la tierra separadas una distancia igual a la longitud de la pica. En este caso la resistencia a tierra del sistema es:

$$R_T = \frac{\rho}{nL} \quad (1.6.2.5.2.2)$$

Donde,

$\rho$ =resistividad del terreno ( $\Omega\text{m}$ )

n=número de picas

L=longitud de la pica (m)

Una vez conectada la red de puesta a tierra de servicio al neutro de la red de BT, el valor de esta resistencia de puesta a tierra general deberá ser inferior a 37  $\Omega$ . Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación interior, protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA, no ocasione en el electrodo de puesta a tierra deservicio una tensión superior a  $37 \times 0,650 = 24$  V.

Al producirse un defecto a tierra y disiparse una corriente por el sistema de tierras de protección, la tensión inducida sobre el electrodo de puesta a tierra del neutro de BT no deberá superar, pues, los 1 000 V. La distancia D mínima de separación entre ambos electrodos de protección y de servicio, para no sobrepasar los 1 000 V de tensión transferida puede calcularse mediante la fórmula:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2000\pi} \quad (1.6.2.5.2.3)$$

Donde,

$\rho$ =resistividad del terreno ( $\Omega$ m)

$I_d$ =máxima corriente de defecto que puede circular por la línea de MT

Además según la recomendación de Unesa en el suelo de la casa de máquinas, se instalará un mallado electro soldado, con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,3 x 0,3 m, embebido en el suelo de hormigón del edificio a una profundidad de 0,10 m. Este mallado se conectará como mínimo en dos puntos, preferentemente opuestos, al electrodo de puesta a tierra de protección. Todas las partes metálicas interiores de la casa de máquinas que deben conectarse a la puesta a tierra de protección (cajas de los transformadores, cabinas, armarios, soportes, bastidores, carcasas, pantallas de los cables, etc.), se conectarán a este mallado. Las puertas y rejillas metálicas que den al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas

conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías. Por tanto, no se conectarán a este mallado interior.

Con esta disposición de mallado interior, se obtiene una equipotencialidad entre todas las partes metálicas susceptibles de adquirir tensión, por avería o defecto de aislamiento, entre sí y con el suelo. Por tanto, no pueden aparecer tensiones de paso ni de contacto en el interior del edificio.

#### **1.6.2.6 Automatización de centrales hidroeléctricas**

La automatización de una central tiene como objetivos: reducir los costos de operación y mantenimiento, aumentar la seguridad de los equipos y optimizar el aprovechamiento energético de la instalación.

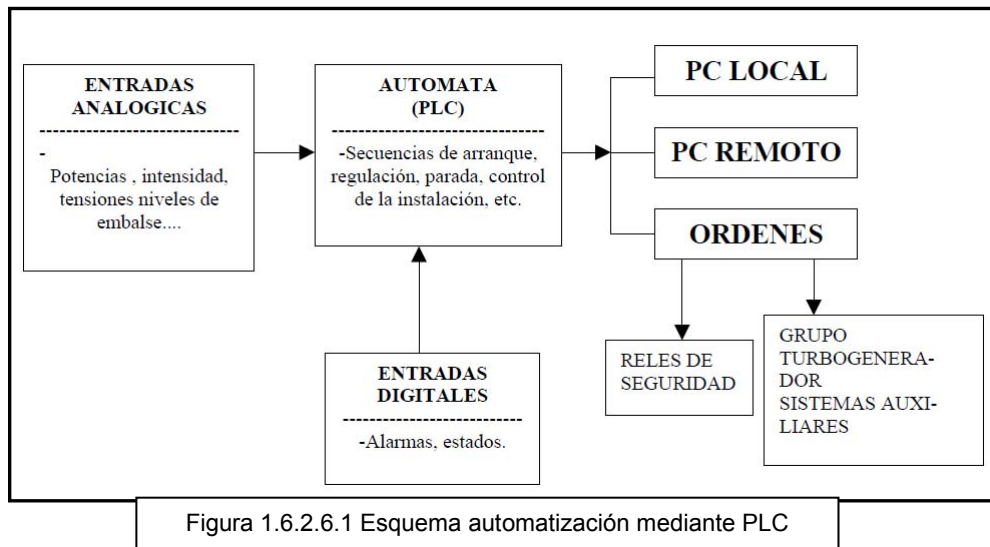
El grado de automatización depende de varios factores, principalmente de: la ubicación de la central, el tipo de central, posibilidades de regulación, costo de personal y presupuesto.

Para una central ubicada cerca de un núcleo de población, con un acceso fácil y bajo costo de personal, una automatización mínima a base de relés convencionales sería suficiente; mientras que para una central aislada con un difícil acceso, altos costos de personal, se justificaría una instalación más completa para el sistema de automatización y telemando.

La automatización puede ser total, es decir, arranque, regulación y parada, o simplemente de parada y alarma, cuando actúa alguna de las protecciones de la central.

Hay diversos equipos mecánicos, como son limpiarejas y compuertas, cuyo funcionamiento también puede automatizarse.

La tecnología empleada puede ser convencional, es decir, mediante relés electromecánicos o estáticos o con técnicas informáticas basadas en microprocesadores con sus correspondientes programaciones que gestionarán todas las funciones de la central.



### 1.6.2.6.1 Diseño con autómatas programables

El controlador lógico programable (PLC por sus siglas en inglés) es un sistema computarizado que puede ser programado para controlar automáticamente la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos. [5]

El PLC brinda una posibilidad de solución a problemas de automatización y control en las industrias. Posee las cualidades de flexibilidad, gran capacidad de procesamiento, se puede adaptar a cualquier tipo de requerimiento, ayudando a mejorar los niveles de producción de una planta.

La operación básica del controlador programable es:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para la obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

El controlador lógico programable consta de cinco elementos principales, a mencionar la fuente de alimentación, CPU, memoria, módulos de entradas y salidas y módulos de comunicación. Otros componentes que permiten su operación son la unidad de programación, los dispositivos periféricos y algunos módulos especiales, dependiendo de la aplicación.



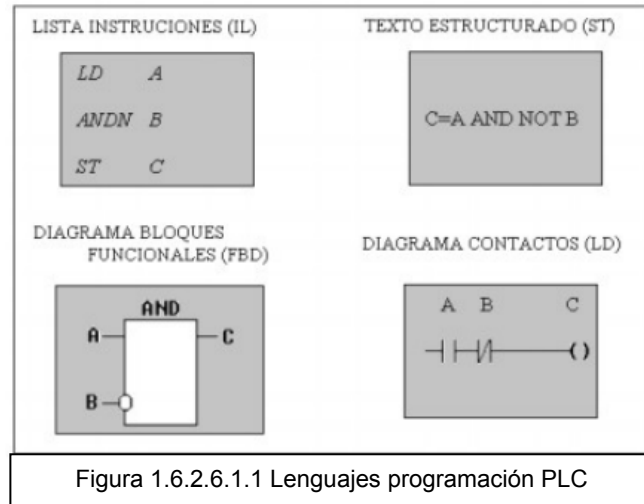
El PLC puede trabajar de tres formas diferentes:

- Program: El PLC se encuentra en reposo, no escanea entradas y no ejecuta el programa. Se puede editar en línea y transmitir el programa al controlador o a la unidad de programación.
- Run: El PLC escanea las entradas, ejecuta el programa que tiene en memoria y envía las salidas respectivas. No se puede hacer cambios en línea al programa.
- Remote: Cuando el PLC está en este estado es posible establecer su estado desde la PC de programación, ya sea en Remote Run o Remote Program. Ejecuta el programa, pero se pueden hacer cambios en línea.

La programación del PLC se centra en expresar las operaciones y secuencias de control del sistema en un lenguaje de programación adecuado para el PLC. De acuerdo a la norma IEC 61131-3 se definen cuatro lenguajes de programación normalizados para los controladores programables, divididos en dos tipos:

- Literales:
  - Lista de instrucciones (IL)
  - Texto estructurado (ST)
- Gráficos:
  - Diagrama de escalera (LD)
  - Diagrama de bloques funcionales (FBD)

En la siguiente figura se muestra una descripción breve de cada lenguaje mencionado anteriormente.



Los conceptos fundamentales de la programación del PLC son comunes a todos los fabricantes, sin embargo las diferencias en el direccionamiento de las E/S, la organización de la memoria y el conjunto de instrucciones hace que los programas de los PLC no se puedan usar entre diversos fabricantes.

Las unidades de programación son el software y hardware encargados de la programación, compilación, grabación y supervisión del programa de los controladores programables. Estas unidades pueden ser consolas de programación o una PC equipada con el software correspondiente. Este último caso es el más frecuente.

### 1.6.2.6.2 Regulación automática de tensión y velocidad

El regulador de velocidad ejerce control sobre la velocidad de la turbina, para que el generador suministre energía eléctrica con una frecuencia lo más cercana posible a la deseada, en particular a 50 Hz, aún cuando se presenten perturbaciones tales como variaciones de la carga, disparo de otra fuente de generación, etc.

En el caso de que el generador este acoplado a un sistema interconectado (barra infinita), la frecuencia no se ve afectada pues el sistema interconectado es mucho más grande que el generador e impone su frecuencia al mismo, así que en este caso el gobernador permite ajustar la potencia activa entrega por el generador.

Para obtener una velocidad constante del grupo generador cuando existe una demanda variable, es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso sea igual a la potencia eléctrica de salida, más las pérdidas internas del grupo como se muestra en la figura 1.6.2.6.2.1.

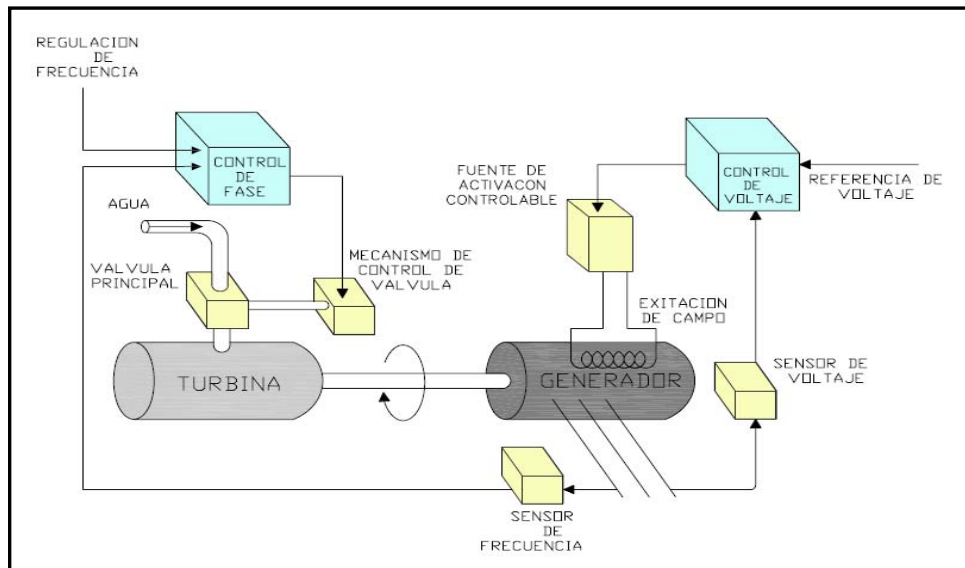


Figura 1.6.2.6.2.1 Esquema regulador automático tensión-velocidad

Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua que ingresa a la turbina, de tal manera que si se produjera un aumento en la demanda, se abrirá una válvula que permite el mayor ingreso de agua a la turbina, ocasionando que la potencia generada se iguale a la demanda.

$$\text{Potencia de ingreso} = \text{potencia de salida} + \text{pérdidas}$$

Esta regulación se puede realizar de forma manual o automática. El flujo se controla por medio de los alabes giratorios en las turbinas de reacción, Francis o Kaplan, y por la válvula de aguja o el deflector de chorro en las turbinas de impulso, Pelton.

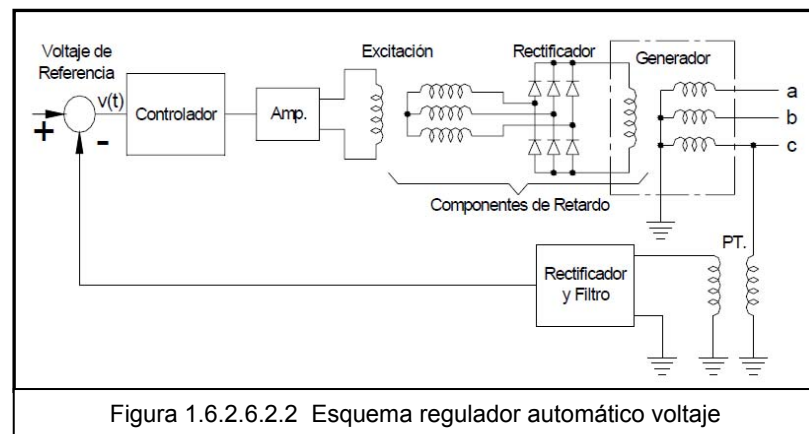
Los reguladores de velocidad deben reunir ciertas cualidades técnicas, tales como, minimizar las variaciones de la frecuencia y minimizar el tiempo que demora en restablecer la frecuencia nominal.

- El regulador automático de voltaje (AVR) electrónico se encarga de mantener el nivel de voltaje constante para cualquier condición de carga dentro del valor nominal del generador, aún con variaciones de la velocidad del 15%. Para su

funcionamiento toma una señal la tensión de salida del generador. Esta la compara con la tensión de referencia y emite automáticamente hacia el campo de la excitatriz una corriente continua necesaria para mantener la tensión en el nivel de calibración. Las principales partes de este regulador de voltaje son:

- Circuito sensor y comparador.
- Circuito amplificador del error y de control de disparo.
- Circuito de control de potencia.
- Circuito de estabilidad.
- Circuito de protección por baja velocidad motriz.

En la figura siguiente se muestra el esquema de funcionamiento de un AVR:



### 1.6.2.6.3 Arranque y paro de la central

Las secuencias de arranque y de paro automáticas efectuadas por el PLC de las unidades generadoras, son las siguientes:

- Programa I - Arranque hasta giro a velocidad nominal. El primer paso de este programa será verificar la existencia de las condiciones previas de arranque. Dadas esas condiciones, la secuencia de arranque continuará con los pasos necesarios para llevar la unidad hasta la velocidad nominal. Una vez cumplido esto, se dará una señal de programa ejecutado. El PLC quedará entonces a la espera de una nueva selección de programa y comando de ejecución.

- Programa II - Arranque hasta giro a velocidad y voltaje nominales. Este programa incluye todas las secuencias del Programa I y al llegar a la velocidad nominal, se dará la orden de conectar la excitación. Cuando se haya alcanzado el voltaje nominal, la secuencia será terminada, se emitirá una señal de secuencia ejecutada y el PLC quedará disponible para la selección y ejecución de una nueva secuencia.
- Programa III – Sincronización y toma de carga. Este programa incluye todas las secuencias del Programa I y II, pero cuando la unidad alcance la velocidad y el voltaje nominales, el PLC de la unidad habilitará al sincronizador automático y recibirá el permisivo para la entrada en paralelo de la unidad. Una vez cerrado el interruptor, el PLC 26 de la unidad emitirá una indicación de programa ejecutado y quedará a la espera de los comandos operativos de toma de carga o de selección y ejecución de un nuevo programa.
- Programa IV - Paro normal. Este programa llevará la unidad a una condición de paro y pondrá fuera de servicio sus equipos auxiliares. El paro de la unidad se iniciará llevándola primero al estado de operación sin carga y desconectándola luego del sistema.
- Programa V - Paro parcial. Este programa será ejecutado por el PLC de la unidad cuando se presente una condición para rechazo de carga total detectada por las protecciones eléctricas, producto de una falla ajena a la unidad. La unidad queda en el estado de velocidad nominal sin carga, controlada por los reguladores de velocidad y de voltaje. Cuando las condiciones normales se restablezcan, se reconocen la falla y se podrán dar las órdenes respectivas al PLC para que la unidad entre al paralelo con el sistema y se complete el Programa III. Dependiendo de la condición de falla, el operador podrá optar por sincronizar nuevamente la unidad o por efectuar un paro normal.
- Programa VI - Paro rápido. Este programa iniciará el cierre de ingreso de agua, antes de desconectarla del sistema para evitar un aumento de velocidad; se desconectará la excitación; la válvula de admisión será cerrada y se aplicará los frenos

- Programa VII - Paro de emergencia. El primer paso de este programa es abrir el interruptor de la unidad, desconectar la excitación, cerrar el ingreso de agua a la turbina, cierre de la válvula de admisión y aplicación del deflector de frenado del rodete.

## 1.7 Análisis de las soluciones

En este punto se justifican las distintas soluciones adoptadas en el diseño de la minicentral, intentando adoptar la solución más eficiente teniendo en cuenta la relación entre coste y rendimiento.

Al tratarse de la rehabilitación de una antigua central ya construida, muchos de los elementos no admiten modificación, o su modificación sería tan costosa que haría el proyecto inviable económicamente. Tanto la casa de máquinas, como la cámara de carga y el propio canal de conducción no admiten modificación y por lo tanto sólo cabe la posibilidad de su limpieza y rehabilitación.

Con respecto a la forma de llevar el agua hasta la central, en un primer momento se estudio la posibilidad de transportar el agua mediante una tubería de presión desde la cámara de carga que abastece la central del Eume. Finalmente se desechó esta opción y se decide rehabilitar el antiguo canal debido a que el tramo de tubería sería demasiado largo y costoso, además tiene el inconveniente de que la tubería tendría que cruzar el río ya que la nueva central está situada en el margen izquierdo del mismo. Por último, la capacidad de conducción del túnel de  $26 \text{ m}^3/\text{s}$ , que lleva el agua desde la presa hasta la cámara de carga está muy ajustada a los requerimientos de caudal de la central del Eume, lo que no hace posible aumentar el caudal sin merma de su rendimiento.

En relación con la evacuación de la energía producida, también se barajó la posibilidad de instalar alternadores de la misma tensión que los que ya existen en la nueva central y conectar directamente los mismos con los transformadores de esta, (que también va equipada con dos grupos de 27,2 Mw cada uno), lo que reduciría los costes de rehabilitación, ya que no sería necesaria la instalación de los dos transformadores de potencia y sus componentes asociados.

De nuevo se opta por instalar los transformadores, ya que es difícil y muy caro conseguir alternadores de 2500 Kw que generen a la misma tensión que los que entregan mucha mayor potencia. Además sobrecargaría los ya ajustados transformadores de los grupos de la nueva central. Por último tendría el inconveniente de que habría que parar la central cuando se realizasen labores de mantenimiento en dichos equipos. Además al ser la tensión de salida de 20 Kv se pueden conectar directamente a la red de distribución local.

Por último, en relación a la tubería forzada, se utilizarán dos tubos en lugar de uno, para aprovechar parte de las actuales zapatas de soporte y el resto de zanjas por donde deben instalarse las tuberías. La instalación de un solo tubo de mayor diámetro acarrearía mayores obras y por lo tanto mayores costes.

### **1.8 Resultados finales**

A continuación se detallan los datos técnicos de los distintos componentes que forman el aprovechamiento:

□ Situación:

Provincia: A Coruña

Término municipal: A Capela y Monfero

Lugar: A Ventureira

Cuenca: Río Eume

Longitud del río afectada: 3400 m

□ Cuenca e hidrología:

Río del que deriva el agua: Eume

Régimen del río: Pluvial

Superficie de la cuenca vertiente: 500 Km<sup>2</sup>

Aportación anual media cuenca: 606,3 hm<sup>3</sup>

Salto bruto: 192,7 m

Salto neto: 186 m

Potencia teórica del salto: 5734 Kw

□ Captación:

Embalse: Eume

Capacidad embalse: 123 hm<sup>3</sup>

Altura embalse: 103 m

Coordenadas: Latitud 43° 24' 27,67" N Longitud 8° 0' 39,38" W

Caudal derivado: 3 m<sup>3</sup>/s

Tipo: Cuenco de hormigón con vertedero de excesos y compuerta de regulación

□ Canal de conducción:

Material: Mampostería

Caudal transportado: 3 m<sup>3</sup>/s

Tirante normal: 1,06 m

Ancho: 2 m

Cota inicio: 251,5 m

Cota finalización: 238 m

Velocidad del agua: 1,4 m/s

Longitud: 2700 m

Pendiente: 0,5%

Pérdida de carga: 13,4 m

□ Cámara de carga:

Tipo: Convencional de mampostería, sección cuadrada



Altura: 3 m

Cota del fondo: 235 m

Nivel mínimo explotación en la cámara: 1,5 m

Medida de nivel: sensor de presión con salida 4-20mA

□ Tubería de presión:

Material: Acero

Espesor: 10 mm

Caudal: 3 m<sup>3</sup>/s

Diámetro interior: 800 mm

Cota inicio (eje): 238 m

Cota finalización (eje): 45,3 m

Velocidad del agua: 3 m/s

Longitud: 289 m

Pérdida de carga: 4,9 m

Pendiente media: 42 %

□ Turbina:

Número de turbinas: 2

Tipo: Pelton de dos inyectores

Potencia: 2737 Kw

Velocidad específica: 44 rpm

Velocidad de giro: 500 rpm

Caudal: 1,5 m<sup>3</sup>/s

Rendimiento para caudal diseño: 88 %

Control distribuidor: Servomotores hidráulicos

Protección: Válvula de guarda de mariposa

Sensores: temperatura de cojinetes y rpm eje

□ Generador:

Número de generadores: 2

Tipo: Alternador con excitación independiente

Potencia nominal: 2518 Kw

Tensión nominal: 2300 V

Intensidad nominal: 743,5 A

Velocidad de giro: 500 rpm

Frecuencia: 50Hz

Pares de polos: 6

Factor de potencia: 0,85

Refrigeración: Aire forzado

Sensores: temperatura de cojinetes, de devanado estator y revoluciones del eje

Línea de enlace con transformador: Cable HEPR de aluminio y sección 2 x 300 mm<sup>2</sup> por fase.

Protecciones: Interruptor automático con disparo por relés de corriente, tensión, frecuencia, diferencial y potencia inversa.

□ Transformador:

Número de transformadores: 2

Tipo: En baño de aceite con refrigeración natural

Potencia: 2962 KVA

Tensión primario: 20000 V

Conexión primario: Triángulo

Tensión secundario: 2300 V

Conexión secundario: Estrella

Frecuencia: 50Hz

Tensión de cortocircuito: 10%

Sensores: temperatura de devanados

Protección: Celda de medida e interruptor automático en celda de SF6 con disparo por relés de corriente, tensión, diferencial y frecuencia.

□ Interconexión con la red de MT:

Tipo: Red subterránea con entronque en subestación central Eume

Conductor: Seco, de aluminio, con aislamiento HEPR y sección 300mm<sup>2</sup> por fase.

Protección: Autoválvulas y fusibles de 40A con percutor en el entronque.

□ Puesta a tierra:

Esquema de puesta a tierra: puesta a tierra independiente de protección y de servicio

Tierra protección: anillo rectangular, cobre desnudo de 30 m x 15 m enterrado 0,8m y picas.

Resistencia tierra de protección: < 0,6 Ω

Tierra de servicio: Formada por 4 picas de 6 m de longitud cada una y 14 mm de diámetro, separadas 6 m entre ellas.

Resistencia tierra servicio: 1,7 Ω

Separación entre tierras:  $\geq 108,5\text{m}$

□ Casa de máquinas:

Tipo: Edificio de planta rectangular convencional de 30m de largo por 15m de ancho, con tres habitaciones independientes (Transformadores, cuadros eléctricos y grupos turbina-alternador).

Situación: Aguas abajo del embalse en la cota 45,3 m

Coordenadas: Latitud 43° 24' 23,53" N Longitud 8° 2' 25,81" W

Canal de desagüe: sección tipo baúl de 1,5m de ancho y 10m de longitud.

□ Sistema de control:

Tipo: Autónomo, basado en autómatas digitales programables con funciones de telecontrol.

Tipo de regulación: Regulador PID de frecuencia y tensión.

Entradas: Mediante sensores tacométricos, de temperatura, nivel, presión y posición. Medidas de tensión, intensidad y frecuencia.

Salidas: Control de los inyectores de la turbina y la válvula de guarda mediante válvulas hidráulicas proporcionales que controlan los servomotores hidráulicos. Control de la corriente de excitación. Indicación de alarmas. Envío de teleinformación.

□ Datos económicos:

Horas anuales de funcionamiento: 5751

Producción anual de energía: 23754000 Kwh

Potencia neta inyectada en la red: 4130 Kw

TIR ( 25 años): 13,2 %

Tiempo estimado construcción: 15 meses

### 1.8.1 Funcionamiento de la minicentral

El control de la minicentral, llevado a cabo por sendos PLC totalmente independientes para cada grupo, se realiza básicamente mediante la información recibida de los distintos sensores con los que van equipados los distintos elementos que integran la central.

Básicamente el control de la misma se reduce a mantener constantes y en unos valores prefijados tanto la tensión de salida de los alternadores como su frecuencia.

El funcionamiento de la central se puede resumir en los siguientes puntos:

1º) Una vez se da la orden de marcha, el autómatas comprueba en cada ciclo de programa, que todas las variables de entrada toman valores dentro del rango aceptable (Temperatura, presión, posición...), y a que se alcance un nivel mínimo de agua en la cámara de carga ( $H_{min}$ ).

En el caso de detectar algún error en la lectura de alguna variable de entrada, el controlador lo indicaría en el correspondiente display del panel de mando y abortaría el arranque.

2º) Tan pronto se detecta el nivel mínimo de explotación en la cámara de carga ( $H_{min}$ ), el PLC da la orden de abrir la válvula de guarda y posteriormente comienza la apertura de los inyectores de la turbina Pelton. Una vez el generador alcanza tanto la velocidad de sincronismo como la tensión nominal, este se conecta a la red cerrando el interruptor del mismo.

3º) Una vez el grupo está conectado a la red, el sistema de control implementado mediante un algoritmo PID, se encargará de mantener en un valor de referencia definido tanto la tensión de salida, como la frecuencia y el nivel de agua en la cámara de carga. Para ello actuará sobre la corriente del devanado de excitación del alternador, la carrera de la aguja de los inyectores y la apertura de la válvula que abastece el canal, situado en la cámara de válvulas del embalse, respectivamente.

4º) Si por alguna perturbación externa, un fallo en la alimentación de agua de la central o cualquier otro motivo las variables anteriormente nombradas no pudieran mantenerse dentro de los valores de referencia establecidos el sistema de control procedería a la desconexión inmediata del grupo afectado.

**Nota:** Durante el funcionamiento de la instalación, se pueden dar situaciones que provoquen una sobre velocidad en el grupo turbina-generador (hueco de tensión, variaciones bruscas de caudal, etc.) que pueden provocar graves daños materiales y personales. Para evitar dicha situación, el conjunto turbina-generador monta una protección centrífuga mecánica en el eje, que corta la alimentación a las electroválvulas que alimentan los inyectores de la turbina. Estos servomotores son de funcionamiento pasivo, es decir, en ausencia de tensión, la presión del acumulador del circuito hidráulico cierra automáticamente el distribuidor y la válvula de guardia de la turbina.

### **1.8.2 Planificación de los trabajos**

En el Plano 12 se detalla un gráfico en el que se indican las obras y los momentos de ejecución de las mismas para un periodo estimado de construcción de la minicentral de quince meses.

**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **ANEXOS**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

## ÍNDICE

2 ANEXOS	103
2.1 Documentación de partida	103
2.2 Cálculos	103
2.2.1 Caudal de diseño	104
2.2.2 Pérdidas de carga en el canal	104
2.2.3 Tubería de presión	105
2.2.4 Pérdida de carga en la bocatoma	106
2.2.5 Pérdidas en la cámara de carga	106
2.2.6 Pérdida en los codos	107
2.2.7 Pérdida en la válvula de guarda de la turbina	107
2.2.8 Golpe de ariete y chimenea de equilibrio	107
2.2.9 Salto neto y potencia útil	108
2.2.10 Elección de la turbina	108
2.2.11 Generador	109
2.2.12 Transformador	110
2.2.13 Interconexión a la red	110
2.2.14 Puesta a tierra	111
2.2.14.1 Tierra de protección	111
2.2.13.2 Tierra de servicio	113
2.3 Justificación económica	114
2.3.2 Índices de rentabilidad	115
2.3.2.1 Periodo simple de retorno	116
2.3.2.2 Índice de Energía	117
2.3.2.3 Índice de Potencia	117
2.3.3 Análisis de la rentabilidad de la inversión	117
2.3.3.1 Valor Actual Neto (VAN)	117
2.3.3.2 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	118



## 2 ANEXOS

### 2.1 Documentación de partida

El embalse del Eume que abastecerá la minicentral se ubica en las coordenadas geográficas  $8^{\circ} 00' 34''$  N de latitud y  $43^{\circ} 24' 31''$  W de longitud (Hoja 22 de la cartografía 1:50.000 del IGN; I huso 29).

El embalse tiene 123 hm<sup>3</sup> de capacidad máxima. Recibe una aportación anual media de 606,3 hm<sup>3</sup> procedentes de una cuenca de 500 km<sup>2</sup> de superficie. El máximo nivel de explotación normal está a la cota 316,7 y la cota mínima real alcanzada en los últimos 20 años es la 304,16 m.s.n.m. (14-oct-1990). Por tanto la carrera de explotación, si bien en el proyecto original era de unos 62 m, en los últimos años 20 años se ha limitado a 12,55 m.

La presa de 103m de altura, va dotada de dos desagües de fondo de 1,50 m de diámetro, cerrados cada uno de ellos por dos compuertas gemelas de tipo americano de  $1 \times 1,50$  metros, construidas en acero moldeado y accionadas oleohidráulicamente. La carga total sobre el centro de las compuertas es de 89,09 m de altura, para cota de embalse al N.M.N.. La cota del eje de embocadura es la 223,62 m.s.n.m. y el caudal unitario a cota mínima de explotación es de 98,9 m<sup>3</sup>/s.

El trazado del canal entre la presa del embalse del Eume y la central hidroeléctrica Posee 2,7 km de longitud y una pendiente del 0,5%. La central se sitúa en la cota de 45,3m. La actual central recibe un caudal total de 21 m<sup>3</sup>/s para alimentar los das turbinas de las que consta.

Por otro lado, se han obtenido los datos por parte de la compañía eléctrica local con respecto a la potencia de cortocircuito,  $P_{cc}=500\text{MVA}$  en la línea donde se conectará la central y la corriente de defecto monofásico a tierra,  $I_d=550\text{A}$ .

### 2.2 Cálculos

A continuación se relacionan los distintos cálculos que se llevaron a cabo para el dimensionamiento de los distintos elementos que componen el aprovechamiento hidroeléctrico y que son:

### 2.2.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño  $Q_d$  se establece a partir del caudal de diseño original. El canal de conducción se construyó para un caudal de 3000 l/s, por lo tanto tomamos:

$$Q_d = 3000 \text{ l/s} = 3 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.2.1.1)$$

Sin embargo, por razones constructivas de las bancadas se utilizarán dos turbinas con un caudal de:

$$Q_{\text{turbina}} = 1500 \text{ l/s} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.2.1.2)$$

### 2.2.2 Pérdidas de carga en el canal

Partiendo de una longitud del canal de 2,7 km., pendiente del 0,5% y ancho del mismo de 2m. y teniendo en cuenta que está construido en mampostería con piedra suelta:

De la ecuación de Manning calculamos el tirante normal  $Y_n$  como:

$$Y_n = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S_0}}{n} \quad (2.2.2.1)$$

Introduciendo los datos y resolviendo la ecuación mediante software informático para un valor de Manning  $n = 0,032$  obtenemos un tirante normal y una velocidad media del agua respectivamente.

$$Y_n = 1,06 \text{ m} \quad (2.2.2.2)$$

$$V_m = 1,42 \text{ m/s} \quad (2.2.2.3)$$

Calculando el perímetro mojado para un canal rectangular:

$$P_{\text{mojado}} = 2 + 1,06 * 2 = 4,12 \text{ m} \quad (2.2.2.4)$$

Y la pérdida de carga según la ecuación de Manning es:

$$h_{\text{canal}} = \left( n \frac{Q * P^{\frac{2}{3}}}{A^{\frac{5}{3}}} \right)^2 L = \left( 0,032 \frac{3 * 4,12^{\frac{2}{3}}}{(2 * 1,06)^{\frac{5}{3}}} \right)^2 * 2700 = 13,4 \text{ m} \quad (2.2.2.5)$$

Que es un valor aceptable.

### 2.2.3 Tubería de presión

La altura de carga se obtiene restando la cota desde el punto de salida en la cámara de carga (ver apartado 2.2.5) y la cota del eje de la turbina, resultando:

$$H_{\text{salto bruto}} = 238 - 45,3 = 192,7 \text{ m} \quad (2.2.3.1)$$

Calculamos ahora el diámetro de la tubería para una velocidad del agua en la tubería  $V_{\text{tubo}} = 3 \text{ m/s}$ , para que las pérdidas no sean elevadas,

$$D_{\text{tubo}} = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*V_{\text{tubo}}}} = \sqrt{\frac{4*1,5}{\pi*3}} = 0,80 \text{ m} = 80 \text{ cm} \quad (2.2.3.2)$$

Calculamos el espesor de pared en  $mm$ , con  $k_f = 0,9$ , ya que las uniones del tubo son mediante soldadura y una resistencia a tracción del acero  $\sigma_f = 1600 \text{ kg/cm}^2$ . Además tomamos un sobre espesor por corrosión para un periodo de 30 años ( $e_s = 3 \text{ mm}$ ),

$$e_p = \frac{P_1 D}{2K_f \sigma_f} + e_s = \frac{24,5*800}{2*0,9*1600} + 3 \cong 10 \text{ mm} \quad (2.2.3.3)$$

Donde  $P_1$  es una sobrepresión debido al golpe de ariete en  $\text{kg/cm}^2$  y se obtiene como,

$$P_1 = 1,3P_0 = 1,3 \frac{\rho g H_{\text{salto bruto}}}{10^5} = \frac{1000*9,81*192,7}{10^5} = 24,5 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.2.3.4)$$

Donde,

$P_0$  = Presión hidrostática del salto.

Calculando ahora la pérdida de carga ( $n=0,015$  para el acero) en la tubería de conducción, mediante la ecuación de Manning, resultando:

$$h_{\text{tubo}} = \frac{10,3 n^2}{D^{\frac{16}{3}}} Q^2 L = \frac{10,3*0,015^2*1,5^2*289}{0,8^{\frac{16}{3}}} = 4,9 \text{ m} \quad (2.2.3.5)$$

Lo que supone aproximadamente unas pérdidas del 2,5%, razonables para este tipo de instalaciones.

### 2.2.4 Pérdida de carga en la bocatoma

Al ser una válvula de compuerta, de la tabla 1.6.10.3 de la memoria, obtenemos  $K_v=0,3$ , y como la velocidad del agua en el canal para el caudal de diseño es,

$$V_m = 1,42 \text{ m/s} \quad (2.2.4.1)$$

Obtenemos la pérdida de carga en la compuerta como,

$$h_{compuerta} = K_v \frac{V^2}{2g} = 0,3 \frac{1,42^2}{2*9,81} = 0,1 \text{ m} \quad (2.2.4.2)$$

Y la altura de la pared del canal de la bocatoma que actúa como vertedero del caudal sobrante, suponiendo un exceso de caudal de  $1,2Q_d$  será,

$$H_{vertedero} = \sqrt[3]{1,2^2 * y_n} = 1,2 \text{ m} \quad (2.2.4.3)$$

### 2.2.5 Pérdidas en la cámara de carga

Se calcula en primer lugar la pérdida a la entrada, donde en este caso  $K = 1$  y la velocidad es la del agua en el canal, por lo tanto la pérdida en la entrada del agua a la cámara de carga es:

$$h_{entr.cámara} = K_{ent.} \frac{V^2}{2g} = 1 * \frac{1,42^2}{2*9,81} = 0,2 \text{ m} \quad (2.2.5.1)$$

La pérdida en la salida de la cámara se calcula ahora con la velocidad del agua en la tubería de presión y con  $K = 0,5$ :

$$h_{sal.cámara} = K_{sal.} \frac{V^2}{2g} = 0,5 \frac{3^2}{2*9,81} = 0,4 \text{ m} \quad (2.2.5.2)$$

La cota de la base de la cámara de carga se sitúa teniendo en cuenta que la altura del embalse son 103m.

$$Cota_{inicio canal} = 251,5 \text{ m} \quad (2.2.5.3)$$

$$Cota_{cámara carga} = 251,5 - 2700 * 0,005 = 238 \text{ m} \quad (2.2.5.4)$$

### 2.2.6 Pérdida en los codos

En la instalación se presenta un codo a 45° y dos codos a 90°, por lo que tenemos  $K_{45^\circ} = 0,4$  por lo que:

$$h_{codo\ 45^\circ} = K_{45^\circ} * \frac{V^2}{2g} = 0,4 * \frac{3^2}{2*9,81} = 0,2\ m \quad (2.2.6.1)$$

y una  $K_{90^\circ} = 0,65$ , por lo tanto:

$$h_{codo\ 90^\circ} = 2 * K_{90^\circ} * \frac{V^2}{2g} = 2 * 0,65 * \frac{3^2}{2*9,81} = 0,6\ m \quad (2.2.6.2)$$

### 2.2.7 Pérdida en la válvula de guarda de la turbina

Como es una válvula de mariposa,  $K_v=0,6$  y la velocidad es la correspondiente a la de la tubería de presión:

$$V_{tubo} = 3\ m/s \quad (2.2.7.1)$$

$$h_{válvula} = 0,6 * \frac{3^2}{2*9,81} = 0,3\ m \quad (2.2.7.2)$$

### 2.2.8 Golpe de ariete y chimenea de equilibrio

A partir de los resultados obtenidos en y 2.2.4.7 y la altura total H se calcula la constante de aceleración del agua, obteniendo un valor de,

$$T_h = \frac{VL}{gH} = \frac{3*289}{9,81*192,7} = 0,45s < 3s \quad (2.2.8.1)$$

Como  $T_h \ll 3s$ , no es necesaria la instalación de una chimenea de equilibrio y la sobrepresión producida por el golpe de ariete es mínima y queda sobradamente compensada por el sobre espesor de la tubería de presión.

### 2.2.9 Salto neto y potencia útil

En primer lugar sumamos las pérdidas de carga totales desde la cámara de carga obteniendo:

$$\begin{aligned}\sum \text{pérdidas totales} &= h_{\text{tubo}} + h_{\text{codo } 45^\circ} + h_{\text{codo } 90^\circ} + h_{\text{válvula}} = & (2.2.9.1) \\ &= 4,9 + 0,2 + 0,6 + 0,3 = 6 \text{ m}\end{aligned}$$

Para tener en cuenta las pérdidas que se producen en las curvas de las tuberías, en la rueda Pelton..., aumentamos las pérdidas calculadas un 10% y tomamos unas pérdidas totales:

$$P_{\text{totales}} = 1,1 * 6 = 6,6 \text{ m} \quad (2.2.9.2)$$

Calculamos ahora la altura bruta del salto como:

$$\begin{aligned}H_{\text{bruto}} &= \text{cota cámara de carga} - \text{cota eje turbina} = \\ &= 238 - 45,3 = 192,7 \text{ m}\end{aligned} \quad (2.2.9.3)$$

Y por lo tanto la altura del salto neto es:

$$H_{\text{neto}} = H_{\text{bruto}} - P_{\text{totales}} = 192,7 - 6,6 \cong 186 \text{ m} \quad (2.2.9.4)$$

Obteniendo una potencia teórica del aprovechamiento en Kw,

$$P_{\text{teórica}} = \frac{\rho * g * H_{\text{neto}}}{1000} * Q_d = \frac{1000 * 9,81 * 186 * 3}{1000} = 5474 \text{ Kw} \quad (2.2.9.5)$$

### 2.2.10 Elección de la turbina

A partir del nomograma 1.6.2.4.3.4 de la memoria y seleccionando en el mismo tanto el caudal de diseño de la turbina como la altura neta, elegiremos para nuestro proyecto una turbina de acción Pelton de eje horizontal.

$$Q_{\text{turbina}} = \frac{Q_{\text{total}}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.2.10.1)$$

Y la altura neta

$$H_{\text{neto}} = 186 \text{ m} \quad (2.2.10.2)$$

Y la potencia de cada turbina:

$$P_{bruta\ turbina} = \frac{P_{teórica}}{2} * \frac{5474}{2} = 2737\ Kw \quad (2.2.10.3)$$

A partir de las curvas de rendimientos de la figura 1.6.2.4.3.3 de la memoria se obtiene que el rendimiento máximo de una turbina Pelton es del 92%, por lo que la potencia neta máxima producida en el eje de la misma será:

$$P_{neta\ máxima\ eje} = \mu * P_{bruta\ turbina} = 0,92 * 2737 = 2518\ Kw \quad (2.2.10.4)$$

Diseñando para el emplazamiento una turbina de dos inyectores, según la figura 1.6.2.4.3.2 de la memoria obtenemos una velocidad específica,

$$n_{específica} = 43\ rpm \quad (2.2.10.5)$$

Por lo tanto la velocidad de giro del eje de la turbina será:

$$n_{eje} = \frac{n_{específica} * H_{neta}^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{P_{(CV)}}} = \frac{43 * 186^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{3718}} = 484\ rpm \quad (2.2.10.5)$$

Por lo que la velocidad de giro posible impuesta por el alternador será de 500 rpm, por lo tanto la velocidad específica real de la turbina será:

$$n_{específica\ real} = \frac{n \sqrt{P_{(CV)}}}{(H_n)^{\frac{5}{4}}} = \frac{500 * \sqrt{3718}}{(186)^{\frac{5}{4}}} = 44\ rpm \quad (2.2.10.5)$$

## 2.2.11 Generador

La potencia del generador debe ser la misma que la potencia neta máxima que se producirá en el eje de la turbina, ya que suponemos que no hay pérdida de potencia entre el acople generador-turbina.

Por lo tanto la potencia de cada alternador debe de ser:

$$P_{generador} = 2518\ Kw \quad (2.2.11.1)$$

y con un factor de potencia del generador de 0,85 obtenemos una potencia aparente del generador de,

$$S_{generador} = \frac{P_{generador}}{0,85} = \frac{2518}{0,85} = 2962 \text{ KVA} \quad (2.2.11.2)$$

Utilizando un alternador cuya velocidad de sincronismo sean  $n=500$  rpm, obtenemos el número de pares de polos del generador para una red de 50Hz:

$$Pares \text{ polos } gen. = \frac{60 \cdot 50}{500} = 6 \quad (2.2.11.3)$$

La intensidad nominal por fase del generador para una máquina cuya tensión en bornes sea de 2300 V será:

$$I_n = \frac{S_{gen}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{2962 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 2300} = 743,5 \text{ A.} \quad (2.2.11.4)$$

### 2.2.12 Transformador

La potencia aparente del transformador debe ser la misma que la que suministra el generador por lo tanto:

$$S_{trafo} = 2962 \text{ KVA} \quad (2.2.12.1)$$

La tensión del primario del transformador será igual a la del generador y la del secundario será igual a la de la línea de transporte a la que se va entroncar que en este caso es de 20000 V. Las corrientes del primario y secundario son:

$$I_{primario} = 743,5 \text{ A} \quad (2.2.12.2)$$

$$I_{secundario} = 743,5 \cdot \frac{2300}{20000} = 85,5 \text{ A} \quad (2.2.12.3)$$

### 2.2.13 Interconexión a la red

En primer lugar se calcula la sección del conductor que une el generador con el primario del transformador. Para ello se tiene en cuenta la corriente nominal  $I_{primario} = 743,55 \text{ A}$  y la corriente máxima que circulará por cada fase en caso de un cortocircuito, y que según (2.2.14.1.6) es  $I_d = 4259 \text{ A}$ .



De la tabla 1.6.2.5.3.2 de la memoria eligiendo un cable HEPR de aluminio y sección  $300 \text{ mm}^2$ , que admite una corriente máxima de 410 A, por lo tanto:

$$N_{\text{conductores fase}} \geq \frac{743,5}{410} = 1,8 = 2 \quad (2.2.13.1)$$

Obteniendo una sección total por fase de:

$$S_{\text{total fase}} = 300 * 2 = 600 \text{ mm}^2 \quad (2.2.13.2)$$

En el caso de presentarse un cortocircuito de 3 segundos, la sección de cable necesaria para soportarlo sería de:

$$\text{Sección} = \frac{I_{cc}\sqrt{t}}{K} = \frac{4259*\sqrt{3}}{87} = 85 \text{ mm}^2 \quad (2.2.13.3)$$

Con  $K=87$  para este tipo de cables.

Hacemos el cálculo ahora para el conductor de enlace de 20000 V. La intensidad nominal es,  $I_{\text{secundario}} = 85,5 \text{ A}$  por lo tanto según la tabla 1.6.2.5.3.2 bastaría con un cable HEPR de aluminio de  $50 \text{ mm}^2$ .

Sin embargo el caso más desfavorable será cuando circule la corriente de cortocircuito, que será,

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3}*V} = \frac{500*10^6}{\sqrt{3}*20000} = 14,43 \text{ KA} \quad (2.2.13.4)$$

Y al que antes para un cortocircuito de 3 segundos tenemos que la sección necesaria es:

$$\text{Sección} = \frac{I_{cc}\sqrt{t}}{K} = \frac{14430*\sqrt{3}}{87} = 287,3 \text{ mm}^2 \quad (2.2.13.5)$$

Por lo tanto seleccionamos un cable HEPR de aluminio de  $300 \text{ mm}^2$  por fase.

## 2.2.14 Puesta a tierra

### 2.2.14.1 Tierra de protección

Según 2.2.13.1 la intensidad de cortocircuito en la línea de media tensión es de 14,43 KA, por lo que según las normas MIE-RAT, para instalaciones de tercera

categoría con corriente de cortocircuito inferior a 16 KA se puede estimar la resistividad del terreno según la tabla 1.6.2.5.3.2.1 de la memoria.

Teniendo en cuenta el tipo de terreno húmedo, podemos estimar la resistividad del mismo dentro de la categoría de pantanoso, tomando:

$$\rho = 40 \Omega m \quad (2.2.14.1.1)$$

Partiendo de las dimensiones de la casa de máquinas, que son de 30m de largo y 15m de ancho, calculamos la resistencia a tierra para un cable desnudo de cobre enterrado 0,80m en los cimientos de la casa de máquinas, y de sección 50 mm<sup>2</sup> como:

$$R_{protección} = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} = \frac{40}{4*12} + \frac{40}{90} = 1,3 \Omega \quad (2.2.14.1.2)$$

Donde,

$$r = \sqrt{\frac{30*15}{\pi}} = 12 m \quad (2.2.14.1.3)$$

$$L = 2 * 30 + 2 * 15 = 90m \quad (2.2.14.1.4)$$

Para calcular la corriente de defecto máxima debemos obtener la impedancia transitoria del alternador. Tomando como valor típico de la reactancia x de este tipo de máquinas el 30% la impedancia por fase es:

$$Z_{transitoria gen.} = \frac{x}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{30}{100} * \frac{2300^2}{2962000} = 0,54 \Omega \quad (2.2.14.1.5)$$

Con lo que la corriente de defecto máxima que aporta el generador  $I_{dgen}$  será.

$$I_{dgen} = \frac{U_n}{z_{transitoria gen.}} = \frac{2300}{0,54} = 4259 A \quad (2.2.14.1.6)$$

Ahora calculamos la corriente de defecto que aporta el transformador al cortocircuito para una tensión de cortocircuito del mismo del 10%.

La impedancia interna del trafo se calcula como:

$$Z_{trafo} = U_{cc} * \frac{U_n^2}{S_n} = 0,1 * \frac{2300^2}{2962000} = 0,18 \Omega \quad (2.2.14.1.7)$$

Y la corriente de defecto aportada por el generador será:

$$I_{dtrafo} = \frac{U_n}{z_{trafo}} = \frac{2300}{0,18} = 12778 \text{ A} \quad (2.2.14.1.8)$$

Por lo que aparece una tensión en la puesta a tierra cuando circule la corriente de defecto  $I_d$  de,

$$V_d = I_{dtotal} * R_{protección} = 17037 * 1,3 = 22148 \text{ V} > U_{BT} = 10000 \text{ V} \quad (2.2.14.1.9)$$

Donde  $U_{BT}$  es la tensión de aislamiento de los equipos de baja tensión y que típicamente y según recomienda Unesa es de 10000 V.

Por lo tanto será necesario instalar las picas necesarias conectadas a la malla de tierra para que la resistencia medida sea menor de:

$$R_{protección} < \frac{10000}{17037} = 0,6 \Omega \quad (2.2.14.1.10)$$

Y cumpliendo las recomendaciones dadas por Unesa, y que se detallan en el apartado 1.6.2.5.2 de la memoria se garantiza que tanto las tensiones de paso, de acceso y de contacto no exceden los límites máximos permitidos.

### 2.2.13.2 Tierra de servicio

Si tomamos 4 picas de cobre de 14mm de diámetro y 6m de longitud cada una y separadas entre ellas también 6m, obtenemos una resistencia para la puesta a tierra de servicio de:

$$R_{servicio} = \frac{\rho}{n * l} = \frac{40}{4 * 6} = 1,7 \Omega < 37 \Omega \quad (2.2.13.2.1)$$

Por lo tanto se cumple la recomendación dada por Unesa y garantizamos el funcionamiento seguro de las protecciones diferenciales de la minicentral.

La separación de las dos tomas de tierra para que no haya interferencias entre ellas debe de ser,

$$D \geq \frac{\rho * I_d}{2000\pi} \geq \frac{40 * 17037}{2000\pi} = 108,5 \text{ m} \quad (2.2.13.6)$$

El cable de tierra hasta las picas debe cumplir las especificaciones de aislamiento y mecánicas dadas por Unesa y que se detallan en la Memoria.

## **2.3 Justificación económica**

### **2.3.1 Introducción**

Este estudio económico tiene como objetivo, evaluar la rentabilidad del proyecto de la rehabilitación de la minicentral hidroeléctrica en el cauce del río eume.

El coste de inversión e implantación de una minicentral hidroeléctrica depende de muy diversos factores a lo largo de su periodo de realización. Hay que tener en cuenta las distintas partes del proceso y los costes que implica cada una:

- En primer lugar se elabora el proyecto de construcción e instalación de la minicentral hidroeléctrica, donde se define el volumen de obra, el equipamiento y la potencia a instalar.
- En segundo lugar se realiza la fase de ejecución del proyecto, en la que se distinguen tres aspectos que influyen decisivamente en el coste: obra civil, grupo turbogenerador, sistema eléctrico y de control.
- La última fase es la puesta en funcionamiento de la minicentral, que implica costes de explotación, mantenimiento y reparación. Hay que tener en cuenta que esto incluye costes de personal, materiales de repuestos, fungibles, seguros, impuestos, tasas y gravámenes, además de los costes generales derivados de la organización y administración. El cálculo de estos costes se realiza anualmente y depende de múltiples factores como el tipo de equipo instalado, el grado de automatismo y el índice de averías.

En este estudio se agrupan bajo la inversión inicial los costes de proyecto y de la fase de ejecución, cuyo cálculo se detalla en el documento 4, presupuesto. Los ingresos se obtienen de la venta de la electricidad generada al precio de régimen especial según el RD 227 2008 y los gastos anuales totales se estiman de los costes medios de este tipo de centrales en España.

Con los datos económicos y las características del aprovechamiento, se calcularán el periodo de retorno simple, el índice de energía y el índice de potencia como parámetros típicos que miden la rentabilidad del proyecto en una primera estimación. A continuación se llevará a cabo un estudio detallado por el método del valor actual neto (VAN). Se calculará el VAN del proyecto para diferentes tasas de retorno y se calculará también la tasa interna de retorno (TIR).

### 2.3.2 Índices de rentabilidad

Para evaluar los distintos índices de rentabilidad comentados en la introducción se necesitan los datos de la inversión inicial ( $I_{inicial}$ ), la energía generada disponible para vender ( $E_{anual}$ ) y los ingresos brutos anuales ( $I_{anuales}$ ) y gastos totales anuales ( $G_{anuales}$ ).

La inversión inicial se calculó en el presupuesto y tiene un valor de:

$$I_{inicial} = 9581297 \text{ €} \quad (2.3.2.1)$$

Para el cálculo de la energía generada cada año, partimos de los datos de la aportación anual al embalse y que son de  $613 \text{ hm}^3$ . Teniendo en cuenta que la nueva central utiliza un caudal de  $22 \text{ m}^3/\text{s}$  y suponiendo un funcionamiento de la misma de 10 meses al año obtenemos que el volumen de agua utilizado es:

$$V_{utilizado} = \frac{21 * 10 * 30 * 24 * 3600}{10^6} = 544,3 \text{ hm}^3$$

Por lo tanto tenemos un volumen excedente de:

$$V_{excedente} = 606 - 544,3 = 62 \text{ hm}^3$$

De donde deducimos las horas anuales de funcionamiento de la nueva instalación y que ascienden a:

$$Horas_{anuales} = \frac{62 * 10^6}{3 * 3600} = 5751 \text{ horas}$$

Evaluamos ahora el rendimiento global de la instalación, suponiendo un rendimiento del generador del 95% y del transformador del 98%. El rendimiento

típico de una turbina Pelton es del 88%, por lo tanto el rendimiento global de la instalación será:

$$\mu_{global} = \mu_{gen} * \mu_{trafo} * \mu_{turbina} = 0,95 * 0,98 * 0,88 = 0,82 \quad (2.3.2.2)$$

Con lo que la potencia neta inyectada en la red será:

$$P_{neta} = P_{teórica} * \mu_{global} = 5036 * 0,82 = 4130 \text{ kw}$$

Y la energía anual estimada en KWh asciende a:

$$E_{anual} = Horas_{anuales} * P_{neta} = 5751 * 4130 = 23754000 \text{ kwh} \quad (2.3.2.3)$$

Los ingresos anuales se calculan multiplicando la energía por el precio de venta de régimen especial, que según el RD 227 2011 es de 0,08348 €/KWh, por lo que obtenemos,

$$I_{anuales} = 0,08348 * 23754000 = 1982984 \text{ €} \quad (2.3.2.6)$$

Mientras que los gastos anuales totales (mantenimiento, operación, amortización...) se estiman en España para el conjunto de las centrales hidroeléctricas en 0,039 €/KWh, por lo tanto resultan:

$$G_{totales\ anuales} = 0,039 * 23754000 = 926406 \text{ €} \quad (2.3.2.7)$$

### 2.3.2.1 Periodo simple de retorno

Este índice se puede considerar como una aproximación del tiempo en que se recupera la inversión inicial sin tener en cuenta medios de financiación externos ni las fluctuaciones de los precios. Su cálculo es como sigue:

$$P_{retorno} = \frac{I_{inicial}(\text{€})}{(I_{anuales} - G_{anuales})\left(\frac{\text{€}}{\text{año}}\right)} = 9,1 \text{ años} \quad (2.3.2.8)$$

El periodo de retorno típico en proyectos de centrales mini hidráulicas es de 6 a 12 años.

### 2.3.2.2 Índice de Energía

El índice de energía es el coste del KWh de energía eléctrica generada cada año y se obtiene dividiendo la inversión inicial entre la energía anual. Su unidad es el € / KWh :

$$I_{energía} = \frac{I_{inicial(€)}}{E_{anual(KWh)}} = 0,40 \text{ €/KW} \quad (2.3.2.9)$$

El coste de la energía anual típico es entre 0,30 y 0,70 € / KWh.

### 2.3.2.3 Índice de Potencia

El índice de potencia es el coste del KW de potencia instalado, y se obtiene dividiendo la inversión inicial entre la potencia generada. Su unidad es el € / KW:

$$I_{potencia} = \frac{I_0(€)}{P_{gen(KW)}} = 1597 \text{ €/KWh} \quad (2.3.2.10)$$

El coste de la potencia instalada de referencia se sitúa entre 1200 y 2000 € / KW.

## 2.3.3 Análisis de la rentabilidad de la inversión

### 2.3.3.1 Valor Actual Neto (VAN)

Por VAN de una inversión se entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial.

Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable. Entre dos o más proyectos, el más rentable es el que tenga un VAN más alto. Un VAN nulo significa que la rentabilidad del proyecto es la misma que colocar los fondos en él invertidos en el mercado con un interés equivalente a la tasa de descuento utilizada.

La única dificultad para hallar el VAN consiste en fijar el valor para la tasa de interés, existiendo diferentes alternativas.

La principal ventaja de este método es que al homogeneizar los flujos netos de caja a un mismo momento de tiempo inicial, reduce a una unidad de medida

común cantidades de dinero generadas o aportadas en momentos de tiempo diferentes.

Además, admite introducir en los cálculos, flujos de signo positivos y negativos (entradas y salidas de caja) en los diferentes momentos del horizonte temporal de la inversión, sin que por ello se distorsione el significado del resultado final, como puede suceder con la tasa interna de retorno (TIR).

Dado que el VAN depende muy directamente de la tasa de actualización, el punto débil de este método es la tasa utilizada para descontar el dinero (siempre discutible). Sin embargo, a efectos de “homogeneización”, la tasa de interés elegida hará su función indistintamente de cual haya sido el criterio para fijarla.

Para calcularlo se utilizará la siguiente expresión, teniendo en cuenta que los ingresos y gastos anuales se actualizan con el índice de precios al consumo (IPC), que en este caso se supondrá del 3%, y que la vida útil de la central es de 25 años:

$$VAN = -I_{inicial} + \sum_{n=1}^{25} \frac{I_{anuales} - G_{anuales}}{(1+i)^n} = \quad (2.3.3.1.1)$$

$$= -I_{inicial} + (I_{anuales} - G_{anuales}) \sum_{n=1}^{25} \frac{1,03^n}{(1+i)^n}$$

Y calculando mediante una hoja de cálculo, el VAN para las tasas de retorno del 5%, 10% y 15% son respectivamente:

$$VAN_{(i=5\%)} = 10033564 \text{ €} \quad (2.3.3.1.2)$$

$$VAN_{(i=7,5\%)} = 5522458 \text{ €} \quad (2.3.3.1.3)$$

$$VAN_{(i=10\%)} = 2506306 \text{ €} \quad (2.3.3.1.4)$$

Como se ve, todos los valores del VAN son positivos con diferentes tasas de retorno por lo que la inversión tiene una rentabilidad bastante interesante.

### 2.3.3.2 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

Se denomina tasa interna de rentabilidad (TIR) a la tasa de retorno que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero. Este método considera que una



inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor.

Las críticas a este método parten en primer lugar de la dificultad del cálculo de la TIR (haciéndose generalmente por iteración), aunque las hojas de cálculo y las calculadoras modernas (las llamadas financieras) han venido a solucionar este problema de forma fácil. También puede calcularse de forma relativamente sencilla por el método de interpolación lineal.

Pero la más importante crítica del método y principal defecto es la inconsistencia matemática de la TIR cuando en un proyecto de inversión hay que efectuar otros desembolsos, además de la inversión inicial, durante la vida útil del mismo, ya sea debido a pérdidas del proyecto, o a nuevas inversiones adicionales.

La TIR es un indicador de rentabilidad relativa del proyecto, por lo cual cuando se hace una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos no tiene en cuenta la posible diferencia en las dimensiones de los mismos. Una gran inversión con una TIR baja puede tener un VAN superior a un proyecto con una inversión pequeña con una TIR elevada.

El cálculo de efectúa con la siguiente expresión:

Como VAN = 0 tenemos,

$$I_{inicial} = \sum_{n=1}^{25} \frac{(I_{anuales} - G_{anuales})}{(1+TIR)^n} \quad (2.3.3.2.1)$$

Y despejando obtenemos

$$\frac{I_{inicial}}{I_{anuales} - G_{anuales}} = \sum_{n=1}^{25} \frac{1,03^n}{(1+TIR)^n} \quad (2.3.3.2.2)$$

Utilizando de nuevo la hoja de cálculo se obtiene la tasa interna de rentabilidad, que indica que se obtendría una rentabilidad del **13,2%** sobre nuestra inversión a 25 años, resultando, por lo tanto, la construcción de la minicentral una inversión muy atractiva.

**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **ESTADO DE MEDICIONES**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

## ÍNDICE

3 ESTADO DE MEDICIONES	122
3.1 Capítulo I: obra civil, accesos	122
3.2 Capítulo 2: obra civil, bocatoma, canal y cámara de carga	122
3.3 Capítulo 3: obra civil, casa de máquinas	123
3.4 Capítulo 4: Instalación tubería de presión	123
3.5 Capítulo 5: Equipamiento mecánico-hidráulico	124
3.6 Capítulo 6: Equipamiento eléctrico	125

### 3 ESTADO DE MEDICIONES

#### 3.1 Capítulo I: obra civil, accesos

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades
3.1.1	800	Uso retroexcavadora para apertura de caminos	Horas
3.1.2	500	Uso de camión para movimiento de materiales en apertura de caminos	Horas
3.1.3	4000	Zahorra artificial, extendida y compactada para refuerzo de firmes	Metros <sup>3</sup>

#### 3.2 Capítulo 2: obra civil, bocatoma, canal y cámara de carga

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades
3.2.1	600	Uso retroexcavadora para excavación cimientos, preparación terreno bocatoma y vertedero sobrante	Horas
3.2.2	300	Utilización de camión en movimiento de tierra y materiales	Horas
3.2.3	1200	Hormigonado bocatoma ( cuenco de recolección, vertedero sobrante), incluido forjados, encofrado y desencofrado	Metros <sup>3</sup>
3.2.4	2700	Reparación canal de mampostería, cintado de piedra, desbroce y limpieza	Metros
3.2.5	1	Limpieza cámara de carga	Unidad
3.2.6	1	Reforzado mediante hormigón de cámara de carga, incluido encofrado, forjado, etc.	unidad

### 3.3 Capítulo 3: obra civil, casa de máquinas

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades
3.3.1	375	Rehabilitación antiguo edificio central hidroeléctrica, incluyendo nueva solera de hormigón armado, revocado exterior e interior. Instalación de ventanas y portones. Construcción de nueva cubierta de placa de forjado, chapa de fibrocemento y teja curva. Instalación de bancadas puente grúa. También incluido cimentaciones para máquinas, canaletas, solados, carpinterías, pintura, etc. Totalmente terminado	Metros <sup>2</sup>
3.3.2	2	Bancada de hormigón armado para turbina y generador, incluido excavación, forjados, encofrado y desencofrado	unidad
3.3.3	2	Canal de salida y desagüe al río, de hormigón armado. Rehabilitación y limpieza.	unidad
3.3.4	1	Instalación de puente grúa, instalación de alumbrado, antiincendios, etc.	unidad

### 3.4 Capítulo 4: Instalación tubería de presión

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades
3.4.1	578	Compra y suministro en obra de tubería de conducción de acero de 800mm de diámetro interior y 10mm espesor	Metros

3.4.2	289	Excavación y preparación del terreno para instalación de tubería con retroexcavadora	Metros
3.4.3	30	Construcción de zapatas para tubería forzada, incluyendo excavación encofrado, hormigonado, etc	unidad
3.4.4	30	Bridas de acero para anclaje tubería de presión	unidad
3.4.5	30	Montaje tubería de presión, incluido pruebas y pintura	Unidad

### 3.5 Capítulo 5: Equipamiento mecánico-hidráulico

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades
3.5.1	2	Turbina Pelton de eje horizontal, de 2 inyectores y 3000 l/s de caudal, velocidad específica 44 rpm y potencia máxima de 2734Kw. Control de caudal mediante servomotor hidráulico. Totalmente terminada, montada y probada	Unidad
3.5.2	2	Válvula de guardia de mariposa, 800 mm de diámetro, maniobra mediante servomotor hidráulico, incluido montaje y prueba	Unidad
3.5.3	2	Cardan de tipo elástico, acoplamiento turbina-generator	Unidad
3.5.4	1	Válvula de regulación manual de compuerta de 2m de ancho por 1,5m de alto. Totalmente terminada y montada	Unidad

3.5.5	2	Grupo de presión hidráulico para alimentación de servomotores, con acumulador, presostatos y tuberías. Incluido montaje y prueba	Unidad
-------	---	--	--------

### 3.6 Capítulo 6: Equipamiento eléctrico

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades
3.6.1	2	Alternador 6 pares de polos, $N_s=500$ rpm. Refrigerado por aire por aire, 2518 Kw de potencia. Totalmente montado y probado	Unidad
3.6.2	2	Transformador trifásico en baño de aceite, 2962 KVA de potencia aparente, tensión 20Kv/2,3Kv, $V_{cc}=10\%$ , refrigeración natural. Totalmente montado y probado	Unidad
3.6.3	2	Cuadro de fuerza completo, construido en chapa de acero, con embarrado trifásico, interruptor general, contactor para generador y accesorios, incluido montaje.	Unidad
3.6.4	2	Cuadro de control completo, de chapa de acero, con PLC, UPS, relés de protección, relés auxiliares, etc. Totalmente montado y probado	Unidad
3.6.5	2	Cuadro de medida, incluyendo contador de potencia activa, reactiva y maxímetro. Totalmente montado.	Unidad
3.6.6	2	Conjunto de celdas de protección, con interruptor en atmósfera de SF <sub>6</sub> , y de medida (24Kv, 400A), incluido montaje.	Unidad

3.6.7	90	Cable seco de aluminio 300 mm <sup>2</sup> de sección, con protección HEPR. Totalmente montado, incluido canaleta y anclajes entre generador y transformador	Metros
3.6.8	800	Cable seco de aluminio 300 mm <sup>2</sup> de sección, con protección HEPR. Montaje subterráneo, incluida excavación, asentado, tapado y conexión en subestación y central.	Metros
3.6.9	1000	Cableado de control de cobre, 1,5mm <sup>2</sup> de sección y protección XLPE	Metros



**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **PRESUPUESTO**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

## ÍNDICE

4 PRESUPUESTO	129
4.1 Capítulo I: obra civil, accesos	129
4.2 Capítulo 2: obra civil, bocatoma, canal y cámara de carga	129
4.3 Capítulo 3: obra civil, casa de máquinas	130
4.4 Capítulo 4: Instalación tubería presión	130
4.5 Capítulo 5: Equipamiento mecánico-hidráulico	131
4.6 Capítulo 6: Equipamiento eléctrico	132
4.7 Presupuesto general	133

## 4 PRESUPUESTO

### 4.1 Capítulo I: obra civil, accesos

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades	Precio unitario	Importe (Euros)
4.1.1	800	Uso retroexcavadora para apertura de caminos	Horas	55	44000
4.1.2	500	Uso de camión para movimiento de materiales en apertura de caminos	Horas	37	18500
4.1.3	4000	Zahorra artificial, extendida y compactada para refuerzo de firmes	Metros <sup>3</sup>	16	64000

### 4.2 Capítulo 2: obra civil, bocatoma, canal y cámara de carga

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades	Precio unitario	Importe (Euros)
4.2.1	600	Uso retroexcavadora para excavación cimientos, preparación terreno bocatoma y desarenador	Horas	55	33000
4.2.2	300	Utilización de camión en movimiento de tierra y materiales	Horas	37	11000
4.2.3	1200	Hormigonado bocatoma ( cuenco de recolección, vertedero sobrante), incluido forjados, encofrado y desencofrado	Metros <sup>3</sup>	410	492000
4.2.4	2700	Reparación canal de mampostería, cintado de piedra, desbroce y limpieza	Metros	360	972000
4.2.5	1	Limpieza cámara de carga	Unidad	2800	2800
4.2.6	1	Reforzado mediante hormigón de cámara de carga, incluido encofrado, forjado, etc	unidad	170000	170000

### 4.3 Capítulo 3: obra civil, casa de máquinas

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades	Precio unitario	Importe (Euros)
4.3.1	375	Rehabilitación antiguo edificio central hidroeléctrica, incluyendo nueva solera de hormigón armado, revocado exterior e interior. Instalación de ventanas y portones. Construcción de nueva cubierta de placa de forjado, chapa de fibrocemento y teja curva. Instalación de bancadas puente grúa. También incluido cimentaciones para máquinas, canaletas, solados, carpinterías, pintura, etc. Totalmente terminado	Metros <sup>2</sup>	4850	1818750
4.3.2	2	Bancada de hormigón armado para turbina y generador, incluido excavación, forjados, encofrado y desencofrado	Unidad	22000	44000
4.3.3	2	Canal de salida y desagüe al río, de hormigón armado. Rehabilitación y limpieza.	Unidad	37000	74000
4.3.4	1	Instalación de puente grúa, instalación de alumbrado, antiincendios, etc.	Unidad	210000	210000

### 4.4 Capítulo 4: Instalación tubería presión

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades	Precio unitario	Importe (Euros)
4.4.1	578	Compra y suministro en obra de tubería de conducción de acero de 800mm de diámetro interior y 10mm espesor interior	Metros	1086	627700

4.4.2	289	Excavación y preparación del terreno para instalación de tubería con retroexcavadora	Metros	55	15895
4.4.3	30	Construcción de zapatas para tubería forzada, incluyendo excavación encofrado, hormigonado, etc	Unidad	6000	180000
4.4.4	30	Bridas de acero para anclaje tubería de presión	unidad	550	16500
4.4.5	30	Montaje tubería de presión, incluido pruebas y pintura	Unidad	230	6900

#### 4.5 Capítulo 5: Equipamiento mecánico-hidráulico

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades	Precio unitario	Importe (Euros)
4.5.1	2	Turbina Pelton de eje horizontal, de 2 inyectores y 3000 l/s de caudal, velocidad específica 112,61 rpm y potencia máxima de 300Kw. Control de caudal mediante servomotor hidráulico. Totalmente terminada, montada y probada	Unidad	710000	1420000
4.5.2	2	Válvula de guardia de mariposa, 800 mm de diámetro, maniobra mediante servomotor hidráulico, incluido montaje y prueba	Unidad	16900	33800
4.5.3	2	Cardan de tipo elástico, acoplamiento turbina-generador	Unidad	1850	3700
4.5.4	1	Válvula de regulación manual de compuerta de 2m de ancho por 1,5m de alto. Totalmente terminada y montada	Unidad	5800	5800
4.5.5	2	Grupo de presión hidráulico para alimentación de servomotores, con	Unidad	14500	29000

	acumulador, presostatos y tuberías. Incluido montaje y prueba		
--	--	--	--

#### 4.6 Capítulo 6: Equipamiento eléctrico

Ítem	Cantidad	Descripción	Unidades	Precio unitario	Importe (Euros)
4.6.1	2	Alternador 6 pares de polos, Ns=500 rpm. Refrigerado por aire por aire, 2518 Kw de potencia. Totalmente montado y probado	Unidad	94500	189000
4.6.2	2	Transformador trifásico en baño de aceite, 2962 KVA de potencia aparente, tensión 20Kv/2,3Kv, V <sub>cc</sub> =10%, refrigeración natural. Totalmente montado y probado	Unidad	53000	106000
4.6.3	2	Cuadro de fuerza completo, construido en chapa de acero, con embarrado trifásico, interruptor general, contactor para generador y accesorios, incluido montaje.	Unidad	90000	180000
4.6.4	2	Cuadro de control completo, de chapa de acero, con PLC, UPS, relés de protección, relés auxiliares, etc. Totalmente montado y probado	Unidad	190000	380000
4.6.5	2	Cuadro de medida de, incluyendo contador de potencia activa, reactiva y maxímetro. Totalmente montado.	Unidad	65000	130000
4.6.6	2	Conjunto de celdas de protección, con interruptor en atmósfera de SF <sub>6</sub> , y de medida (24Kv, 400A). Montado	Unidad	270000	540000
4.6.7	90	Cable seco de aluminio 300 mm <sup>2</sup> de sección, con protección HEPR. Totalmente montado, incluido canaleta y anclajes entre generador	Metros	94	8460

		y transformador			
4.6.8	800	Cable seco de aluminio 300 mm <sup>2</sup> de sección, con protección HEPR. Montaje subterráneo, incluida excavación, asentado, tapado y conexión en subestación y central.	Metros	260	208000
4.6.9	1000	Cableado de control de cobre, 1,5mm <sup>2</sup> de sección y protección XLPE	Metros	2	2000

#### 4.7 Presupuesto general

ÍTEM	TOTAL (Euros)
Capítulo I: obra civil, accesos	126500
Capítulo 2: obra civil, bocatoma, canal y cámara de carga	1680800
Capítulo 3: obra civil, casa de máquinas	2146750
Capítulo 4: Instalación tubería de presión	846995
Capítulo 5: Equipamiento mecánico-hidráulico	1492300
Capítulo 6: Equipamiento eléctrico	1743460
<b>TOTAL OBRAS Y EQUIPOS</b>	<b>8036805</b>
Redacción de proyecto y dirección de obra	17500
Gastos generales 13%	1044784
Beneficio industrial 6%	482208
<b><u>PRESUPUESTO TOTAL €( IVA NO INCLUIDO)</u></b>	<b><u>9581297</u></b>

**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**



ÍNDICE

5	PLIEGO DE CONDICIONES	137
5.1	Ámbito de aplicación y alcance	137
5.2	Disposiciones legales, instrucciones y normas complementarias de aplicación	137
5.3	Documentación técnica	139
5.4	Desarrollo y control de las obras	140
5.5	Materiales	145
5.5.1	Zahorras	146
5.5.2	Rellenos compactados	146
5.5.3	Gravas para relleno de base	148
5.5.4	Áridos para hormigones	148
5.5.5	Cementos y hormigones	148
5.5.6	Morteros de cemento	150
5.5.7	Lechadas de cemento	151
5.5.8	Acero en barras para hormigones	152
5.5.9	Mallas electro soldadas	153
5.5.10	Encofrados de madera y/o chapa	154
5.5.11	Acero en perfiles conformados, laminados y tubos	154
5.5.12	Chapas y paneles metálicos	156
5.5.13	Tornillos para uniones de perfiles metálicos	156
5.5.14	Prefabricados de cemento y hormigón	156
5.5.15	Tuberías de polietileno y pvc	157
5.5.16	Pinturas	158
5.5.17	Elementos metálicos embebidos en obras de fábrica y hormigones	159
5.6	Ejecución de obras de hormigón	159
5.7	Excavaciones en zanjas, pozos y cimentaciones	161
5.8	turbina	163
5.9	Rejas y compuertas	165
5.10	Tubería forzada	165
5.11	Generador	166
5.12	Transformador	166

---

5.13 Celdas para alta tensión	167
5.14 Aparellaje y conductores para alta tensión	167
5.15 Aparellaje y conductores para baja tensión	168
5.16 Ejecución de unidades de obra no previstas, indefinidas o no especificadas	169
5.17 Medios auxiliares	170
5.18 Modo de abonar las obras concluidas y las incompletas	171

## **5 PLIEGO DE CONDICIONES**

### **5.1 Ámbito de aplicación y alcance**

El presente pliego de condiciones y prescripciones técnicas particulares (PPTP) será de aplicación a las obras incluidas en el presente proyecto para llevar a cabo la rehabilitación y posterior puesta en marcha de la antigua central hidroeléctrica de Ventureira, situada en la margen derecha del río Eume.

El pliego de condiciones constituye el conjunto de reglas, instrucciones, normas, especificaciones y recomendaciones que complementan las de carácter general, económicas, administrativas y técnicas, y a los planos y presupuesto del proyecto, definiendo de esta forma todos los requisitos técnicos necesarios para el desarrollo, interpretación, ejecución, medición y abono de las unidades de obra que se incluyen en el proyecto.

### **5.2 Disposiciones legales, instrucciones y normas complementarias de aplicación**

- Ley 13/1.995, de 18 de mayo, de contratos de las administraciones públicas, en lo relacionado con la administración titular del dominio público hidráulico.
- Reglamento general de contratación del estado. Decreto 3410/1975, de 25 de noviembre, modificado por real decreto 2528/1986, de 25 de noviembre y real decreto 982/1987, de 5 de junio.
- Pliego de cláusulas administrativas generales para la contratación de obras del estado. Decreto 3854/1970, de 31 de diciembre.
- Reglamento sobre líneas eléctricas aéreas de alta tensión. (R.D. 3.151/1.968).
- Reglamento sobre centrales generadoras y estaciones de transformación (O.M. de 23/02/49), con las modificaciones indicadas según O.M. de 11/03/71.
- Reglamento de verificaciones eléctricas y seguridad en el suministro de energía. (Decreto 12-3-54).

- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes - pág. 4/88 de la dirección general de carreteras del MOPU.
- Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado eh-91.
- Norma de construcción sismo resistente. Parte general y edificación (NCSR-94). Real decreto 2543/1994, de 29 de diciembre.
- Pliego de prescripciones técnicas generales para tuberías de saneamiento de poblaciones. Mopu. 15 de septiembre de 1986.
- Pliego de prescripciones técnicas generales para tuberías de abastecimiento de agua. 28 de julio de 1.974.Mopu.
- Orden de 19 de diciembre de 1.975 del Ministerio de industria y energía sobre condiciones de acometidas y redes de distribución interior.
- Instrucción para la recepción de cementos RC-97.
- Norma básica de la edificación NBE EA-95 "estructuras de acero en edificación". Real decreto 1829/1995, de 10 de noviembre.
- Norma tecnológica de la edificación. NTE-ADZJ 1.976, acondicionamiento del terreno: Desmontes, zanjas y pozos.
- Norma tecnológica de la edificación. NTE-ADV/1.976, acondicionamiento del terreno. Desmontes: Vaciados.
- Norma tecnológica de la edificación. NTE-ADE11.977, acondicionamiento del terreno. Desmontes: Explanaciones.
- Norma tecnológica de la edificación. NTE-ASD/1.977, acondicionamiento del terreno. Saneamiento: Drenajes y Avenamientos.
- Normas del laboratorio de transportes y mecánica del suelo para la ejecución de ensayos de materiales.
- Reglamento electrotécnico para baja tensión (Ministerio de Industria y Energía. Decreto 2413/1873, de 20 de septiembre y modificaciones

posteriores sucesivas) e instrucciones técnicas complementarias MI BT 004, 007, 017, 025, 026, 040, 044 (Orden de 31 de octubre de 1.973 y posteriores complementos y modificaciones).

### **5.3 Documentación técnica**

El Proyecto constructivo es la base técnica de ejecución del contrato de obras. Sus documentos obligan al contratista salvo orden en contra por la dirección.

La documentación grafica se clasifica en planos de contrato, planos complementarios realizados durante la ejecución de la obra para definir, aclarar o completar detalles constructivos o adaptarlos a las condiciones reales de la obra, y croquis y dibujos con misión aclaratoria e informativa para mejor comprensión de la obra.

Todos los planos complementarios deberán ser firmados por el Director de obra. Sin este requisito no serán validos para la ejecución.

El contratista revisara todos los planos que se le faciliten comprobando las cotas e informando al Director de posibles errores, contradicciones, o inadecuaciones a la realidad con tiempo suficiente para que se puedan realizar las aclaraciones pertinentes.

Toda posible duda en la interpretación de los planos será comunicada por el Contratista al Director a la mayor brevedad posible tras lo cual el Director, en un plazo no superior a quince días, (salvo causas justificadas, aclarara los detalles con el grado necesario para la completa definición de la ejecución.

El Contratista será responsable del control de los planos, que no deberá entregar a terceros salvo para actuaciones directamente relacionadas con la obra.

En caso de contradicción, indefinición, etc., entre documentos del proyecto, se establece el siguiente orden de prioridad entre los mismos,

salvo interpretación justificada del Director a la vista de las condiciones en obra:

- Lo mencionado en el PPTP y omitido en los planos o viceversa habrá de ser ejecutado como si figurase en ambos documentos siempre que, a juicio del Director, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y esta tenga precio en el contrato.
- Los Planos prevalecen sobre los demás documentos en cuanto a las dimensiones y cotas de elementos.
- El Pliego de Condiciones prevalece para el caso de descripción sobre la realización de las unidades de obra.
- El presupuesto prevalecerá en cuanto a la definición de las propias unidades de obra.
- Los cuadros de precios son vinculantes en los términos establecidos en la legislación vigente.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores advertidos en la documentación por el Director o Contratista, antes del inicio de la obra, deberán quedar reflejados en el acta de comprobación del Replanteo.

#### **5.4 Desarrollo y control de las obras**

El contratista está obligado a inspeccionar y estudiar el emplazamiento de las obras y sus alrededores, accesos, naturaleza y resistencia del terreno y condiciones hidrográficas, naturaleza de los trabajos a realizar, materiales y medios necesarios considerando la realidad física existente y en la que se va a apoyar la nueva obra y, en general, toda la información precisa para la ejecución del proyecto en plazo y coste.

Todos los trabajos de replanteo serán a costa del contratista, para lo que este suministrará los materiales, equipos y técnicos de topografía, mano de obra necesaria, y medios para materializar los vértices y bases que sean necesarios. En particular, deberá ser especialmente previsor en la comprobación de los elementos existentes de apoyo de los nuevos que

precisen de una perfecta determinación en planta y cota. Será responsabilidad del Contratista, durante toda la ejecución de la obra, la conservación de todos los puntos topográficos materializados en el terreno debiendo reponer a su costa todos los que por necesidad, accidente o error hubieran sido eliminados, deteriorados o desplazados, lo que deberá comunicar por escrito al Director.

Ningún trabajo podrá ser iniciado sin que previamente por parte del Director se compruebe y apruebe el correspondiente replanteo. Esta aprobación no exime al contratista de su responsabilidad en la ejecución de las obras, de modo que en caso de perjuicios ocasionados por errores de replanteo realizados por el contratista serán subsanados a cargo de este en la forma que se indique por el Director.

Todos los accesos necesarios para la realización de las obras, tanto provisionales como permanentes, inexistentes a su inicio, serán por cuenta del Contratista. Cuando no sean precisos con posterioridad a la finalización habrán de reponerse a su estado inicial sin compensación alguna.

Durante la ejecución de las obras el contratista deberá realizar, mantener, desmontar y retirar finalmente todas las instalaciones y medios auxiliares necesarios para la obra. Los costes originados se consideran incluidos en los precios unitarios del Proyecto.

Será preceptivo, según se indica en el proyecto, la presentación por el contratista de un plan de obra que una vez aprobado, con las modificaciones que estime necesarias la propiedad (y en su caso el Ministerio de Medio Ambiente y demás Organismos competentes), tendrá los efectos vinculantes previstos en la Legislación de contratos.

En dicho plan de obra se reflejará la maquinaria cuyo empleo este previsto en los trabajos, así como los plazos o hitos parciales de unidades de obra que condicionen el plazo final. No se aceptará variación de plazo ni reclamación de ningún tipo por el hecho de que alguna maquinaria de la

prevista no esté disponible para el Contratista en el momento necesario de su empleo.

Durante la ejecución, el Contratista acopiará los materiales necesarios con la antelación suficiente para no originar demoras que puedan hacer ampliar el plazo o variar negativamente la calidad de ejecución. Los acopios no originaran derechos económicos en favor del Contratista por el hecho de su disposición en obra, sin perjuicio de lo que decida sobre el particular el Director de obra según lo previsto en la Legislación vigente sobre abonos a buena cuenta por tales acopios.

Los materiales a emplear deberán cumplir todas y cada una de las características previstas y fijadas en el presente PPTP o en los pliegos generales referenciados en el mismo. En caso de indefinición de algún material se estará a lo dispuesto por el Director de Obra sobre el particular. No obstante, la aceptación previa de un material en acopio no supone la ampliación de dicha aceptación al mismo en la obra, sino que se estará lo que resulte de los controles y ensayos a realizar.

El Contratista queda obligado a facilitar al Director cuantos datos le sean requeridos sobre procedencia de los materiales, muestras (en número necesario para los fines que se precise), fechas de adquisición, condiciones de homologación, etc.

Los materiales inaceptados en acopios serán retirados a la mayor brevedad posible para evitar molestias en la obra o posibles confusiones con otros validos.

El control de calidad de materiales, componentes y unidades de obra será fijado exclusivamente por el Director a la vista de las circunstancias de la obra y considerando las normas de aplicación a cada material o unidad.

Los ensayos de control serán realizados en todos los casos por un laboratorio homologado en cada material o unidad, elegido por el Director de Obra, y sus resultados comunicados directamente por el laboratorio al Director, sin perjuicio de que una copia de los mismos le sea remitida simultáneamente al Contratista. En el caso de que todos los ensayos den



como resultado la idoneidad de los materiales o unidades de obra ensayados, cualquier ensayo suplementario correrá por cuenta de la Propiedad. Sin embargo, el coste todos los ensayos cuyos resultados muestren materiales o unidades defectuosos, en cualquier grado, (medido por resultados de cualquier característica o parámetro de control con resultado inferior a los valores establecidos en Proyecto) será asumido directamente por el Contratista.

El laboratorio de control realizará su trabajo a partir de las comunicaciones, bien del Director de Obra, bien del propio contratista sobre los días y unidades a ejecutar (en particular hormigonado), debiendo remitir al Director de Obra los resultados obtenidos en el menor plazo posible, con todas las aclaraciones y comentarios que estime procedentes.

Durante la ejecución de las obras el contratista viene obligado al cumplimiento de las medidas de seguridad necesarias (Ver Estudio de Seguridad e Higiene).

La propiedad se reserva el derecho de hacer uso de determinadas obras o parte de ellas aunque no estén totalmente terminadas, siempre que con ello no se impida su finalización.

En tal caso, la Dirección concretará las condiciones de entrega provisional, de funcionamiento y la ulterior terminación de las obras o partes que sean objeto de use anticipado, ya sea por necesidades de puesta en servicio parcial o para efectuar en ellas trabajos que no formen parte del contrato de obras.

Por lo que se refiere a la seguridad en el trabajo, el contratista está obligado a cumplir todas las condiciones que se especifiquen, bien en este pliego, bien en disposiciones y normas legales de obligado cumplimiento que resulten de aplicación.

Asimismo el contratista deberá proveer, cuando fuese preciso para el mantenimiento de las maquinas, herramientas, materiales y útiles de trabajo en las debidas condiciones de seguridad.

Cualquier operario que trabaje en circuitos, con equipos en tensión o en su proximidad, usara ropa sin accesorios metálicos y evitará el use innecesario de objetos de metal. Para estos trabajos las herramientas y equipos se llevarán en bolsas y se utilizará calzado aislante o al menos sin herrajes o clavos en las suelas.

Todo el personal del contratista está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personal necesarios para eliminar o reducir los riesgos profesionales pudiendo el Director de obra suspender los trabajos, si estima que el personal está expuesto a peligros que son corregibles.

La Dirección de obra podrá exigir al contratista, ordenándolo por escrito, el cese en la obra de cualquier trabajador, por imprudencia temeraria, fuera capaz de producir accidentes que hicieran peligrar su propia integridad física o la de sus compañeros. Asimismo podrá exigir al contratista en cualquier momento, antes o después del comienzo de los trabajos, que presente los documentos acreditativos de haber formalizado los regímenes de Seguridad Social en la forma legalmente establecida.

Durante la ejecución, el contratista deberá tomar las máximas precauciones para proteger a personas, animales y cosas de los peligros procedentes del trabajo, siendo de su cuenta las responsabilidades que por tales accidentes se ocasionen.

El contratista mantendrá póliza de seguros que proteja a todos sus trabajadores, de cualquier categoría, frente a las responsabilidades por daños, responsabilidad civil, etc., en que pudieran incurrir para con el Contratista o para con terceros, como consecuencia de la ejecución de los trabajos.

El plazo de garantía será el establecido en el pliego de bases de la contratación. No obstante, si algún fabricante o suministrador de productos empleados en la obra ampliase de forma general y/o particular para cualquier elemento o unidad sus garantías con respecto al plazo establecido, el contratista vendrá obligado a mantener dicha garantía por

el mayor plazo ofertado, en las condiciones que se fijen en la misma. Durante la ejecución el Contratista estará obligado a conservar las obras. Una vez finalizadas las obras y hasta la recepción de las mismas, el contratista está obligado a la conservación por su cuenta. Durante el plazo de garantía establecido, será responsable de la conservación en los términos previstos en el artículo 171 del Reglamento General de Contratación y cláusula 738 del Pliego de Clausulas Administrativas Generales.

### **5.5 Materiales**

Todos los materiales que se empleen en las obras, figuren o no explícitamente en este pliego, reunirán las condiciones de calidad exigibles en la buena práctica de la construcción y en todo caso la aceptación por la Dirección de obra de una marca, tipo, fabricante o lugar de extracción no exime al Contratista del cumplimiento de estas prescripciones.

Los materiales a emplear se adaptaran a las correspondientes normas y disposiciones que para cada uno de los mismos se contienen de manera general en la relación indicada en el punto 4.2 del presente pliego, complementadas en su caso con las descripciones de la Memoria, definición de cada unidad de obra y planos de detalle.

Cualquier contradicción, indefinición, etc., será resuelta exclusivamente por el Director de obra.

No se procederá al empleo de los materiales sin que antes sean examinados y aceptados en los términos y forma que establezca la Dirección de obra o técnico en quien delegue.

Las pruebas y ensayos ordenados se llevaran a cabo bajo la supervisión de la Dirección de obra, técnico/a en quien delegue, o asistencia técnica en caso de ser previamente autorizada.

La Dirección de obra se reserva el derecho de controlar y comprobar antes de su empleo la calidad de los materiales. Por consiguiente, podrán exigir al contratista, que por cuenta de este, entregue al laboratorio

homologado y aprobado, la cantidad suficiente de materiales para ser ensayados; y este lo hará con la antelación suficiente para evitar retrasos que por este concepto pudieran producirse y que en tal caso, se imputaran al contratista. Cuando los materiales no sean de la calidad prescrita en este pliego o no tuvieran la preparación o adecuación en el exigida, deberán ser retirados y sustituidos por otros que cumplan las calidades prescritas y el objetivo at que se destinan, con cargo al Contratista.

El contratista estará obligado a facilitar a la Dirección de obra cuanta información se le solicite relativa at fabricante o suministrador, fecha de fabricación o adquisición, etc., de cualquier material y/o producto.

### **5.5.1 Zahorras**

Se denomina zahorra a una mezcla de áridos, total o parcialmente machacados, en la que la granulometría del conjunto de los elementos que la componen es de tipo continuo.

Las zahorras a emplear en capas de sub-base y rellenos procederán del machaqueo de piedra de cantera o grava natural y cumplirán las condiciones establecidas en el artículo 501 "Zahorra artificial" del Pliego PG 4/88.

La curva granulométrica del material estará comprendida dentro del huso Z-2.

El coeficiente de desgaste, medido por el ensayo de Los Ángeles, según la Norma NLT-149/72 será inferior a treinta y cinco.

Todo el material será no plástico y su equivalente de arena será mayor de treinta.

### **5.5.2 Rellenos compactados**

Los materiales granulares para relleno bajo soleras, zapatas, trasdosado de muros, etc., así como en asiento de tuberías u otras unidades cumplirán las condiciones generales fijadas en el Art. 421 "Rellenos

localizados de material filtrante" del PG-4/88. Se vigilará especialmente la composición granulométrica del material, que deberá estar exento de arcilla y margas. La fracción que pasa por el tamiz 0,08 UNE no rebasará el cinco por ciento.

Los materiales de cada tongada serán de características uniformes y si no lo fueran, se conseguiría esta uniformidad mezclándolos convenientemente con los medios adecuados.

Durante la ejecución de las obras, la superficie de las tongadas deberá tener la pendiente transversal necesaria para asegurar la evacuación del agua sin peligro de erosión. Una vez extendida la tongada, se procederá a su humectación, si es necesario antes de la compactación de la siguiente. El contenido Óptimo de humedad se determinará en obra, a la vista de la maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan en los ensayos realizados.

En los casos especiales en que la humedad del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, se tomarán las medidas adecuadas, pudiéndose proceder a la desecación por arena o la adición y mezcla de materiales secos o sustancias apropiadas, tales como cal viva.

Conseguida la humectación más conveniente, se procederá a la compactación mecánica de la tongada.

Las zonas que por su forma o sección transversal pudieran retener agua en su superficie, se corregirán inmediatamente por el Contratista.

Los rellenos se medirán y abonarán por aplicación de los precios correspondientes de Presupuesto, según las respectivas definiciones, a los volúmenes obtenidos por aplicación, como máxima de las secciones tipo correspondientes, no abonándose generalmente los que se deriven de excesos en la excavación.

### **5.5.3 Gravas para relleno de base**

Las gravas a emplear en rellenos bajo soleras constituirán un macadam por su granulometría discontinua, poseyendo dos tipos de áridos al menos: uno grueso y otro fino para relleno de huecos.

Sus características, condiciones generales y composición granulométrica verificarán las prescripciones del Art. 502 "Macadam" del Pliego PG 4/88, con un huso preferentemente M2 salvo que el Director de Obra fije otro distinto a la vista de las condiciones de la obra.

Se cuidara especialmente que el árido no esté descompuesto por el agua.

### **5.5.4 Áridos para hormigones**

Los áridos de cualquier procedencia para la fabricación de hormigones, tanto en obra como en planta, cumplirán las condiciones generales fijadas en el Art. 71 "Áridos" de la Instrucción EH-91.

El tamaño máximo y granulometría se fijará para cada elemento o zona a la vista de sus condiciones particulares según el Artículo 7°.2 de la Instrucción EH-91, debiendo tener especial cuidado en las condiciones de almacenamiento.

A efectos de granulometría y coeficiente de forma, todos los hormigones que hayan de ser armados se consideraran en ambiente II.

La arena (árido de tamaño  $\leq 5$  mm) y la grava no contendrán arcillas, margas ni otros materiales extraños en proporciones superiores a las especificadas en la instrucción EH-91.

El agua para la fabricación de hormigones cumplirá las condiciones de composición y limitación de impurezas establecidas como limites en el Art. 6 de la Instrucción EH-91.

### **5.5.5 Cementos y hormigones**

Todos los cementos a emplear deberán cumplir lo especificado en el Art. 5 de la EH-91 y la Instrucción para la Recepción de Cementos RC-97.

La resistencia del cemento no será inferior a 250 kg/cm<sup>2</sup> y deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las cualidades exigidas en la definición del mismo para cada unidad de obra así como las generales establecidas en el Art. 10 de EH-91.

En cualquier caso solo podrá emplearse, salvo aceptación previa del Director de Obra, cemento Portland de los tipos 1-0, I, II-S o II-Z, o cemento de horno alto III- 1 o 111-2 que cumplirán las prescripciones generales para cada tipo del RC-97.

A la vista de las condiciones de cada unidad de obra y de su situación, el Director podrá fijar el empleo del cemento que estime más adecuado en cada caso.

Se cuidara especialmente el almacenamiento protegiéndolo adecuadamente de la humedad y de la intemperie. Además se vigilará el plazo de empleo de modo que no se permitirá el uso de cementos con plazo de empleo caducado.

Previa autorización del Director de Obra podrán reducirse las comprobaciones exigidas en el RC-97 a las pruebas de fraguado, estabilidad al agua caliente y resistencia del mortero normal a siete días.

A la vista de las condiciones y circunstancias de la obra y con objeto de conseguir ciertas ventajas (mayor docilidad, aumento o retardo de fraguado, etc.) sólo podrán ser añadidos a los hormigones a emplear en la misma los aditivos y adiciones que previamente autorice por escrito el Director de Obra, en las condiciones de aplicación previstas en el Art. 8 de la Instrucción EH-91.

Los hormigones a utilizar se fabricaran con el tipo de cemento dependiente de la unidad y zona de obra con el criterio general de emplear los cementos autorizados en el mismo.

Las condiciones generales a cumplir por los hormigones serán las contenidas en los Arts. 10 "Hormigones" de la Instrucción EH-91 y 610 "Hormigones" del PG- 4/88.

No se emplearan hormigones de categoría inferior a H-100, ni siquiera en rellenos bajo obras de fábrica o de limpieza. La resistencia característica a compresión será de  $250 \text{ kg/cm}^2$  (H-175) a 28 días en probeta normalizada en los casos en que tal característica sea la definitoria del hormigón. La dosificación del cemento en cualquier hormigón no será en ningún caso inferior a  $300 \text{ kg/m}^3$ . En el caso de empleo de hormigón preparado este deberá cumplir lo especificado en los Arts. 15.2.1 a 15.2.9. de la EH-91.

La consistencia del hormigón será plástica según UNE 7103 y 10.6 de EH-91, para vibrado, con asiento en cono de Abrams comprendido entre 3 y 5 cm. Se admite hasta un asiento máximo de 6 cm teniendo en cuenta la tolerancia de  $\pm 1 \text{ cm}$ . fijado en el Art. 10.6 de EH-91 aunque, preferentemente, la consistencia deberá tender a ser seco-plástica.

El control de calidad, a través de la consistencia de las amasadas, medida en obra y la resistencia a compresión de probetas, se realizará según lo previsto en los Arts. 65, 66 y 69 de la EH-91.

A partir de los resultados obtenidos, para la aceptación o rechazo de las correspondientes partidas o amasadas se estará a lo dispuesto en la propia EH- 91 y en el articulado del presente Pliego.

El hormigón se medirá por metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ) realmente ejecutados en obra, correspondiente al tipo señalado en los planos, abonándose el precio que para cada tipo de hormigón figura en el presupuesto. En el precio correspondiente quedan incluidos la fabricación, transporte, puesta en obra, vibrado, curado y acabado, así como la parte proporcional de las juntas de estanqueidad, aditivos y toda clase de medios empleados para su puesta dentro del encofrado.

### **5.5.6 Morteros de cemento**

Los materiales componentes de los morteros: agua, cemento, áridos y productos de adición, cumplirán las especificaciones que para cada uno de ellos se establecen en el presente Pliego y como componentes de los hormigones. Se establecen los siguientes tipos y dosificaciones de



morteros de cemento Portland para su empleo en las distintas clases de unidades de obra. Las composiciones de los morteros en las distintas unidades de obra serán las siguientes por metro cúbico:

- M 250 para fabricas de ladrillo y mampostería: 250 kg de cemento 1/35 a 11/35 por m<sup>3</sup> de mortero.
- M 350 para capas de asiento de piezas prefabricadas, adoquinados y bordillos: 350 kg de cemento 1/35 a 11/35 por m<sup>3</sup> de mortero.
- M 600 para enfoscados, enlucidos, corrido de cornisas e impostas: 600 kg de cemento 1/35 a 11/35 por m<sup>3</sup> de mortero.
- M 850 para enfoscados exteriores: 850 kg de cemento 1/35 o 11/35 por m<sup>3</sup> de mortero.

El Director de Obra podrá modificar la composición cuando las circunstancias así lo aconsejen. Asimismo, podrá exigir la coloración en zonas en que lo estime conveniente.

La fabricación se realizara manual o mecánicamente. En el primer caso sobre superficies impermeables y no contaminantes en cuanto al color.

La mezcla del cemento y la arena se realizara siempre en seco y a continuación se añadirá el agua en la dosificación precisa.

Solo se deberá fabricar el mortero preciso para su empleo inmediato siendo rechazada toda amasada con un tiempo de fabricación superior a 45 minutos hasta su empleo.

Sera rechazado todo mortero que no se adapte en dosificación, plazo de fabricación, textura o color y condiciones de colocación o acabado a las especificaciones del pliego, de la unidad correspondiente o de las instrucciones del Director de Obra.

### **5.5.7 Lechadas de cemento**

Los materiales componentes de las lechadas: agua, cemento y productos de adición en su caso, cumplirán las especificaciones que para cada uno

de ellos se establecen en el presente Pliego y como componentes de los hormigones y morteros.

Las lechadas se realizarán con cemento Portland o Puzolánico, según la zona de empleo, con las características definidas en el Pliego General de Condiciones para la recepción de cementos RC-93, coloreados cuando sea preciso según las necesidades y acabados de la unidad de obra.

La dosificación podrá variar entre proporciones de cemento/agua de 1/8 a 1/1 de acuerdo con las características de la unidad o zona de empleo y las instrucciones del Director de obra.

### **5.5.8 Acero en barras para hormigones**

El acero a emplear en los hormigones será corrugado en barras o mallas electro soldadas de los tipos AEH-400N o preferiblemente AEH-400S con las características mecánicas, de sección, etc., que para cada tipo de acero y diámetro se fijan en los Arts. 9 y 25 de la Instrucción EH-91.

Los diámetros de las barras serán los especificados en los planos y la sección equivalente no será inferior al 95 por 100 de su sección nominal para todos y cada uno de los diámetros empleados.

El límite elástico no será inferior a  $4.100 \text{ kg/cm}^2$  para las barras de armar debiendo cumplir todas las características mecánicas mínimas garantizadas que se recogen en la Instrucción EH-91. Por su parte, las mallas electro soldadas para forjados cumplirán las condiciones del Art. 9.4 de la EH-91.

Las armaduras se colocarán limpias, exentas de toda suciedad, grasa y óxido no adherente. Se dispondrán de acuerdo con [as indicaciones de los planos y se fijarán entre sí mediante las oportunas sujeciones manteniéndose mediante piezas adecuadas la distancia al encofrado, de manera que quede impedido todo movimiento de las armaduras durante el vertido y compactación del hormigón y permitiendo a este envolverlas sin dejar coqueas.

Los empalmes y solapes serán los indicados en los Planos, o en caso contrario se dispondrán de acuerdo con lo prescrito en la instrucción EH-91.

Antes de comenzar las operaciones de hormigonado de cualquier elemento resistente, el contratista deberá obtener de la Dirección de Obra la aprobación de las armaduras colocadas.

Sobre el control de calidad del acero se estará a lo dispuesto en el Art. 71 de la EH-91.

La medición y abono se realizara por kilogramos realmente colocados, según la descripción de la correspondiente unidad, sin admitir abonos por acopios.

#### **5.5.9 Mallas electro soldadas**

Las mallas electro soldadas a emplear en refuerzo de pavimentos, paramentos y en cualquier otro use autorizado por el Director de Obra serán electro soldadas y se corresponderán con las previstas en el Proyecto o las fijadas en su caso por el propio Director, tanto en separación entre barras como en diámetros y resistencia del acero empleado.

Solo el Director de obra podrá autorizar cambios en el tipo de malla cuando por facilidad constructiva, de adquisición en el mercado, etc., resulte conveniente el empleo de una malla no prevista. En tal caso, la capacidad mecánica del producto propuesto, en cualquier sentido, no será inferior a la que corresponde a la proyectada.

Las características de las mallas electro soldadas corrugadas se ajustaran a lo establecido en la norma UNE 36.092/1/81, el Art. 9.4 "Mallas electro soldadas" de la Instrucción EH-91 y B.II1.3. del PPTGOMD.

En particular, el acero será AEH 500 T para las barras de cada sentido, con límite elástico  $\geq 5.100 \text{ kg/cm}^2$  y las restantes características mecánicas establecidas en la instrucción EH-91.

Las mallas electro soldadas se colocaran limpias, exentas de toda suciedad, grasa y óxido no adherente, disponiéndose de acuerdo con las indicaciones de los planos y se fijaran entre sí mediante las oportunas sujeciones, manteniéndose mediante piezas adecuadas cuando sea necesario la distancia al encofrado, de modo que quede impedido todo movimiento de las armaduras durante el vertido y compactación del hormigón permitiendo a este envolverlas sin dejar coqueras.

Previamente al comienzo de las operaciones de hormigonado el Contratista deberá obtener de la dirección de la obra, la aprobación de las mallas electro soldadas colocadas.

Sobre los criterios de aceptación y rechazo se estará a lo dispuesto en la EH-91 en cuanto a tolerancias, deformaciones, etc.

La medición y abono se realizara por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) realmente colocados, en las condiciones de definición de la correspondiente unidad de obra. No se admitirá el abono de acopios de mallas electro soldadas.

#### **5.5.10 Encofrados de madera y/o chapa**

Tanto la madera como alternativamente la chapa que se emplee en encofrados cumplirá lo especificado en el Art. 11 de la Instrucción EH-91. En las zonas en que la Dirección de obra fije acabados vistos para el hormigón, los encofrados serán los adecuados para tal terminación.

La medición y abono se realizara por metros cuadrados (m<sup>2</sup>) realmente empleados, de manera estricta, según las dimensiones establecidas en el proyecto para cada elemento de hormigón que deba ser encofrado. No serán de abono ni los excesos de encofrado sobre lo necesario ni los encofrados empleados de manera innecesaria a juicio del Director de Obra. No se admitirá el abono de acopios de encofrados.

#### **5.5.11 Acero en perfiles conformados, laminados y tubos**

Los perfiles y chapas de acero laminado para estructuras metálicas cumplirán las condiciones establecidas en el Art. 2.1.1/2/3 de la Norma

NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación" en cuanto a características mecánicas (Límite elástico, resistencia a tracción, alargamiento de rotura, doblado, resiliencia) y composición química.

Las condiciones de los perfiles huecos en cuanto a características mecánicas, composición química, suministro, ensayos de recepción y tolerancias de los productos se ajustaran a las prescripciones del Art. 2.2 de la NBE EA-95.

En caso de empleo estructural todo el acero conformado o laminado en perfiles, según los elementos y las determinaciones previstas en los planos, será de tipo A42B, soldable, con un límite elástico  $\geq 2.600 \text{ kg/cm}^2$ , con los elementos de unión previstos en cada caso en el proyecto o, en su defecto, los que ordene el Director de Obra.

La garantía de las características se materializara mediante marcado en cada una de las piezas recibidas en obra o taller. A este respecto, el suministro y recepción cumplirá las especificaciones del 2.1.5. de EA-95.

Solo se admitirán las tolerancias dimensionales y de deformación establecidas en el punto 2.1.6.3. de la NBE EA-95 para los productos de acero laminado. Todo elemento que sobrepase en cualquier parámetro (espesor, asimetría, curvado, desvío, etc.) las citadas tolerancias será rechazado.

Los perfiles y placas conformados en frio cumplirán en cuanto a características mecánicas (límite elástico, resistencia a tracción, alargamiento de rotura y doblado), composición química y tolerancias las especificaciones fijadas en la NBE EA-95. Id. en cuanto a las condiciones de suministro y ensayos de recepción.

El contratista facilitará a la Dirección de Obra todos los datos del suministrador, así como los ensayos previos en fábrica, sin perjuicio de los que proceda realizar durante la ejecución de la obra para comprobación de las características.

La medición y abono del acero se realizara según la unidad de obra de que forma parte.

#### **5.5.12 Chapas y paneles metálicos**

El acero para chapas y paneles conformados en frio cumplirán en cuanto a sus características mecánicas (límite elástico, resistencia a tracción, alargamiento de rotura y doblado), composición química y tolerancias las especificaciones fijadas en 2.3 de la NBE EA-95. Id. en cuanto a las condiciones de suministro y ensayos de recepción.

Las características (en particular espesores) de las chapas, paneles sándwich, piezas de apoyo y separación, radios de curvado, nervaduras, acabados, colores, etc., serán las definidas en el proyecto.

La medición y abono se realizara según la correspondiente definición (chapa simple o doble, incluyendo aislamiento, correas separadoras, etc., o panel) de cada unidad de obra de la que forma parte.

#### **5.5.13 Tornillos para uniones de perfiles metálicos**

Los tornillos, tuercas y arandelas de cualquier tipo y diámetro para uniones de perfiles metálicos se adaptaran en sus condiciones, dimensiones, roscas, tolerancias, pesos, etc. a las prescripciones del Art. 2.5 de la Norma NBE EA-95 de estructuras de acero en edificación

La medición y abono se considera incluida en la definición de la unidad de obra de la que forman parte cada uno de estos elementos.

#### **5.5.14 Prefabricados de cemento y hormigón**

Los elementos prefabricados de hormigón, de cualquier tipo y clase: pilares y vigas de cubierta, bordillos, aros para pozos, baldosas para acera, bloques, etc., cumplirán las dimensiones y características generales especificadas para cada caso en la correspondiente unidad.

Los elementos estructurales como soportes y vigas de cubierta, prefabricados, cumplirán las condiciones fijadas para tales elementos en la instrucción EH-91.

Los bordillos se ajustaran en sus dimensiones y características y se ejecutaran según el Art. 570 del PG-4/88, asentados sobre hormigón en masa del tipo indicado en los planos y a las cotas detalladas en planos o definidas en obra, en función de las condiciones de la misma por el Ingeniero Director.

La longitud unitaria mínima de los bordillos será de 50 cm, excepto en aquellas zonas de radios menores que podrán reducirse hasta 20 cm debiendo procederse al posterior sellado de las juntas con mortero. En tramos rectos deberán emplearse bordillos de longitud unitaria no menor de un metro.

Las baldosas serán de hormigón prensado y vibrado, estarán bien cortadas, con aristas limpias y colores uniformes y definidos. Cumplirán lo previsto en la Norma UNE 41.008 y estarán fabricadas con un mínimo de un mes de antelación a su empleo en obra.

Las características, materiales, calidades y coloración de las baldosas, se ajustaran a lo detallado en planos y definición de la correspondiente unidad, siendo de aplicación complementaria el Art. 220 del PG 4/88. Los colores, texturas y tamaños serán elegidos por el Director de Obra salvo que figuren explicitados en la definición de la unidad.

En cuanto a los pozos para saneamiento, arquetas prefabricadas, etc., serán de las dimensiones fijadas en los correspondientes planos y definición de la unidad de obra.

#### **5.5.15 Tuberías de polietileno y pvc**

Cumplirán en cuanto a características de los materiales, dimensiones, timbrajes, tolerancias, etc., las especificaciones de los pliegos de tuberías de abastecimiento y saneamiento según cada caso.

### **5.5.16 Pinturas**

Las características de las pinturas a emplear (anticorrosivas, de imprimación, al cloro caucho, etc.) y de sus componentes: pigmentos, cargas, aceites, resinas y vehículo volátil, así como los controles a realizar y criterios de aceptación y rechazo cumplirán las prescripciones vigentes en el momento de su aplicación.

El poder cubriente se determinará en seco según la Norma INTA 160262 o UNE 48081.

La pintura de imprimación a utilizar sobre superficie metálica, deberá ser resistente a la corrosión. Podrá ser de tipo "minio" compuesta de una base de óxido de plomo en vehículo de aceite de linaza o bien con base de cromato de cinc-óxido de hierro y vehículos formados por resina glicero-oftálica y aceite de linaza o bien por barniz de resina fenólica.

La calidad, composición y demás características de las pinturas deberán comprobarse de acuerdo con las normas de ensayo UNE, MELC, INTA o en su defecto por las que designe el Ingeniero Director.

Las superficies metálicas se deberán limpiar cuidadosamente antes de la aplicación de estas pinturas, siendo recomendable en piezas delicadas para equipos mecánicos, el chorro de arena.

Las pinturas a emplear en la terminación de las superficies metálicas previamente imprimadas, serán esmaltes sintéticos brillantes de secado al aire, o bien de secado en estufa para aquellas piezas que lo permitan.

Deberán ser de gran resistencia a los agentes atmosféricos y conservar el calor y brillo y tener la consistencia suficiente para su aplicación sobre las superficies, sin escurrimientos.

Sobre la medición y abono se estará a lo previsto en la descripción de cada unidad de obra.



### **5.5.17 Elementos metálicos embebidos en obras de fábrica y hormigones**

Son todos aquellos elementos fabricados a partir de perfiles y chapas de acero, convenientemente elaborados mediante corte y soldadura, de acuerdo a las dimensiones especificadas en los correspondientes planos de detalle, que posteriormente son colocados embebidos en el elemento de hormigón armado, para servir de conexión, fijación y soporte de los mecanismos, equipos y otras disposiciones, salvo los que no se hallen incluidos en la unidad correspondiente.

Tanto los materiales de base como los elementos de elaboración (electrodos, etc.) se ajustarán a lo dispuesto en el apartado correspondiente a este pliego o a lo que establezcan normas generales de aplicación.

Los elementos anteriormente descritos formaran parte de otras partidas globales incluidas en el presupuesto, abonándose las unidades completas al precio correspondiente.

## **5.6 Ejecución de obras de hormigón**

Se considerará de aplicación todo lo citado en el artículo sobre hormigonado con las siguientes consideraciones:

Al verter el hormigón, se removerá enérgica y eficazmente para que las armaduras queden perfectamente envueltas, cuidando especialmente los sitios en que se reúnan gran cantidad de armaduras procurando que se mantengan los recubrimientos y separaciones de las armaduras.

En losas y soleras, el extendido del hormigón se ejecutara de modo que el avance se realice con todo su espesor.

En vigas y elementos estructurales lineales o planos, el hormigonado se realizará avanzando desde los extremos, llenándolas en toda su altura y procurando que el frente vaya recogido, para que no se produzcan segregaciones y la lechada escurra a lo largo del encofrado.

En pilares, el hormigonado se efectuará de modo que su velocidad no sea superior a dos metros de altura por hora y removiendo enérgicamente la masa para que no quede aire aprisionado y vaya asentando de modo uniforme. Se cuidara la ejecución en elementos de grandes volúmenes para evitar un alto calor de hidratación. Cuando los pilares y elementos horizontales apoyados en ellos se ejecuten de un modo continuo, se dejaran transcurrir, por lo menos, dos horas desde el hormigonado de los primeros para que el hormigón de los mismos haya asentado definitivamente.

Sobre hormigonado en tiempo frio o excesivamente caluroso se estará a lo dispuesto en la EH-91 al efecto.

Las prescripciones anteriores serán aplicables en el caso en que se emplee cemento Portland. Si se utiliza cemento siderúrgico (tipo III) o Puzolánico, las temperaturas de aplicación podrán modificarse a juicio del Director de Obra.

En los casos en que por absoluta necesidad y previa autorización del Ingeniero Director, se hormigonase a temperatura inferior/superior a las límite fijadas en la EH-91, se adoptaran las medidas necesarias para que el fraguado de las masas se realice sin dificultad calentando los áridos o el agua, sin rebasar los sesenta grados centígrados o enfriando según el caso. El cemento no se calentara en ningún caso. Todo hormigón expuesto a la helada, deberá ser mantenido a una temperatura mínima de 10°C durante 72 horas a partir de su colocación.

Si no se puede garantizar la eficacia de las medidas adoptadas para evitar que la helada afecte al hormigón, se realizarán los ensayos necesarios para comprobar las resistencias alcanzadas; preparando con la misma mezcla, una serie de probetas que se conservaran junto a los elementos hormigonados y en las mismas condiciones de curado.

En tiempo caluroso se procurará que no evapore el agua de amasado durante el transporte y si este dura más de media hora, se adoptaran las

medidas oportunas para que no se coloquen en obra masas que acusen desecación e inicio de fraguado.

Como norma general el hormigonado se suspenderá en caso de lluvias intensas, adoptando las medidas necesarias para impedir la entrada de agua a las masas de hormigón fresco y el lavado superficial. Eventualmente, la continuación de los trabajos, en la forma que se proponga, deberá ser aprobada por la Dirección de Obra.

En caso de que fuese necesario poner en contacto el hormigón con otros morteros u hormigones que difieran de él en el tipo de conglomerante, se tratarán las juntas para conseguir la total estanqueidad, bien sea mediante una capa intermedia muy compacta de mortero fabricado con cualquiera de los dos conglomerantes, bien esperando que el mortero u hormigón primeramente fabricado este seco, o bien impermeabilizando superficialmente el hormigón mas reciente. Se ejercerá especial vigilancia en el caso de hormigones fabricados con cemento aluminoso o cemento siderúrgico sobre sulfatados.

Para el hormigón armado se considera de aplicación todo lo citado en el artículo sobre hormigonado con las siguientes consideraciones:

Al verter el hormigón, se removerá enérgica y eficazmente para que las armaduras queden perfectamente envueltas, cuidando especialmente los sitios en que se reúnan gran cantidad de armaduras procurando que se mantengan los recubrimientos y separaciones de las barras de cualquier tipo.

### **5.7 Excavaciones en zanjas, pozos y cimentaciones**

Consisten en el conjunto de operaciones necesarias para conseguir el emplazamiento adecuado para el azud, conducciones y cimentaciones de la central.

Las excavaciones se realizaran con las alineaciones y desniveles previstos en los planos, replanteos definitivos o con las modificaciones que en su caso indique la Dirección Facultativa de las Obras.

La apertura de las zanjas y explanaciones podrán efectuarse con medios mecánicos o manuales, refinando y compactando el fondo de las excavaciones para recibir la capa de hormigón de limpieza o de grava en su caso.

No se permitirá tener las excavaciones abiertas a su rasante final más de tres días antes de la colocación de la cimentación o cama de base. En caso de terrenos de fácil meteorización, si fuese absolutamente imprescindible efectuar la apertura de las zanjas con mayores plazos, se deberán dejar sin excavar unos veinte centímetros sobre la rasante del fondo para realizar su acabado inmediatamente antes de la colocación del tubo.

El Contratista tomara las máximas precauciones para evitar desprendimientos, empleando para este fin cuantas entubaciones sean necesarias manteniendo el terreno debidamente sujeto hasta la implantación de las obras definitivas. Estos trabajos, cualquiera que sea su naturaleza se encuentran incluidos en el precio correspondiente a esta unidad.

Se excavara hasta la Línea de rasante siempre que el terreno sea uniforme; si quedan al descubierto piedras, cimentaciones, rocas, etc., será necesario excavar por debajo de la rasante para efectuar un relleno posterior con hormigón de limpieza preferentemente. Normalmente esta excavación suplementaria tendrá unos 20 centímetros de espesor. De ser preciso efectuar voladuras para las excavaciones, se adoptaran precauciones para la protección de personas y propiedades, siempre de acuerdo con la Legislación vigente y las ordenanzas municipales en su caso.

Cuando por su naturaleza y a juicio de la Dirección Facultativa, el terreno a nivel de la rasante del fondo no asegure la completa estabilidad deberá procederse a su compactación o estabilización por los procedimientos que se indiquen.

El material procedente de la excavación se aplicara lo suficientemente alejado del borde de las excavaciones para evitar el desmoronamiento de estas o que el desprendimiento del mismo pueda poner en peligro a los trabajadores (Ver Anexo de Seguridad e Higiene). El material excavado no podrá colocarse de forma que entorpezca o impida el paso por caminos, accesos a propiedades, cauces de arroyos o ríos, ni que represente un peligro para construcciones existentes por presión directa o sobrecarga de terrenos contiguos.

En caso de que las excavaciones cortasen el nivel freático o aflorasen filtraciones y la cuantía de las aportaciones en el interior de la misma hiciese necesario el agotamiento, se procederá durante el tiempo preciso para la adecuada terminación de la unidad de obra para la que había sido abierta.

La medición de esta unidad se efectuará de acuerdo con las secciones tipo definidas por los perfiles teóricos de excavación, sin tener en cuenta esponjamientos ni caídas de material, etc. El abono se efectuara por metros cúbicos realmente ejecutados de acuerdo con el precio correspondiente del presupuesto, cualquiera que sea la clase de terreno que aparezca al realizar las excavaciones. Este precio comprende la excavación y extracción de los productos fuera de la zanja y las entubaciones y agotamientos necesarios, rasantes y refinis de la excavación, carga y transporte de productos sobrantes a vertedero. En el precio se consideran incluidas todas las labores de desbroce y apeo de arboles donde sea necesario y la parte proporcional de excavación en mina bajo las obras de fabrica a cruzar.

No serán de abono los desprendimientos ni los excesos de excavación no especificados en la definición y presupuesto.

## **5.8 turbina**

Todos los materiales deberán cumplir las normas DIN, NF o UNE, que resulten de aplicación y se correspondan con el tipo de material y su

función, y serán productos normales de fabricante de reconocida solvencia.

Los aceros empleados serán moldeados o laminados, con especificación de sus características mecánicas y composición química.

Los rodetes, álabes y cazoletas serán de acero inoxidable, de características adecuadas para su funcionamiento. Su diseño será tal que pueda funcionar sin ruidos ni vibraciones apreciables, incluso en el caso de funcionamiento en márgenes de potencia no normales.

Las partes internas y externas serán mecanizadas y esmeriladas, a fin de reducir las pérdidas al máximo.

Los rodetes serán sometidos a un equilibrado estático en el taller.

Todos los órganos relativos de los grupos tal y como viene definida por la Publicación IEC 41, capítulo II, artículo 2.9.3., será inferior a la precisada en la hoja de datos correspondiente.

Solo se admitirá el empleo de materiales nuevos que estarán particularmente exentos de cualquier defecto de carácter progresivo.

En la selección de materiales en contacto con el agua se tendrá en cuenta la calidad de la misma, para prevenir erosión y corrosión excesivas, dada la altura topográfica (aguas agresivas) y las características de los materiales arrastrados (arenas).

Las tuberías que hayan de ir embebidas en hormigón, serán de acero inoxidable. Se realizaran las siguientes Pruebas:

En fábrica:

- Materiales.
- Soldadura.
- Equilibrio estático del rodete.
- Funcionamiento del equipo de regulación.

- Tolerancia y fijación de componentes.

En el lugar de emplazamiento:

- Potencia.

- Carga.

- Velocidad de embalamiento.

La turbina se medirá como única unidad, en la que se incluyen todos los conceptos aquí señalados y los definidos en su caso en el Proyecto constructivo, y se abonará perfectamente montada y probada, al precio que figura en el Presupuesto.

### **5.9 Rejas y compuertas**

Las rejas se construirán a base de llanta de chapa de acero, con las separaciones convenientes y apoyos de doble T horizontales y verticales. Las compuertas serán de tipo tajadera, rectilínea, con movimiento vertical, accionadas por usillo. Su construcción será mecano soldada, compuesta por un chasis de perfiles laminados, con tornillos de fijación para los elementos anexos. Las guías de deslizamiento serán a base de perfiles laminados, con sus correspondientes pernos de anclaje.

Las rejas y compuertas se medirán como unidades únicas, completamente instaladas y probadas a los precios respectivos que se indiquen en el presupuesto del Proyecto constructivo.

### **5.10 Tubería forzada**

La tubería forzada será de acero al carbono soldada con doble cordón de soldadura interior y exterior. La calidad de acero será ST-42-2.

Los tubos dispondrán de protección interior compuesta por una mano de pintura Epoxi de 200 micras previo granallado de su superficie.

Para el montaje de esta tubería, una vez soldada y anclada la misma, se procederá a proteger mediante el tratamiento descrito en el párrafo

anterior las zonas que hayan podido quedar afectadas en el montaje así como en las zonas de unión.

La medición y abono de esta tubería se realizara per metros lineales realmente montados, al precio especificado en el presupuesto del proyecto constructivo.

### **5.11 Generador**

El generador dispondrá de una placa de identificación de características con los siguientes datos como mínimo: nombre del fabricante, tipo del generador, número de serie, potencia y frecuencias nominales, velocidad de giro en r.p.m., tensión y peso. Las características habrán de ajustarse a las especificaciones del proyecto constructivo y serán la base para las pruebas de funcionamiento y, en su caso, aceptación o rechazo del equipo. El generador se medirá como unidad única, tal y como se describe en el párrafo anterior y se abonara al precio del Presupuesto del Proyecto constructivo.

### **5.12 Transformador**

El transformador dispondrá de una placa de identificación y características en la que figuraran al menos los siguientes datos: nombre del constructor, tipo del transformador, numero de serie, potencia y frecuencias nominales, tensiones y peso, y relación de transformación.

La máquina deberá haber sido ensayada de acuerdo con la reglamentación vigente, de manera que se garantice su perfecto funcionamiento.

El equipo descrito se medirá como una unidad completa, una vez instalado y probado, y se abonará el precio que figure en el presupuesto del proyecto constructivo.



### **5.13 Celdas para alta tensión**

Los cuadros eléctricos de alta tensión, se alojarán en armarios metálicos, construidos a base de chapa de acero plegada, soldada y pintada, de diseño normalizado, auto portante y compartimentado.

Las características de estos armarios serán:

- Tensión nominal 24 kV.
- Nivel aislamiento 125/50 kV.
- Frecuencia 50 HZ.
- Grado de protección IPH3

Los armarios estarán provistos de resistencias calefactoras anti condensación, y sus dimensiones se definirán en los planos correspondientes.

Los elementos citados se medirán y abonaran en las condiciones de definición de las correspondientes unidades en el presupuesto del proyecto.

### **5.14 Aparellaje y conductores para alta tensión**

Se utilizarán interruptores automáticos para protección y desconexión en carga de la central. Sus principales características serán:

- Dieléctrico: hexafluoruro de azufre.
- Tensión nominal: 24 KV.
- Intensidad nominal: 630 A.
- Tensión de prueba (50 Hz): 55 KV.
- Tensión de prueba (Impulso): 125 KV.

El accionamiento será por muelles, con carga por motor de 24 V, y estarán provistos de bobinas de apertura y cierre de corriente continua e indicadores de estado.

Los seccionadores se utilizarán exclusivamente para cortes en vacío y sus principales características serán las mismas que las de los interruptores automáticos.

Los seccionadores estarán provistos de cuchillas de puesta a tierra y su accionamiento será manual.

Los materiales para conductores deberán ser productos normales de fabricantes de reconocida solvencia. Cuando se requieran dos o más unidades de un mismo material, deberán ser producto de un mismo fabricante.

Los conductores sin aislar serán de electrolítico duro, de los diámetros que se fijen para cada caso en particular, perfectamente cilíndricos y de resistencia mecánica uniforme.

En los casos en que por algún motivo especial pueda sustituirse el cobre por aluminio o aleaciones ligeras, la Dirección Facultativa de la obra será la encargada de autorizar dicha sustitución.

Para cables subterráneos se utilizarán conductores tipo RHV, para una tensión de 24 kV, de las secciones adecuadas para cada aplicación.

Los elementos citados formarán parte de otras partidas globales incluidas en el presupuesto del proyecto constructivo, abonándose las unidades completas al precio correspondiente.

### **5.15 Aparellaje y conductores para baja tensión**

Los materiales a emplear deberán ser productos normales de fabricantes de reconocida solvencia. Cuando se requieran dos o más unidades de un mismo material, deberán ser producto de un mismo fabricante.

Los aparatos de medida se suministrarán en cada caso en la forma, dimensiones y características que se especifiquen. Serán empotrables, de formas cuadradas o rectangulares, con suficiente sensibilidad y provistas de amortiguadores.

Podrán ser de precisión o industriales, de acuerdo con cada aplicación en concreto. Los aparatos de precisión con fuerza antagonista mecánica deberán estar dotados de un dispositivo que permita la corrección del índice "0", en reposo.

Todos los materiales comprendidos en este apartado deberán haber sido sometidos a las pruebas de tensión, aislamiento, resistencia al calor y mecánica, fusión y cortocircuitos exigidas a esta clase de material en las normas V.D.E. y recomendaciones de la A.E.E.

En cada instalación se efectuará una red de tierra. El conjunto de líneas y tomas de tierra tendrán unas características tales, que las masas metálicas no podrán ponerse a una tensión superior a 24 V, respecto de la tierra. Todas las carcasas de aparatos de alumbrado, así como enchufes, etc., dispondrán de su toma de tierra, conectada a una red general independiente de la de los centros de transformación y de acuerdo con el reglamento de baja tensión.

Los conductores serán de cobre, con aislamiento tipo RV o CV, para una tensión de 1 kV y de las secciones adecuadas para cada aplicación.

Se dispondrán conductores de diversos colores, de manera que sea posible una clara diferenciación de los diferentes circuitos.

Los elementos citados formaran parte de otras partidas globales incluidas en el presupuesto del proyecto, abonándose las unidades completas al precio correspondiente.

#### **5.16 Ejecución de unidades de obra no previstas, indefinidas o no especificadas**

La ejecución de unidades de obra no previstas, indefinidas o no especificadas pero de necesaria realización para el desarrollo de los trabajos será obligatoria para el contratista según las instrucciones del Ingeniero Director en base a las definiciones y descomposiciones del proyecto. Los nuevos precios se basaran en las mismas condiciones económicas que los precios del contrato.

Todas las obras y/o trabajos no especificados en el presentes pliego se ejecutarán con arreglo a lo que la costumbre ha sancionado como buena práctica de la construcción, siguiendo cuantas indicaciones de detalle fije la Dirección de Obra según la interpretación del pliego.

Se estará además a lo dispuesto o recomendado por los diversos fabricantes o suministradores de materiales o elementos en los que sea de aplicación. A estos efectos, el contratista vendrá obligado a realizar cada unidad de obra o emplear los materiales correspondientes en las condiciones fijadas por los respectivos fabricantes, salvo ordenes en contra del Director de Obra.

### **5.17 Medios auxiliares**

Todas las unidades de obra comprendidas en este Proyecto incluyen en su precio respectivo todos los medios auxiliares necesarios, tanto para la construcción de estas, como para garantizar la seguridad personal de las operaciones, no teniendo derecho el contratista, bajo ningún concepto, a reclamación para que se le abone cantidad alguna por los gastos que puedan ocasionarle los medios auxiliares, siendo de su absoluta responsabilidad los daños y perjuicios que puedan producirse tanto en las obras como en los operarios por falta, escasez o mal empleo de estos en la construcción de las mismas, según lo previsto y definido en el presente pliego.

Si el peticionario acordase prorrogar el plazo de ejecución de las obras, o no pudieren recibirse a su terminación por defectos de las mismas el contratista no tendrá derecho a reclamación alguna so pretexto de mayores gastos en la conservación y vigilancia de las obras.

Quedan igualmente comprendidos todos los gastos imprevistos que puedan resultar de los trastornos atmosféricos, climatología, terrenos movedizos, flojos o excesivamente duros, abundancia de agua, etc.

### **5.18 Modo de abonar las obras concluidas y las incompletas**

Las obras concluidas o ejecutadas con sujeción a las condiciones del contrato se abonaran con arreglo a los precios del epígrafe presupuesto del proyecto.

Cuando por consecuencia de rescisión de contrato o por otra causa fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicaran los precios descompuestos que procedan sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra fraccionada en otra forma que la establecida en dicho Cuadro.

En ningún caso tendrá derecho el contratista a reclamación alguna fundada en la insuficiencia de los precios de los Cuadros o en omisión del coste de cualquiera de los elementos que constituyen los referidos precios.

Si algún material o unidad de obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato o instrucciones del Director y fuese sin embargo admisible a juicio del Ingeniero Director, podrá ser recibida provisionalmente quedando el contratista obligado a aceptar el nuevo precio o partida que a tal efecto fije el Director de Obra, con los criterios establecidos en este pliego.

**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **ESTUDIO SEGURIDAD Y SALUD**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

## ÍNDICE

6 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	174
6.1 Objeto del Plan de Seguridad y Salud	174
6.2 Disposiciones legales de aplicación	174
6.3 Datos generales de la obra	176
6.3.1 Unidades Constructivas que Componen la Obra	176
6.3.2 Maquinaria y Medios Auxiliares	177
6.3.3 Instalaciones Provisionales de Obra	177
6.4 Análisis de Riesgos	177
6.4.1 Riesgos en demoliciones, movimientos de tierras y hormigonado	177
6.4.2 Riesgos en tuberías y Accesorios	179
6.4.3 Riesgos en obras de fábrica	179
6.4.4 Riesgos en maquinaria y medios auxiliares	180
6.4.5 Riesgos Eléctricos	181
6.5 Medidas de Prevención y Protección	181
6.5.1 Medidas de prevención en demoliciones, movimientos de tierras y hormigonado	181
6.5.2 Medidas de prevención en tuberías y Accesorios	183
6.5.3 Medidas de prevención en obras de fábrica	184
6.5.4 Medidas de prevención en maquinaria y medios auxiliares	185
6.5.5 Medidas de prevención en trabajos eléctricos	189
6.6 Medidas de Protección personales y colectivas de la Obra	191
6.6.1 Protecciones personales	191
6.6.2 Protecciones colectivas	192
6.7 Servicios e instalaciones en la obra	193
6.7.1 Servicio técnico de seguridad e higiene	193
6.7.2 servicios médico y de higiene	194
6.7.3 Vigilante y comité de seguridad e higiene	195
6.8 Instrucciones en Caso de Emergencia	195
6.9 Participación de los Trabajadores	196

## **6 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

### **6.1 Objeto del Plan de Seguridad y Salud**

El real Decreto 1627/97 de 24 de Octubre, impone la obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad y Salud en los proyectos de construcción en que así lo indique.

Este mismo Real Decreto establece que en aplicación de este estudio, el contratista queda obligado a elaborar un plan de Seguridad y Salud en que se analicen, desarrollen y contemplen, en función del sistema de ejecución de la obra, las previsiones y medidas preventivas contenidas en el Estudio de Seguridad y Salud. Por ello se redacta el presente plan de seguridad y salud, con el fin de establecer los medios y regular las actuaciones, para todas las obras que se deriven de la rehabilitación de la antigua minicentral hidroeléctrica de Ventureira, en el cauce del río Eume.

En el presente plan se propone, siguiendo las directrices del Estudio de Seguridad y Salud:

- Potenciar al máximo los aspectos preventivos en la ejecución de la obra, para garantizar la salud e integridad física de los trabajadores y personas del entorno. Para ello se han de evitar las acciones o situaciones peligrosas por imprevisión, falta o insuficiencia de medios, siendo preciso por lo tanto:
- Detectar a tiempo los riesgos que se derivan de las actividades de las obras.
- Aplicar técnicas de trabajo que reduzcan en lo posible estos riesgos.
- Prever medios de control para asegurar en cada momento la adopción de las medidas de seguridad necesarias.
- Interesar a cuantos intervienen en la obra para que participen en la consecución de los objetivos previstos, mediante la formación e información a todos los que participen en la obra.

### **6.2 Disposiciones legales de aplicación**

- Estatuto de los trabajadores.



- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.M. 9 de marzo de 1.971. B.O.E. de 16 de marzo de 1.971).
- Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (O.M. 9-3-71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Decreto 432171 11-3 71).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (O.M. 20-5-52. B.O.E. de 15 de junio de 1.952).
- Reglamento de servicios Médicos de Empresa (O.M. 21-11-59. B.O.E. de 26/11/59)).
- Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica (O.M. 28-8-70. B.O.E. 5, 7, 8 y 9 de septiembre de 1.970).
- Reglamento de Explosivos (R. D. 2.114178 2-3-78).
- Homologación de Medios de protección Personal de los Trabajadores (O.M.17-5-74. B.O.E. de 29 de mayo de 1.954).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (O.M. 20-9-73).
- Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión (O.M. 28-11-68).
- Reglamento de Aparatos Elevadores para Obras (O.M. 23-5-77).
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación (R.D. 3.275/82).
- Real Decreto 13/1.992, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación (B.O.E. NO 27 DE 31 DE ENERO DE 1.992).
- Reglamento de Recipientes a Presión (Decreto 2.443/69 16-8-69).
- Real Decreto 39/1.997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 485/1.997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. (B.O.E. NO 97 de 23 de abril de 1.997).

- Real Decreto 486/1.997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. (B.O.E. NO 97 de 23 de abril de 1.997).
- Real Decreto 487/1.997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbar, para los trabajadores. (B.O.E. NO 97 de 23 de abril de 1.997).
- Real Decreto 1.621/1.997, de 24 de octubre, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- MOPU. Orden Ministerial sobre Señalización, balizamiento, defensa, limpieza y terminación de obras fijas en vías fuera de Poblado. Agosto 1.987.
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción.
- Cuantas disposiciones de cualquier rango que afecten a la seguridad de los trabajadores, a los medios materiales y personales, etc., que sean publicadas y entren en vigor durante la ejecución de las obras.
- Recomendaciones y Normas de seguridad sobre instalación y montaje de los equipos y maquinaria suministrados: turbina, generador, transformadores, etc.

### **6.3 Datos generales de la obra**

#### **6.3.1 Unidades Constructivas que Componen la Obra**

- Excavaciones y movimientos de tierras.
- Rellenos con gravas y escolleras.
- Hormigones.
- Albañilería.
- Instalación de tuberías.
- Equipos electromecánicos.
- Equipos electrohidráulicos.

### **6.3.2 Maquinaria y Medios Auxiliares**

La maquinaria sujeta al presente estudio, contempla no sólo la maquinaria aportada por el contratista, sino por la de sus posibles subcontratistas y por los suministradores de los distintos materiales que se deban incorporar a la obra. Entre esta cabe destacar la siguiente:

- Retroexcavadora.
- Camión basculante con grúa.
- Camión hormigonera.
- Maquinaria de compactación (Rodillos vibradores, pisones).
- Compresor (martillo, pistolete).
- Grupos electrógenos.
- Escaleras de mano.
- Herramientas de mano (taladradoras, llaves, etc...)

### **6.3.3 Instalaciones Provisionales de Obra**

- Caseta del aseo.
- Caseta vestuario.
- Caseta almacén.

## **6.4 Análisis de Riesgos**

### **6.4.1 Riesgos en demoliciones, movimientos de tierras y hormigonado**

- Rotura del equipo picador
- Rotura del puntero
- Proyección de objetos y partículas
- Ruido ambiental

- Vibraciones
- Polvo ambiental
- Golpes con la máquina
- Atrapamiento por la máquina
- Rotura de otros servicios subterráneos
- Los propios del uso y mantenimiento de la máquina
- Vuelcos y deslizamientos de vehículos y máquinas
- Desprendimiento de tierras en coronación de zanjas por formación de cargas excesivas.
- Verticalidad excesiva, de la excavación y ruina total por falta de entibado
- Vibraciones (hundimientos, socavones)
- Acción destructora de agua o hielo
- Caídas de distinto nivel
- Caídas del mismo nivel
- Caídas de objetos y herramientas a la zanja
- Atropellos
- Colisiones entre vehículos y entre máquinas
- Inundación de zanja por rotura de otras conducciones
- Atropello por máquinas y vehículos al realizar maniobras de marcha atrás
- Caídas distinto nivel, al subir y bajar de los vehículos
- Lesiones del aparato respiratorio
- Quemaduras
- Dermatitis por contacto con cemento

- Golpes por materiales

#### **6.4.2 Riesgos en tuberías y Accesorios**

- Caída de tuberías suspendidas en la descarga
- Atrapamientos con los tubos
- Caída a la zanja del camión o personas
- Derrumbe de tuberías si no se apilan correctamente
- Rotura de eslingas
- Rotura manguito grúa-camión
- Golpes con la tubería
- Ruidos
- Caída de materiales, piedras y herramientas
- Caída al mismo y distinto nivel
- Vuelco de maquinaria
- Sobreesfuerzos en el entubado
- Los derivados del trabajo realizados en ambiente húmedo
- Sobreesfuerzo en el manejo de piezas de montaje
- Atrapamientos y golpes con las piezas de montaje

#### **6.4.3 Riesgos en obras de fábrica**

- En la recepción, posible caída de materiales
- Los derivados del manejo de material de obra
- Caídas al mismo y distinto nivel
- Atrapamientos

- Aparición de procesos patológicos que afecten a la piel
- Salpicaduras al hormigonar
- Los derivados del uso de las herramientas
- Desprendimientos
- Lesiones en la piel
- Lesiones en las vías respiratorias

#### **6.4.4 Riesgos en maquinaria y medios auxiliares**

- Atropellos y colisiones con retroexcavadora y camión
- Caídas desde retroexcavadora o camión
- Puestas en marcha intempestivas
- Rotura del circuito hidráulico
- Los propios de averías por falta de mantenimiento
- Electrocutión en grupos electrógenos
- Incendios al guardar combustibles dentro de las máquinas
- Vuelcos por fatiga del terreno en las proximidades de zanjas.
- Vertidos de escombros por excesiva carga.
- Vertidos hormigón por carga excesiva
- Caídas a la zanja en el manejo de la canaleta
- Rotura del disco de corte en radiales
- Reventón de mangueras en compresores neumáticos
- Golpes con la manguera al soltarse un acoplamiento de aire comprimido
- Caída del martillo picador sobre los pies
- Ruidos y vibraciones

- Afecciones aparato respiratorio, por trabajar cerca del tubo de escape
- Electrocutión en soldadura eléctrica
- Incendios por caída de chispas sobre material combustible en soldadura
- Quemaduras en trabajos de soldadura y corte por radial
- Proyección de partículas y materiales al cortar con radiales o soldar
- Radiaciones durante la soldadura
- Electrocutión por contactos con tendidos eléctricos aéreos en el uso de grúas
- Rotura del cable de grúa

#### **6.4.5 Riesgos Eléctricos**

- Quemaduras
- Paro respiratorio
- Anulación de la capacidad pulmonar
- Asfixia
- Fibrilación ventricular

### **6.5 Medidas de Prevención y Protección**

#### **6.5.1 Medidas de prevención en demoliciones, movimientos de tierras y hormigonado**

- Se evitará el acopio de materiales y toda circulación de vehículos pesados a una distancia inferior a 2 m. del borde de la zanja.
- En excavaciones de zanjas profundas se evitará la excesiva verticalidad o se procederá a su correcta entibación en caso necesario.
- Se inspeccionará las paredes de las zanjas después de la interrupción de la obra por más de un día o cuando los agentes atmosféricos (lluvia torrencial, helada) hagan presencia.

- La carga de tierras o escombros de los camiones se distribuirá correctamente y nunca se sobrepasará el peso máximo admitido por el vehículo.
- Se parará la obra ante la presencia de líneas eléctricas enterradas. Se procederá a su estudio, describiendo su traza y profundidad. Estos trabajos de descubrimientos de líneas eléctricas se realizarán manualmente por los operarios y convenientemente protegidos contra el riesgo de electrocución. Solo se reanudará los trabajos cuando el problema haya sido resuelto. Lo mismo cabe decir cuando se trate de otros servicios públicos subterráneos.
- Queda totalmente prohibido permanecer en el radio de acción de la retroexcavadora cuando está trabajando.
- Durante la carga de tierras en el camión, el conductor de este permanecerá fuera del radio de acción de la retroexcavadora o pala cargadora y colocará los topes a las ruedas del camión.
- Las señales para las maniobras de los camiones se dirigirán por una sola persona, la cual estará situada en lugar visible para el conductor del camión y a la vez en lugar seguro para el mismo.
- En el transporte de tierras o escombros del camión al vertedero, el conductor extenderá la malla para evitar caída de materiales en la vía pública.
- El escombros procedente de la zanja se depositará en la zona izquierda según avance la excavación hasta su evacuación.
- Las mediciones de profundidad de la zanja se realizarán desde la parte superior de ésta.
- No se dejarán piedras u otros materiales al borde de la zanja.
- Si se hace descender a la zanja se utilizarán las escaleras de mano apropiadas a la profundidad de la zanja. La escalera se revisará perfectamente antes del uso.
- En los trabajos a realizar en el interior de la zanja, la distancia mínima entre los operarios será de 1m.



- Si existe una pendiente excesiva, se formará un retablo para que actúe como tope a los vehículos.
- En el relleno de zanjas con arena de aportación, los trabajadores se situarán en zona segura y las maniobras de marcha atrás del camión serán dirigidas por un solo operario. Asimismo, se establecerán topes en el borde de la zanja para evitar la caída del camión en zanja.
- Si la excavación de zanja es en campo abierto, los caminos de acceso se regarán periódicamente para evitar la formación de polvo.
- Los jefes de obra y personal que supervisan el nivel de calidad de los trabajos en ejecución se mantendrán en zona segura. En los casos de pruebas o muestras para laboratorios, señalarán debidamente su zona de trabajo.
- Se prohíbe cambiar de marcha a los rulos vibradores cuando están en movimiento.
- Previamente al vertido de hormigón por canaleta, el camión hormigonera instalará topes en las ruedas para evitar el deslizamiento.
- Las maniobras de aproximación del camión para el vertido de hormigón se realizarán por una sola persona.
- Se prohíbe el vertido de hormigón durante el cambio de posición del camión hormigonera.
- Se impone el uso del equipo de protección individual en cada fase del trabajo.
- En las operaciones de asfaltado se aplicarán las mismas normas, en cuanto a vertido y compactación que hemos descrito anteriormente.

### **6.5.2 Medidas de prevención en tuberías y Accesorios**

- En el despliegue de la grúa montada sobre el camión, o en el de la grúa autopropulsada, se observará el tendido eléctrico existente para evitar el riesgo de electrocución.
- Las grúas tendrán la capacidad suficiente para la descarga de las tuberías.

- Se utilizarán eslingas homologadas y de resistencia adecuada.
- Se prohíbe el paso o permanecer debajo de las cargas suspendidas a los operarios.
- Se usará una cuerda para el movimiento de las tuberías.
- La grúa llevará la tubería lo más próximo al suelo, y el personal sólo se acercará para ayudar manualmente cuando la tubería esté apoyada dentro de la zanja.
- Se colocarán cuñas de madera de forma que no se muevan los tubos accidentalmente cuando estén alineados.
- Si es necesario apilar la tubería, se realizará con sumo cuidado para evitar el derrumbe.
- Se prohíbe al personal andar por encima de los tubos.
- Se mantendrá limpia la zanja de piedra u otros materiales, así como el borde de la zanja.
- Uso obligatorio del equipo de protección individual.

### **6.5.3 Medidas de prevención en obras de fábrica**

- Extremar la higiene personal en el manejo del cemento. En caso necesario, usar cremas de mano protectoras.
- Utilizar escalera de mano y andamios de altura precisa. Previamente ha de revisarse su estado.
- No dejar herramientas o materiales al borde de las arquetas, o en escaleras y andamios.
- Utilizar porta-herramientas para el traslado de las herramientas a distinto nivel.
- Se utilizarán redes para evitar caídas de los andamios.
- Se colocarán vallas alrededor de las arquetas y zanjas.

#### **6.5.4 Medidas de prevención en maquinaria y medios auxiliares**

- Antes de poner la máquina excavadora o camión en movimiento, el operador se cerciorará de que no existe nadie en las proximidades que pueda ser atropellado. Para ello, también, es una buena costumbre tocar el claxon antes del inicio de la marcha.
- Se accederá a la máquina por el lugar previsto para ello.
- Antes de poner en marcha la retroexcavadora o camión, se comprobará la posición neutra de todos los mandos.
- Queda totalmente prohibido transportar personas en la retro, si no existe asiento para ello.
- En maniobras de marcha atrás, es imprescindible mirar siempre y de forma continua en dirección de la marcha.
- Al abandonar la cabina, por un corto periodo de tiempo, se procederá a descender todo el equipo al suelo y colocar el freno de estacionamiento. Cuando la ausencia se prevea por un periodo de tiempo mayor, además se procederá a apagar el motor.
- En caso de que la máquina quede atascada por el barro, o se pare por avería, para remolcarla se utilizará eslingas lo más resistentes posibles. Durante la operación queda prohibido permanecer en el radio de acción del cable en caso de rotura.
- No guardar combustibles dentro de las máquinas, puesto que se pueden incendiar.
- Mantener las máquinas en perfecto estado de mantenimiento. Se evitarán muchos riesgos de accidente.
- Antes del inicio de la jornada revisar las máquinas (combustible, nivel de aceite, batería etc...), de este modo podrá detectarse alguna avería.

- Si hay contactos por cables eléctricos se alejará la máquina del lugar, interrumpiendo el contacto y se saltará de la misma sin tocar a la vez el suelo con ésta.
- Utilizar ropa sin ceñir y no utilizar objetos de adornos (cadenas, anillos) que puedan engancharse en los controles.
- No sobrepasar nunca el límite de carga útil de la retroexcavadora o camión.
- Mantenerse fuera del camión y del radio de acción de la retroexcavadora cuando se realizan operaciones de carga.
- Acceder a la cabina por los puntos diseñados para el efecto y hacerlo siempre de frente.
- Mantenimiento de la grúa, revisando manguitos, posibles fugas, etc.. se evitarán accidentes.
- Tener muy en cuenta la distancia mínima de seguridad ante los tendidos eléctricos cuando se maneja la grúa o el basculante, evitaremos que se forme el arco y por tanto el riesgo de electrocución.
- Extender la malla cuando se transporta escombros con tierras, evitaremos el riesgo de caída de materiales.
- No utilizar la grúa para el ascenso o descenso de personas a la zanja.
- Prohibido, el manejo de la grúa a personas no especializadas en el uso de ésta.
- No estacionar maquinaria o desplazarse a menos de 2 metros de la zanja, si ésta no tiene la oportuna entibación.
- En el uso del camión, se pondrán los topes a los frenos para realizar la descarga. Esta nunca se realizará moviéndose el camión.
- En camión hormigonera sólo habrá una persona a cargo de la canaleta. El resto de operarios mantendrá una distancia mínima de seguridad para evitar salpicaduras del hormigón, y no actuarán en el hormigón hasta la total descarga en la zona concreta.

- En hormigonera se evitará la limpieza de la cuba y canaletas en la proximidad del tajo.
- En camiones hormigonera no se llenará en exceso la cuba para evitar derrames innecesarios en la vía pública.
- Cuando el operario tenga que hacer alguna labor en las proximidades del compresor, lo hará con los cascos auriculares puestos. En un radio inferior a 5 metros es obligado el uso de éstos.
- Las operaciones de mantenimiento del compresor se harán con éste parado. Antes de ponerlo en marcha se calzarán sus ruedas, así se evitarán desplazamientos no deseados.
- Quedará totalmente prohibido realizar trabajos en las proximidades del tubo de escape de las máquinas.
- Las mangueras deben estar correctamente alineadas para evitar tropezar con ellas.
- Si las mangueras pueden estar atrapadas por las ruedas de los vehículos, se protegerán mediante tubería de acero.
- Se desecharán mangueras agrietadas o desgastadas.
- Los empalmes de las mangueras estarán realizados con sumo cuidado y reforzados con latiguillos.
- Cuando las zonas de trabajo están en la misma vertical queda totalmente prohibido trabajar los operarios a distinto nivel.
- Antes de desmontar un martillo se cerrará el paso de aire comprimido por el compresor.
- En los grupos electrógenos las operaciones de mantenimiento se harán con el grupo apagado.
- El grupo electrógeno se calzará cuando se ponga en funcionamiento.

- Se observará la salida de tensión al conectar una máquina. Comprobar que ésta se conecta a su voltaje de funcionamiento que recomienda el fabricante.
- En trabajos de soldadura la alimentación de energía eléctrica se hará a través de un cuadro eléctrico con sus protecciones diferenciales.
- Limpiar la zona de soldadura de materiales combustibles, puesto que se provocaría un incendio por salto de la chispas.
- La pinza y el electrodo se apoyarán en un soporte aislante cuando se interrumpa el trabajo.
- Los cables de las máquinas eléctricas estarán alineados de forma correcta.
- Quedará totalmente prohibido utilizar cable en estado deteriorado y nunca realizar empalmes directos.
- Uso obligatorio de gafas de seguridad, chaqueta, polainas y guantes.
- Uso de gafas de protección al utilizar la radial o amoladora.
- Las herramientas se mantendrán en perfecto estado de limpieza, y se revisarán para detectar desgastes o defectos.
- Si hay que unir herramientas en tramos, la unión de los distintos elementos tiene que ser firme y segura.
- Los mangos y empuñaduras serán de las dimensiones adecuadas marcadas por el fabricante.
- Mantener perfectamente afiladas las partes cortantes o punzantes.
- Mantener ordenadas la caja portaherramientas. Una vez utilizada la herramienta dejarla de nuevo en la caja.
- No dejar herramientas al borde de la zanja, o en altura que puedan caer sobre otros trabajadores.

### **6.5.5 Medidas de prevención en trabajos eléctricos**

- Las instalaciones de tensión eléctrica deben apartarse de los lugares de trabajo o del paso de personas. Además, se recubrirán con aislamiento apropiado.
- Las masas deben estar unidas eléctricamente a una toma de tierra interconectada que tengan una resistencia apropiada. La puesta a tierra evita los contactos indirectos de los trabajadores con la energía eléctrica. Asimismo, el uso de interruptores diferenciales protege igualmente frente a estos contactos.
- Tanto en corriente alterna como continua, se instalarán uno o varios dispositivos de seguridad:
  - De corte automático o de aviso: sensibles a la corriente de defecto (interruptores diferenciales) o a la tensión de defectos (relés de tierra).
  - Unión equipotencial o por superficie aislada de tierra o de masas (conexiones equipotenciales).
  - Separación de los circuitos de utilización de las fuentes de energía por medio de transformadores o grupos convertidores, manteniendo aislados de tierra todos los conductores del circuito de uso, incluido el neutro.
  - Por doble aislamiento de los equipos y máquinas eléctricas.
- La instalación eléctrica no deberá entrañar riesgo de incendio o explosión.
- Se pondrán a tierra las masas del aparato de soldadura y no de los conductores del circuito de utilización.
- Deberán estar aislados de la superficie exterior de los porta electrodos, sus mandíbulas y sus manos.
- Si el local en que se efectúa el trabajo de soldadura es muy conductor, no se emplearán tensiones superiores a 50 voltios, o en todo caso, la tensión en vacío entre el electrodo y la pieza a soldar no será mayor de 90 voltios en corriente alterna o de 150 voltios en continua.
- El equipo de soldadura, el soldador y sus ayudantes dispondrán y utilizarán viseras, capuchones o pantallas para la protección de su vista.

- Manoplas para la protección de las manos, mandiles de cuero y botas.
- Se mantendrá la humedad relativa del aire sobre un 50%
- Se neutralizarán por medio de conductores a tierra las cargas de electricidad estática acumuladas en los cuerpos metálicos.
- Las herramientas eléctricas portátiles estarán alimentadas por una tensión no superior a 24 voltios, a no ser que lo sean a través de un transformador de separación de circuitos. Se evitará el empleo de cables de alimentación largos.
- Los cables de alimentación de las herramientas eléctricas portátiles estarán protegidos con material resistente, que no se deteriore por roces o torsiones.
- Las lámparas eléctricas portátiles se alimentarán cuando se empleen sobre suelos, o superficies buenas conductoras, a una tensión no superior a 24 voltios, a no ser que lo sean también a través de un transformador de aislamiento.
- Recomendaciones generales para realizar trabajos en instalaciones de alta tensión:
  - Para evitar el cierre intempestivo se abrirán con corte visible todas las fuentes de tensión mediante interruptores y seccionadores.
  - Los aparatos de corte se enclavarán o bloquearán.
  - Reconocimiento de la ausencia de tensión.
  - Poner a tierra y en cortocircuito todas las posibles fuentes de tensión.
  - Se debe dejar sin tensión los conductores y aparatos contenidos en las celdas de una instalación eléctrica antes de abrir o retirar los resguardos de protección y viceversa.
  - Cuando las condiciones meteorológicas sean adversas (en el caso de tormentas próximas) se suspenderán los trabajos.
  - Si para la ejecución de trabajos es necesario mover los conductores de forma que puedan entrar en contacto (en las líneas de 2 o más circuitos), no se realizarán en uno de ellos mientras que el otro este en tensión.



- Si se utilizan vehículos dotados de cabrestantes o guías, el conductor deberá evitar el contacto con las líneas de tensión y la excesiva cercanía al poderse producirse una descarga a través del aire. De cualquier manera, los restantes operarios permanecerán alejados del vehículo y en el caso de que por accidente los elementos elevados del vehículo entraran en contacto con las líneas en tensión, el conductor permanecerá en el interior de la cabina hasta que se elimine el contacto.

## **6.6 Medidas de Protección personales y colectivas de la Obra**

Todo elemento de protección se ajustara a las normas de Homologación del Ministerio de Trabajo o Consellería competente de la Xunta de Galicia, siempre que exista en el mercado. En el caso de que no exista norma de homologación, serán de la calidad adecuada a sus respectivas prestaciones.

Para todas las prendas de protección se fijara un periodo de vida útil, desechándose a su término. Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido de lo previsto de una determinada prenda o equipo, se repondrá esta, independientemente de su duración prevista inicialmente.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato limite o que por su use haya adquirido unas holguras o tolerancias superiores a las máximas admitidas por el fabricante, deberá ser desechada y repuesta al momento.

El uso de una prenda o equipo de protección nunca representará un riesgo en sí mismo.

Una vez expuestos tanto los riesgos profesionales como los daños a terceros, es imprescindible la implantación de medidas de protección individuales y colectivas en la realización de la obra:

### **6.6.1 Protecciones personales**

Todas las personas que participen directamente en la obra o que circulen por las zonas o recintos en que se desarrolla, incluidos los visitantes ocasionales, deberán estar provistas de casco.

Asimismo, y en función de la actividad concreta que realice, el personal de obra utilizara las siguientes protecciones, según el caso:

- Prendas reflectantes.
- Botas de seguridad de lona (Clase III).
- Botas de seguridad de cuero (Clase III).
- Botas impermeables al agua y a la humedad.
- Guantes de cuero.
- Guantes de goma.
- Guantes de soldador.
- Guantes anticorte.
- Cinturones de seguridad para trabajos en altura.
- Mascarillas antipolvo.
- Gafas contra impactos y antipolvo.
- Protectores auditivos.
- Pantallas de seguridad para soldadura.
- Polainas de soldador.
- Manguitos y mandiles de cuero.
- Trajes de agua.
- Gafas de soldadura autógena.
- Trajes ignífugos.

### **6.6.2 Protecciones colectivas**

En este apartado describiremos y estudiaremos las medidas de protección colectiva que implantaremos en esta obra, entre las cuáles destacamos:

- Implantación de la señalización provisional de la obra según la normativa vigente.
  - Implantación de carteles indicativos de advertencia de riesgos, obligación, prohibición y salvamento según la normativa vigente.
  - Aislamiento de la zona de obra mediante el acordonado con vallas metálicas de 2,5 m. " tipo Ayuntamiento" y cinta de balizamiento.
  - Interruptores diferenciales y tomas de tierra
  - Extintores
  - Topes de desplazamiento de vehículos
  - Pasillos de seguridad
  - Barandillas
  - Redes de seguridad
  - Lonas
- Con estas normas, pretendemos conseguir:
- Protección máxima para el público.
  - Inconvenientes mínimos para el público.
  - Protección máxima para los trabajadores de la obra.

## **6.7 Servicios e instalaciones en la obra**

### **6.7.1 Servicio técnico de seguridad e higiene**

La obra deberá contar con un Técnico de Seguridad, en régimen permanente, cuya misión será la prevención de los riesgos que se puedan presentar durante la ejecución de los trabajos, así como asesorar al Jefe de Obra sobre las medidas de seguridad a adoptar en cada caso y circunstancia.

Asimismo el Técnico de seguridad investigara los accidentes ocurridos y modificara tras su análisis los condicionantes que los produjeron, para evitar su repetición.

### **6.7.2 servicios médico y de higiene**

La obra dispondrá de un Ayudante Técnico Sanitario con dedicación parcial, y la empresa constructora contará con servicio médico, propio, mancomunado o concertado.

#### Instalaciones medicas:

Se dispondrá de un local destinado a botiquín, equipado con los materiales sanitarios y clínicos necesarios para atender cualquier accidente de carácter no muy grave, además de todos los elementos precisos para que el A.T.S. pueda desarrollar su labor de asistencia a los trabajadores.

#### Instalaciones de higiene y bienestar:

En función del número considerado de operarios, se realizarán las siguientes instalaciones, que se distribuirán en las obras previstas de acuerdo con los plazos de ejecución y necesidades de las mismas.

#### Comedores:

Dispondrán de iluminación natural y artificial adecuada, ventilación suficiente y estarán provistos de mesas, asientos, pilas para lavar la vajilla, agua potable y cubos con tapa para depositar los desperdicios. En invierno estará dotado de calefacción.

#### Vestuarios:

Deberán disponer, al menos, de una taquilla con cerradura para cada trabajador, asientos y espacio suficiente para el normal desarrollo de las actividades previstas para el local.

#### Servicios:

En función del número de trabajadores, dispondrán de los siguientes elementos: inodoros, urinarios, lavabos y duchas.

### **6.7.3 Vigilante y comité de seguridad e higiene**

Se nombrará un vigilante de seguridad de acuerdo con lo previsto en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Real Decreto 1627/1997.

Asimismo se constituirá un Comité de Seguridad e Higiene cuando el número de trabajadores supere el previsto en la Ordenanza laboral de la Construcción o en su caso, lo que disponga el Convenio Colectivo correspondiente.

### **6.8 Instrucciones en Caso de Emergencia**

Se dispondrá en la caseta de un cartel dónde figurarán los siguientes números de teléfono:

- Jefe de obra
- Servicio de ambulancias más próximo
- Centro sanitario más cercano
- Servicio de incendios
- En caso de accidente grave:
- Llamar al servicio de ambulancias
- Mientras llega ésta, preste los primeros auxilios, teniendo en cuenta:
  - 1) Estar tranquilo para actuar rápidamente.
  - 2) Pensar antes de actuar.
  - 3) Dejar al herido acostado de lado o de espaldas.
  - 4) Manejar al herido con gran precaución.

- 5) Examinar bien al herido. La hemorragia y el cese de respiración deben ser tratados antes de hacer otra cosa.
- 6) No hacer más que lo indispensable.
- 7) Mantener al herido caliente (Taparlo con una manta).
- 8) No dar de beber jamás a una persona sin conocimiento.
- 9) Tranquilizar al enfermo.
- 10) Evacuar al herido acostado hacia el puesto de socorro u hospital.

### **6.9 Participación de los Trabajadores**

Al comienzo de la obra se repartirá a todos los trabajadores una copia del presente plan de Seguridad y Salud, para que los trabajadores conozcan los riesgos a que están sometidos así como la forma de evitarlos.

Quienes intervengan en la ejecución de la obra podrán presentar un documento en el que afirmen haber recibido su copia del plan de Seguridad y Salud, así como sus correspondientes medidas de protección individual, y una tarjeta de la Mutua con la que la empresa tiene contratada una póliza de accidentes y enfermedades profesionales y en el que se les insta a comunicar cualquier anomalía que pudieran observar.

**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

## ÍNDICE

7 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	199
7.1 Introducción	199
7.2 Legislación ambiental aplicable	200
7.2.1 Normativa de aplicación en materia de medio atmosférico	200
7.2.2 Normativa de aplicación en materia de calidad acústica	200
7.2.3 Normativa de aplicación en materia de calidad de aguas	201
7.2.4 Normativa de aplicación en materia de residuos	201
7.2.5 Normativa de aplicación en materia efectos ambientales	202
7.2.6 Normativa en materia de Espacios Naturales y Especies Protegidas	203
7.2.7 Normativa de aplicación en materia de pesca fluvial	204
7.3 Descripción del proyecto	204
7.4 Descripción ambiental del área de estudio	205
7.4.1 Características hidromorfológicas del cauce	205
7.4.2 Características limnológicas	207
7.4.3 Espacios naturales protegidos (P.N. Fragas do Eume)	209
7.4.4 Usos del río	210
7.5 Análisis de efectos ambientales	210
7.5.1 Ámbito del estudio	210
7.5.2 Acciones del proyecto sobre el medio atmosférico.	210
7.5.3 Acciones del proyecto sobre el medio acuático	211
7.5.4 Acciones del proyecto sobre el medio terrestre y la ribera	211
7.5.5 Acciones del proyecto sobre el medio socioeconómico y perceptual	212
7.6 Medidas preventivas y correctoras	212
7.6.1 Medidas para prevenir la afectación a las infraestructuras	213
7.6.2 Medidas para prevenir la contaminación acústica	214
7.6.3 Medidas para prevenir la contaminación del aire (emisiones)	214
7.6.4 Medidas para prevenir vertidos y derrames accidentales	214
7.6.5 Medidas para prevenir acciones al paisaje y usos recreativos	215
7.7 Plan de vigilancia	216
7.7.1 Plan de vigilancia para el río	217



## 7 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

### 7.1 Introducción

La cuenca del río Eume se encuentra situada al noroeste de Galicia, en las provincias de A Coruña y Lugo. Principalmente en los términos municipales de As Pontes de García Rodríguez, Monfero y A Capela. Dicha cuenca recoge una aportación anual media de 606,7 hm<sup>3</sup> Con una extensión de 500 km<sup>2</sup>. El río Eume desemboca directamente en la ría de Ares en el término municipal de Pontedeume y Cabanas.

Esta red hidrográfica de carácter intracomunitario pertenece a la cuenca vertiente de Galicia Costa, y en el ámbito de su gestión hidráulica a la Comunidad Autónoma de Galicia. Por ello le es de aplicación y cumplimiento la normativa dictada por la Xunta de Galicia, tanto en materia de aguas como en materia de evaluación de impactos ambientales. (Ley 8/93 de la Administración Hidráulica de Galicia, Decreto 108/96 del Reglamento del Organismo Autónomo de Aguas do Galicia, y Decreto 327/91 de Evaluación de Efectos Ambientales para Galicia, Decreto 130/97 de 14 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de ordenación de pesca fluvial y de los ecosistemas acuáticos continentales), fundamentalmente. Además son de aplicación las normas complementarias de ámbito estatal y otras de carácter sectorial que regulan aspectos relacionados con los permisos de construcción y funcionamiento de este tipo de proyectos.

También hay que considerar que, aunque no existe una normativa específica de tipo técnico acerca de donde se localizan los tramos de cuencas más adecuados para la ubicación de instalaciones de producción de energía hidroeléctrica, ni cómo deben de hacerse, el Proyecto de Directrices del Plan Hidrológico de las Cuencas de Galicia Costa establece, de forma genérica, las características que deben de cumplir los aprovechamientos hidroeléctricos en derivación encuadrándose en los criterios fijados por el P.E.N. (Plan Energético Nacional), rentabilizando al máximo las posibilidades productoras de sus ríos, y considerando entre otros los criterios siguientes:

- Valoración del caudal de equipamiento en función de las características hidrológicas del tramo afectado.

- Realización de un diseño correcto de los elementos de la instalación.
  
- Compatibilidad con otros usos existentes y los programados analizando las posibles afecciones.
  
- Teniendo en cuenta que todas las acciones de proyecto se someterán a lo dispuesto por la servidumbre ambiental.

Para el caso que nos ocupa, es necesaria la realización de un Estudio de Efectos Ambientales. Dicho documento debe clarificar las características ambientales del área de estudio, los impactos ambientales previsibles derivados de distintas acciones de proyecto y las medidas correctoras propuestas para minimizarlos.

## **7.2 Legislación ambiental aplicable**

La legislación ambiental aplicable, a nivel europeo, estatal y autonómico, en materia de calidad acústica, calidad de aguas continentales, residuos, evaluación de efectos ambientales, espacios naturales, especies protegidas y pesca, que deben cumplirse para llevar a cabo las obras de rehabilitación se indican en los siguientes puntos

### **7.2.1 Normativa de aplicación en materia de medio atmosférico**

Decreto 833/1975, de 6 de febrero que desarrolla la Ley 38/1972 de protección del ambiente atmosférico (BOE 96, de 22/04/1975).

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera (BOE 275, de 16/11/2007).

Ley Autonómica 8/2002, de 18/12/2002, de protección del ambiente atmosférico de Galicia (DOG 252, de 31/12/2002).

### **7.2.2 Normativa de aplicación en materia de calidad acústica**

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (BOE 276, de 18/11/2003). Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de

17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas (BOE 254, de 23/10/2007).

Ley Autonómica 7/1997, de 11/08/1997, de protección contra la contaminación acústica (DOG 159, de 20/08/1997).

Decreto 320/2002, de 7 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece las ordenanzas tipo sobre protección contra la contaminación acústica (DOG 230, de 28/11/2002).

### **7.2.3 Normativa de aplicación en materia de calidad de aguas**

Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de septiembre de 2006 relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces (DOCE L 264, de 25/09/2006).

Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los Títulos II y III de la Ley de Aguas (BOE 209, de 31/08/1988) (modificado mediante Real Decreto 1541/1994, de 08/07/1994).

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (BOE 176, de 24/07/2001).

Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas (BOE 19, de 22/01/2011).

Ley 9/2010, de 4 de noviembre, de Aguas de Galicia (DOG 22, de 18/11/2010).  
Real Decreto 103/2003, de 24 de enero, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de Galicia-Costa (BOE 32, 06/02/2003).

### **7.2.4 Normativa de aplicación en materia de residuos**

Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos (BOE 96, de 22/04/1998).

Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos (BOE 43, de 19/02/2002).

Real Decreto 105/2008, de 01/02/2008, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición (BOE 38, de 13/02/2008).

Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento que desarrolla la Ley 20/1986, básica de residuos tóxicos y peligrosos (BOE 182, de 30/07/1988) (modificado mediante Real Decreto 952/1997, de 20/06/1997).

Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados (BOE 132, de 03/06/2006).

Decreto 154/1998, de 28/05/1998, por el que se publica el Catálogo de Residuos de Galicia (DOG 107, de 05/06/1998).

Ley Autonómica 10/2008, de 03/11/2008, de residuos de Galicia (DOG 224, de 18/11/2008).

### **7.2.5 Normativa de aplicación en materia efectos ambientales**

Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas (BOE 103, de 30/04/1986) (modificado mediante Real Decreto 606/2003, de 23/05/2003).

Real Decreto 1131/1988, de 30 septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación del Impacto Ambiental (BOE 239, de 05/10/1988).

Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos (BOE 23, de 26/01/2008).

Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero (BOE 73, de 25/03/2010).

Decreto 442/1990, de 13 de septiembre, de evaluación del impacto ambiental para Galicia (DOG 188, de 25/09/1990).

Decreto 327/1991, de 4 de octubre, de evaluación de efectos ambientales para Galicia (DOG 199, de 15/10/1991).

Ley 1/1995, de 2 de enero, de protección ambiental de Galicia (BOE 143, de 16/06/1995).

Decreto 133/2008, de 12 de junio, por el que se regula la evaluación de incidencia ambiental (DOG 126, de 01/07/2008).

### **7.2.6 Normativa en materia de Espacios Naturales y Especies Protegidas**

Real Decreto 439/1990, de 30 de marzo, por el que se regula el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (BOE 82, de 05/04/1990).

Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (BOE 310, de 28/12/1995) (modificado por Real Decreto 1193/1998 y 1421/2006).

Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE 299, de 14/12/2007).

Decreto 211/1996, de 2 de mayo, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Parque Natural de las Fragas do Eume (DOG 110, de 05/06/1996).

Decreto 218/1997, de 30 de julio, por el que se declara el Parque Natural de las Fragas do Eume (DOG 153, de 11/08/1997).

Ley Autonómica 9/2001, de 21 de agosto, de conservación de la naturaleza (DOG 171, de 04/09/2001).

Decreto 72/2004, de 2 de abril, por el que se declaran determinados Espacios como Zonas de Especial Protección de los Valores Naturales (DOG 69, de 12/04/2004).

### **7.2.7 Normativa de aplicación en materia de pesca fluvial**

Decreto 130/1997, de 14/05/1997, por el que se aprueba el reglamento de ordenación de la pesca fluvial y de los ecosistemas acuáticos continentales (DOG 106, de 04/06/1997) (modificado por Decreto 179/2004).

Ley Autonómica 7/1992, de 24/07/1992, de pesca fluvial de la Comunidad Autónoma de Galicia (DOG 151, de 05/08/1992).

## **7.3 Descripción del proyecto**

El proyecto elaborado plantea la rehabilitación del antiguo aprovechamiento energético de A Ventureira. Para ello se plantea la reparación y limpieza del canal que en su momento alimentaba la central. También será necesaria la rehabilitación total de la casa de máquinas y la instalación de nuevos equipos electromecánicos, cuadros de control, aparamenta y demás equipos auxiliares. Así mismo se procederá a la instalación de dos tuberías de presión que alimentarán sendas turbinas.

También serán necesarias obras en la base de la actual presa del Eume para captar el caudal de 3 m<sup>3</sup>/s con el que se alimentará la central.

Está prevista además la ampliación de caminos existentes hasta la zona de obra, principalmente los accesos hasta el canal de conducción y la zona de captación en la base de la central. Todas las obras mencionadas se llevan a cabo por la margen derecha del río, a excepción de la instalación de la línea subterránea de 20Kv que discurre por el margen izquierdo hasta la subestación de la actual central hidroeléctrica del Eume.

La realización de las obras e instalaciones se ejecutarán siguiendo el criterio de máximo respeto al entorno y medio ambiente natural según se recoge y justifica en los apartados siguientes del presente Estudio de Efectos Ambientales.

#### **7.4 Descripción ambiental del área de estudio**

El río Eume discurre en su totalidad por las provincias de Lugo y A Coruña. Desemboca en la ría de Ares, en el término municipal de Pontedeume.

La ría de Ares es una de las 12 rías gallegas que conforman las Rías Altas y una de las cuatro que forman el golfo Ártabro. Se encuentra en la provincia de La Coruña, y baña los concellos de Ares, Cabanas, Fene y Pontedeume.

La ría de Ares se une a la altura de la punta Carboeria con la ría de Betanzos, formando la Ría de Ares – Betanzos. En la ría de Betanzos desaguan los ríos Mandeo y Lambre, mientras que en la Ría de Ares, desemboca el río Eume.

##### **7.4.1 Características hidromorfológicas del cauce**

El tramo de río Eume comprendido entre la presa del embalse del Eume y la Ría de Ares tiene una longitud de unos 16 km y una pendiente media de 17,3 ‰. La anchura del cauce oscila generalmente entre 10 y 20 m, si bien la lámina de agua, en la parte inicial puede quedarse en los 2-5 m en algunos puntos.

El cauce, muy encajado y levemente sinuoso, consiste en una sucesión de rápidos (con algún salto), balsas y tablas. Los rápidos y las balsas dominan en los sectores con mayor pendiente (parte superior del tramo) y las tablas en los de menor pendiente. El sustrato está formado por materiales graníticos, muy lavados y dominado por clases granulométricas gruesas (decimétricas) o muy gruesas (grandes rocas). Los limos y las gravas se encuentran limitados a zonas muy concretas donde puede producirse una cierta decantación. El cauce, en su gran parte, se encuentra poblado por un frondoso y bien conservado bosque de galería constituido por alisos, sauces (varias especies), avellanos, fresnos y abedules.

Entre la presa y la ría se puede, no obstante, distinguir dos sectores hidromorfológicamente diferenciables:

□ Sector comprendido entre la presa del embalse del Eume y la central hidroeléctrica:

Posee 3,4 km de longitud y una pendiente media del 50,2 ‰. En sus primeros 1,4 km, el cauce es particularmente abrupto y encañonado, y se encuentra muy descubierto ya que, por su naturaleza rocosa (roca madre), es poco apto para el desarrollo de la vegetación ribereña. Los 2 km siguientes hasta la central ya corren muy emboscados debido a que los materiales del cauce, con granulometría algo menor, son ya más apropiados para el asentamiento del bosque en galería y las vertientes, así como la pendiente longitudinal, son menos abruptas. Además, la regulación del caudal ha permitido que la vegetación de ribera avance sobre el cauce, cubriéndolo casi totalmente en algunas zonas. En este sector el caudal mínimo es aportado por una de las válvulas de los desagües de fondo de la presa. Este caudal río abajo, es continuo y permanente, y se va incrementando por las aportaciones de pequeños torrentes laterales permanentes, así como por otras aportaciones temporales de la cuenca vertiente propia, que se encuentra en un área particularmente lluviosa (> 1.800 mm/año).

También este sector recibe aportaciones puntuales muy importantes cuando se producen vertidos por los aliviaderos de la presa de Eume; así en la serie hidrológica de 20 años consultada, la mayor punta de caudal llegó a 235 m<sup>3</sup>/s en enero de 2001. Estos vertidos son más frecuentes e importantes en invierno (se dan en diciembre, enero y febrero en el 61% de los casos) aunque también se han producido algunos registros notables en primavera y otoño (el 31% de los casos). De junio a septiembre, ambos incluidos, no se ha registrado ningún vertido en toda la serie consultada.

□ Sector comprendido entre la central hidroeléctrica del Eume y la Ría de Ares:

Posee 9,15 km de longitud y una pendiente media de 6,2‰. El caudal aportado por la central mantiene una configuración hidromorfológica próxima a las condiciones naturales. Esto resulta favorecido por la estrechez del valle, que confina la vena de agua, y se mantiene el trazado original.

Por otro lado, el régimen de turbinación mantiene un ritmo que reproduce el rango natural más probable de caudales circulantes en el río, con caudales máximos del



orden de 26 m<sup>3</sup>/s y mínimos de unos 4 m<sup>3</sup>/s. Los caudales vertidos por aliviadero, sumados a los turbinados, han llegado a 266 m<sup>3</sup>/s en enero de 2001. Estos caudales, que siempre coinciden con las épocas de mayor turbinación, cumplen adecuadamente su papel de caudales generadores del cauce.

A lo largo de este sector se encuentran 3 azudes poco importantes. El primero a 2,14 km de la central, el segundo a 3,99 km. de la central y el tercero a 7,22 km. de la central.

#### **7.4.2 Características limnológicas**

A continuación se exponen las principales características limnológicas de los dos sectores diferenciados en el río Eume entra la presa y la ría.

□ Sector comprendido entre la presa del embalse del Eume y la central hidroeléctrica:

Los datos sobre calidad físico-química y biológica de este tramo de río, se obtuvieron en mayo de 2010. Las aguas de este sector son frías (10-16 °C en mayo de 2010), transparentes (<5 NTU), poco mineralizadas (63,8-72,6 µS/cm), prácticamente básicas (pH = 6,9), bien oxigenadas (saturación>100 %) y con concentraciones muy bajas de amonio (< 0,15 mg/l).

En cuanto a la fauna bentónica de invertebrados, se califica a este sector como bueno o muy bueno (IBMWP entre 92 y 122), excepto en la zona situada inmediatamente bajo la presa, donde la simplificación del hábitat restringe la vida a unas pocas especies. En esa zona el IBMWP es de 44, que correspondería a estado moderado.

La comunidad de peces presente en el tramo está formada por grupos de panchos (*Chondrostoma duriense*) y escalos (*Squalus caroliterti*) que se encuentran en el río inmediatamente aguas abajo de la presa. A unos 350 m más aguas abajo también se observaron adultos y alevines de trucha (*Salmo trutta*).

Cabe indicar que en el viejo azud existente al pie de presa, se identificó la presencia de tritón ibérico (*Triturus boscai*), también presente en otros puntos del primer sector, junto con rana verde común (*Rana perezi*) y sapo común (*Bufo*

*bufo*). A nivel de mamíferos cabe destacar la existencia de rastros (excrementos) de nutria (*Lutra lutra*).

□ Sector comprendido entre la central hidroeléctrica del Eume y la Ría de Ares:

Los datos presentados sobre este sector se remiten a los estudios realizados dentro del Plan de Vigilancia Ambiental del Eume, en su última edición (año 2008; julio y septiembre) referidos a la zona del Coto de Ombre.

Las aguas de este sector son también frías (12,8-14,4 °C en julio y septiembre respectivamente) debido a que llegan hasta la central del Eume desde el fondo del embalse, mediante una conducción enterrada. Son agua transparentes (<3 NTU), poco mineralizadas (67-96 µS/cm), bien oxigenadas (saturación en torno al 100 %) y con concentraciones muy bajas de amonio (<0,05 mg/L).

No se dispone de datos obtenidos de propio sobre las concentraciones en el agua, de micro elementos para este sector. No obstante, existen los análisis de control periódico que ENDESA realiza dentro del protocolo de seguimiento ambiental de la CT As Pontes. Los resultados disponibles desde 2008, con 3 campañas al año (febrero, junio y octubre), en el punto de muestreo de referencia CT-MR-7 ubicado inmediatamente aguas abajo de la CH Eume, no presentan ningún valor que supere la tabla A1 del RD 927/1988 sobre calidad de agua exigible para la producción de agua potable.

El índice de poluosensibilidad (IPS) calculado mediante las diatomeas epilíticas (fitobentos) es de 20, lo que corresponde a la categoría de “Muy buen estado”.

La fauna bentónica de invertebrados califica a este sector como bueno en julio y moderado en septiembre (IBMWP entre 62 y 43). Probablemente, estos valores más bajos que los del sector situado aguas arriba de la Central, se deban a que los primeros corresponden al año 2008, en pleno episodio de acidificación del embalse y de todo el tramo inferior del Eume, como consecuencia del vertido antes indicado en el río Chamoselo. Por el contrario, los datos del primer sector debajo de la presa corresponden a mayo de 2010, tal y como también ya se ha indicado.

Entre los peces aparece la trucha (*Salmo trutta*) y la anguila (*Anguilla anguilla*). La trucha en este tramo llega a tamaños de 30 cm, muestra una distribución de tallas equilibrada y presenta un factor de condición propio de poblaciones sin anomalías alimentarias.

Atendiendo a los objetivos de calidad para el río Eume que vienen establecidos en el Anexo VIII del Plan Hidrológico de Galicia-Costa, de Julio de 2010, elaborado por la Demarcación Hidrográfica de Galicia, los valores de elementos contaminantes medidos no superan en ningún caso los límites permitidos.

#### **7.4.3 Espacios naturales protegidos (P.N. Fragas do Eume)**

El embalse del Eume y el tramo de río aguas abajo del embalse se encuentran incluidos en el Parque Natural Fragas do Eume. Abarca 9.126 ha en las riberas del río Eume, concretamente los concejos de Cabanas, A Capela, Monfero, Pontedeume y As Pontes de García Rodríguez, todos ellos de la provincia de La Coruña. El Parque está también declarado como:

Lugar de Interés Comunitario (LIC), coincidiendo sus límites con los del parque natural.

Zona de Especial Protección de los Valores Naturales:

Posee 9 Hábitats de Interés Comunitario (Natura 2000). Uno de ellos es potencialmente afectable por el proyecto: Bosques aluviales de *Alnus glutinosa* y *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*).

El espacio protegido incluye también dentro de sus límites, total o parcialmente, a dos Puntos de Interés Geológico: "C-104 Ría de Ares", que afecta a la morfología del valle del Eume, incluido Caaveiro; y "C-20 Embalse del Eume", que subraya la morfología y el metamorfismo de contacto entre las pizarras ordovícicas y los granitos de Forgoselo. El tramo aguas abajo de la presa del embalse de Eume está catalogado como Reserva Natural dentro del Parque natural.

#### **7.4.4 Usos del río**

Con arreglo a la información que se extrae del capítulo 3 “Descripción de Usos, Demandas y Presiones” del Plan Hidrológico de Galicia Costa, los principales usos en el sistema de extracción 13 “Río Eume y Ría de Ares” son los siguientes:

- Domésticos
- Turismo y ocio (pesca)
- Regadío y usos agrarios
- Ganadería
- Industrial para la producción de energía eléctrica (centrales hidroeléctricas)

### **7.5 Análisis de efectos ambientales**

#### **7.5.1 Ámbito del estudio**

El presente estudio de efectos ambientales, de acuerdo con la descripción del medio llevada a cabo en los apartados anteriores, abarca el siguiente territorio y sistemas:

- Embalse del Eume en las proximidades de la presa
- Medio atmosférico en torno a la presa del Eume
- Río Eume hasta el inicio de la Ría de Ares

Este ámbito espacial es el que acoge los potenciales efectos de las acciones del proyecto de rehabilitación de la central de Ventureira.

#### **7.5.2 Acciones del proyecto sobre el medio atmosférico.**

Toda obra de cierta entidad genera una serie de acciones con efectos sobre el medio atmosférico, a través de las emisiones de ruidos, gases y partículas, asociadas a la maquinaria empleada y, en general a las actividades del personal de obra. Se trata, en todo caso de efectos temporales que admiten medidas preventivas eficaces.

La circulación y funcionamiento de la maquinaria de obra y de los vehículos empleados durante esta fase para el transporte de materiales y personal, instalación de equipos, así como la obra en el paramento de la presa para la instalación de la captación de agua generarán un aumento de los niveles de ruido de la zona. Estos equipos (grúas, camiones, etc.) pueden producir ruidos en torno a los 100dB(A).

En cualquier caso el ruido siempre estará producido por el funcionamiento de elementos mecánicos. En ningún caso se producirán voladuras.

Todas las acciones que incluyan el uso de vehículos y maquinaria producirán emisiones a la atmósfera en forma de gases de combustión y también de polvo. El polvo estará asociado a la circulación de vehículos, al transporte de materiales, como por ejemplo cemento y también a las obras de demolición.

### **7.5.3 Acciones del proyecto sobre el medio acuático**

Las acciones del proyecto producirán efectos, o riesgo de ellos, en todas las masas de agua del entorno: embalse, río aguas abajo del embalse y ría de Ares.

El uso de los elementos necesarios para llevar a cabo las obras de rehabilitación camiones, excavadoras, grúas, etc. conlleva un riesgo de contaminación del agua por derrames accidentales de aceites y combustibles, que afectaría no sólo a la calidad del agua sino también a la comunidad biológica del río: plancton, zoobentos y peces.

### **7.5.4 Acciones del proyecto sobre el medio terrestre y la ribera**

Si se producen vertidos y derrames, normalmente de carburantes y aceites podrán afectar negativamente a la fauna de ribera, particularmente a los mamíferos (nutria) y a las aves (mirlo acuático, martín pescador, garza real y ánade real) que necesitan introducirse en el agua para alimentarse. Los trabajos de reparación del canal también tendrán un efecto sobre la vegetación de ribera.

### **7.5.5 Acciones del proyecto sobre el medio socioeconómico y perceptual**

Todo lo relacionado con el transporte de equipos y maquinaria, instalación de los equipos de obra, demolición de equipos y válvulas antiguas y retirada de escombros y restos de obra supondrá una afección negativa al paisaje y a los usos recreativos, al tráfico local y a las condiciones de sosiego. Esta afección o efecto negativo vendrá producida por la mayor frecuentación de vehículos pesados, trasiego de personal e incremento de estructuras poco integrables en el paisaje que se añadirán a las ya existentes. La zona, aunque despoblada, es frecuentada por personas que visitan el Parque de las Fragas do Eume en busca de sosiego y disfrute de los recursos paisajísticos y naturales que este ofrece. Particularmente afectado por el proyecto en tanto duren las obras será el sendero que discurre paralelo al canal de conducción desde el embalse hasta la central.

Si se produce contaminación del río tanto por enturbiamiento del agua como por posibles vertidos y derrames accidentales de combustibles y lubricantes, darían cambios organolépticos en el agua que empeorarían notablemente la naturaleza cristalina habitual del Eume en el tramo potencialmente afectable, suponiendo un efecto negativo para el paisaje. También, estas potenciales acciones del proyecto tendrían efectos negativos sobre los usos consuntivos del agua de los asentamientos que se abastecen del río, sobre la pesca fluvial y sobre el aprovechamiento hidroeléctrico que podría verse limitado, cuando interrumpido en su funcionamiento ordinario con el fin de contribuir a confinar la eventual contaminación.

### **7.6 Medidas preventivas y correctoras**

El presente apartado recoge todas aquellas medidas destinadas a prevenir o corregir los efectos ambientales negativos derivados de las acciones del proyecto. Estas medidas se aplican a los efectos más significativos valorados como “moderados” o “severos” si bien también se dan indicaciones para los efectos valorados como “compatibles”. Se trata, en definitiva, de minimizar al máximo cualquier efecto ambiental no deseable del proyecto, potenciando si cabe sus efectos positivos.

Aunque en el análisis y valoración de efectos ambientales se han identificado 27 componentes potencialmente afectables, en realidad éstos lo eran siempre por uno o varios tipos de acciones que pueden clasificarse por la afección que producen. Estos tipos de acciones se pueden resumir en 6:

- Acciones que afectan a las vías de comunicación e infraestructuras
- Acciones que afectan a la calidad acústica
- Acciones que afectan a la calidad del aire
- Acciones que afectan a la calidad del agua por sólidos en suspensión
- Acciones que afectan a la calidad del agua por vertidos y derrames accidentales
- Acciones que afectan al paisaje

#### **7.6.1 Medidas para prevenir la afectación a las infraestructuras**

- Se programarán los trabajos de forma que se optimice el trasiego de vehículos, para evitar desplazamientos y tránsito innecesario por las vías públicas.
- Se establecerá una señalización adecuada destinada a reducir los itinerarios de los vehículos destinados al transporte de cargas relacionadas con la obra.
- Se habilitarán zonas de aparcamiento para no interrumpir la circulación.
- Se programará la circulación de vehículos de obra de forma que interfiera lo mínimo posible con la circulación normal de la población de la zona.
- Los vehículos de transporte pesado respetarán estrictamente las normas relativas a la circulación y a las dimensiones de la carga.
- Se habilitarán medidas de limpieza de todos los vehículos de obra a la salida de la zona de obras. También se implementarán medidas para que todo el transporte de materiales de obra no cause problema alguno ni a las vías públicas ni a los usuarios de éstas.

### **7.6.2 Medidas para prevenir la contaminación acústica**

Con objeto de minimizar el efecto ambiental negativo sobre la calidad acústica durante las obras, se adoptarán las siguientes medidas preventivas y correctoras:

- Se establecerán limitaciones en la velocidad y en los horarios de circulación de los vehículos; en este último caso, restringiendo la circulación a horas diurnas.
- Se utilizará maquinaria de obra homologada y certificada.
- Se utilizará maquinaria de obra con silenciadores.
- Se realizará un mantenimiento preventivo de los equipos para garantizar la minimización de las potenciales emisiones sonoras.

### **7.6.3 Medidas para prevenir la contaminación del aire (emisiones)**

- Los vehículos y maquinaria alimentada con combustibles pasará por las revisiones necesarias para minimizar las emisiones a la atmósfera (Inspección Técnica de Vehículos y similares para el resto de maquinaria).
- Las cargas, susceptibles de generar polvo durante el transporte, se confinarán o se tratarán adecuadamente para evitar las emisiones (cubiertas estancas, humectación, etc).
- En el caso de que se utilicen viales sin asfaltar, se procederá a regarlos con la periodicidad necesaria para evitar las emisiones de polvo.

### **7.6.4 Medidas para prevenir vertidos y derrames accidentales**

Es recomendable que las empresas contratistas encargadas de la realización de todos los trabajos que entrañen riesgos de contaminación del agua por vertidos y derrames accidentales cuenten con la acreditación ISO 14001. Dado el carácter accidental de este tipo de contingencias, las empresas certificadas disponen de procedimientos para disminuir al máximo su probabilidad de ocurrencia, así como para actuar de forma eficaz en el caso de que se produzcan.



Para los trabajos de retirada y reubicación de escombros y materiales se utilizará maquinaria también susceptible de contaminar las aguas del río si no se toman las medidas preventivas necesarias. También el manejo de la citada maquinaria, tanto en el agua como en la orilla, deberá contar con procedimientos específicos que eliminen el riesgo de que carburantes y lubricantes alcancen el agua o se viertan en la ribera, tras lo cual acabarían igualmente contaminando el agua.

En cualquier caso, todos los trabajos que se realicen dispondrán de sistemas de recogida de hidrocarburos en cantidad suficiente (barreras absorbentes) para actuar inmediatamente en el caso de que, pese a las medidas adoptadas, alguna situación totalmente imprevista tenga como resultado el vertido de estas sustancias al agua.

El parque de equipos, maquinaria y edificaciones auxiliares contará con todos los sistemas necesarios para el almacenamiento seguro de todos los materiales potencialmente contaminantes que se utilicen en la obra (combustibles, aceites, lubricantes) y para los residuos que se vayan generando que posteriormente deberán ser correctamente gestionados. Los almacenes contarán con sistemas de retención de vertidos y protección efectiva contra incendios. Los residuos que se vayan generando, ya sean o no peligrosos, se gestionarán mediante un gestor autorizado.

El agua residual procedente de los sanitarios, duchas y lavabos contará con los sistemas de depuración necesarios antes de ser vertida a los cauces, o en su defecto se utilizarán instalaciones químicas con el posterior tratamiento autorizado de los desechos generados.

Para la limpieza de vehículos de obra se utilizarán sistemas de alta presión sin detergentes que garanticen el mínimo consumo de agua y, a su vez, el mínimo volumen de aguas residuales.

#### **7.6.5 Medidas para prevenir acciones al paisaje y usos recreativos**

Las medidas que se adopten estarán dirigidas a prevenir básicamente la afección visual. En definitiva se trata de velar porque los elementos de la obra presenten

durante todo el tiempo de su desarrollo un aspecto ordenado y que al finalizar la actuación no queden evidencias ni restos de ella. En particular se recomienda:

- Que el parque de maquinaria se encuentre debidamente señalizado y confinado, así como los aparcamientos para los vehículos de obra y particulares del personal de obra.
- Disponer las edificaciones auxiliares en la forma más estética y equilibrada posible, construidas con la mínima altura. Procurar que el colorido sea también uniforme e integrado con el paisaje (grises, ocre y verde claro).
- No acumular residuos a la vista. Los escombros generados deberán apartarse de zonas de paso, ya sea para paseantes a pie o tráfico rodado, y confinarse en espacios controlados, a ser posible de forma segregada para facilitar su retirada y gestión final.
- La retirada de restos y escombros al finalizar la obra debe ser total, incluyendo material fraguado, y todo aquello que no tenga una función autorizada por la Administración Competente. Hay que tener en cuenta que no está permitido quemar restos.
- Señalizar y aislar las zonas de uso para las obras y respetar en todo momento un paso o sendero para el acceso al camino que recorre el río por su margen derecho, habitualmente utilizado por excursionistas.

### **7.7 Plan de vigilancia**

El Plan de Vigilancia asegurará que las operaciones llevadas a cabo, tanto en la fase de obra, como en la del inicio de la operación, no producirán más efectos ambientales negativos de los previstos y que se aplicarán las medidas preventivas y correctoras planificadas.

Además, el plan de vigilancia deberá recoger los datos necesarios y suficientes para poder documentar la situación ambiental de los medios potencialmente afectados por el proyecto durante las diferentes fases de su ejecución.

### 7.7.1 Plan de vigilancia para el río

El plan de vigilancia del río Eume contará con los siguientes valores de referencia respecto a los valores que no deberán sobrepasarse.

- $\text{NH}_4^+ < 1 \text{ mg/L}$
- $\text{O}_2 > 6 \text{ mg/L}$
- Materia en suspensión (MES): 500 mg/L. El RD 927/88 fija el límite para aguas salmonícolas en 25 mg/L; no obstante, para este parámetro reconoce situaciones de excepcionalidad por situaciones meteorológicas o geográficas de tipo natural.

La vigilancia comenzará 2 días antes de iniciarse la obra y finalizará 15 días después de finalizada. Estará enfocada a analizar parámetros fisicoquímicos (temperatura, turbidez, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y  $\text{NH}_4^+$ ) y biológicos (IBMWP de fauna bentónica de invertebrados). Además se controlará visualmente si existen afecciones a los peces y anfibios.

- Se llevará a cabo una regresión empírica en laboratorio entre la turbidez medida con la sonda multiparamétrica y diferentes concentraciones de sólidos en suspensión. De esta forma se podrán elaborar registros continuos de turbidez que podrán ser extrapolados directamente a concentraciones de sólidos en suspensión.
- Se instalará una sonda de turbidez que realice un registro en continuo de este parámetro en el caudal saliente desde la central. El registro comprenderá todo el periodo de duración de las obras.
- Diariamente se analizarán los siguientes parámetros: temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y  $\text{NH}_4^+$  en el mismo punto que la turbidez y aguas arriba del barranco de Ventureira.
- Semanalmente se analizará el IBMWP en los mismos puntos indicados.

En función de los resultados que se vayan obteniendo se podrá modificar justificadamente el número de puntos de muestreo, la frecuencia de análisis y los parámetros fisicoquímicos considerados.

**TÍTULO: ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA ANTIGUA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE "VENTUREIRA", RÍO EUME**

---

## **PLANOS**

---

**PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N**

**15405 - FERROL**

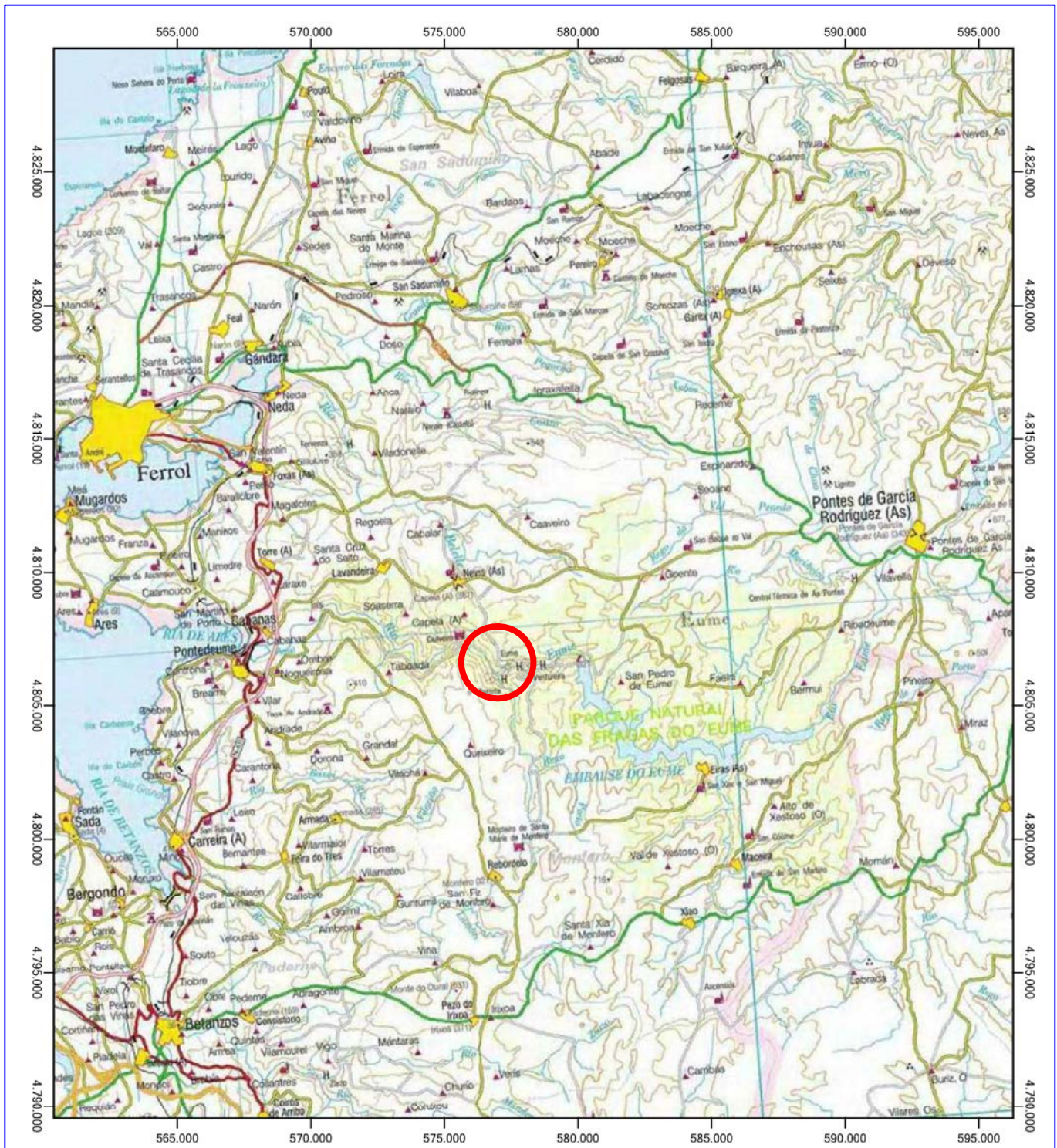
**FECHA: SEPTIEMBRE 2013**

**AUTOR: EL ALUMNO**

**Fdo.: GUILLERMO CALVO TEIJEIRO**

## ÍNDICE

Plano 1: Mapa situación central 1:200000	220
Plano 2: Mapa situación central 1:5000	221
Plano 3: Topografía y planta general	222
Plano 4: Trazado línea 20 Kv y tubería de presión	223
Plano 5: Situación equipos en casa de máquinas	224
Plano 6: Detalle cuenco captación	225
Plano 7: Detalle apoyo y anclaje tubería de presión	226
Plano 8: Transformador y celdas CT	227
Plano 9: Esquema de fuerza	228
Plano 10: Esquema servicios auxiliares	229
Plano 11: Esquema regulación tensión y frecuencia	230
Plano 12: Planificación temporal de trabajos	231



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

MAPA SITUACIÓN CENTRAL 1:200000

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA: 1:200000

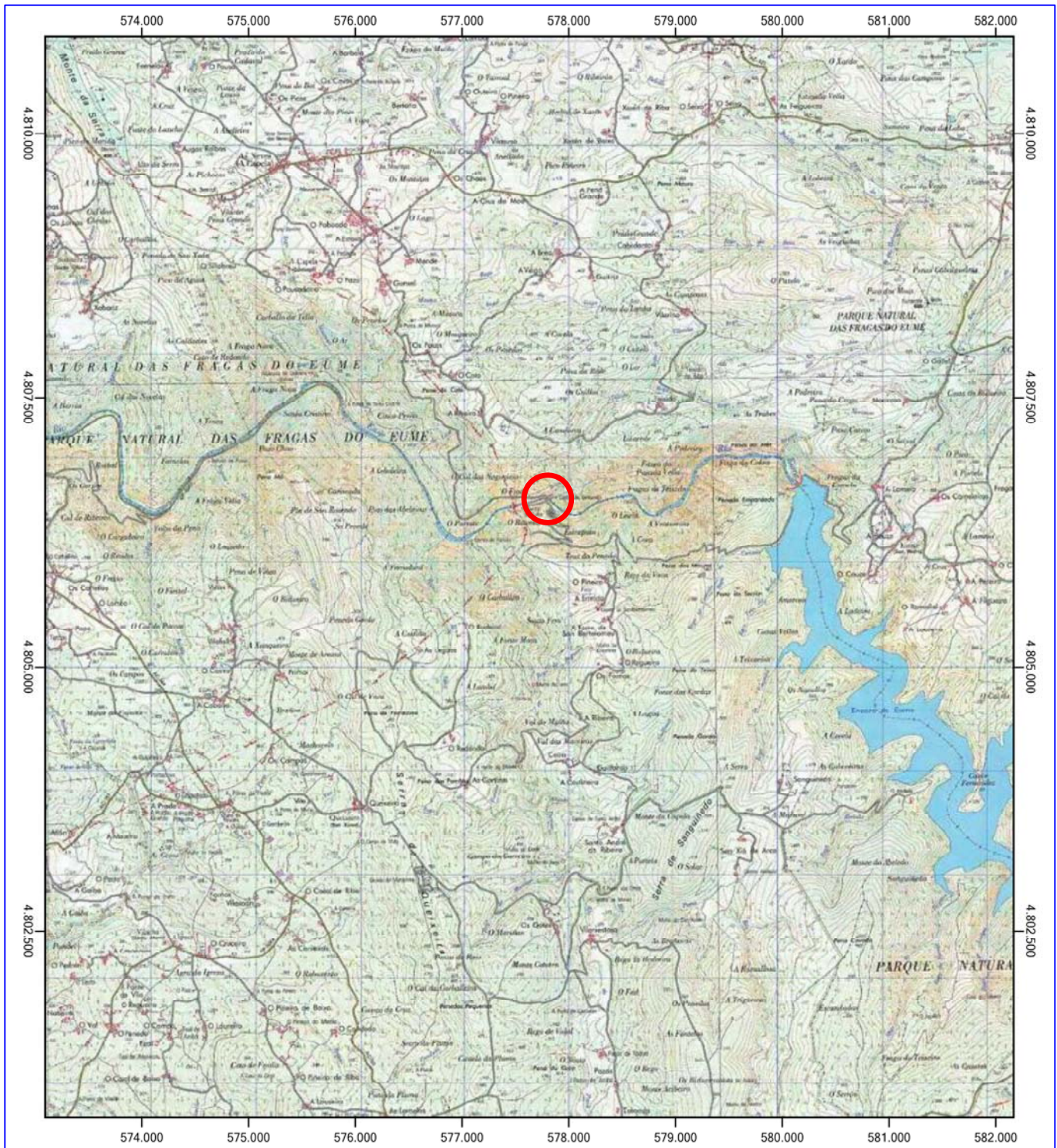
AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

PLANO Nº: 01





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

MAPA SITUACIÓN CENTRAL 1:50000

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA: 1:50000

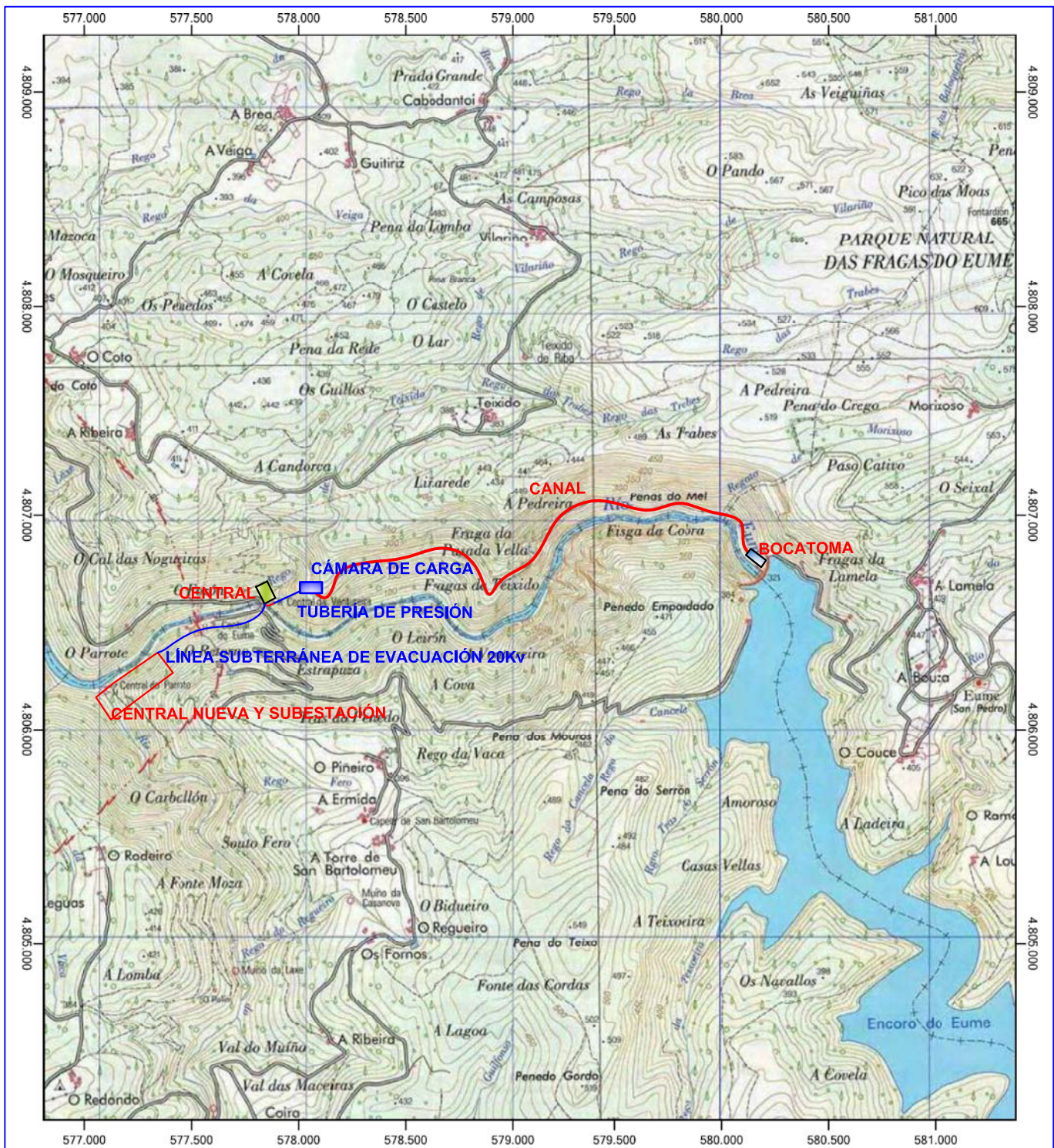
AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

PLANO Nº: 02





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

**ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA**

TÍTULO DEL PLANO:

**TOPOGRAFÍA Y PLANTA GENERAL**

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA: 1:25000

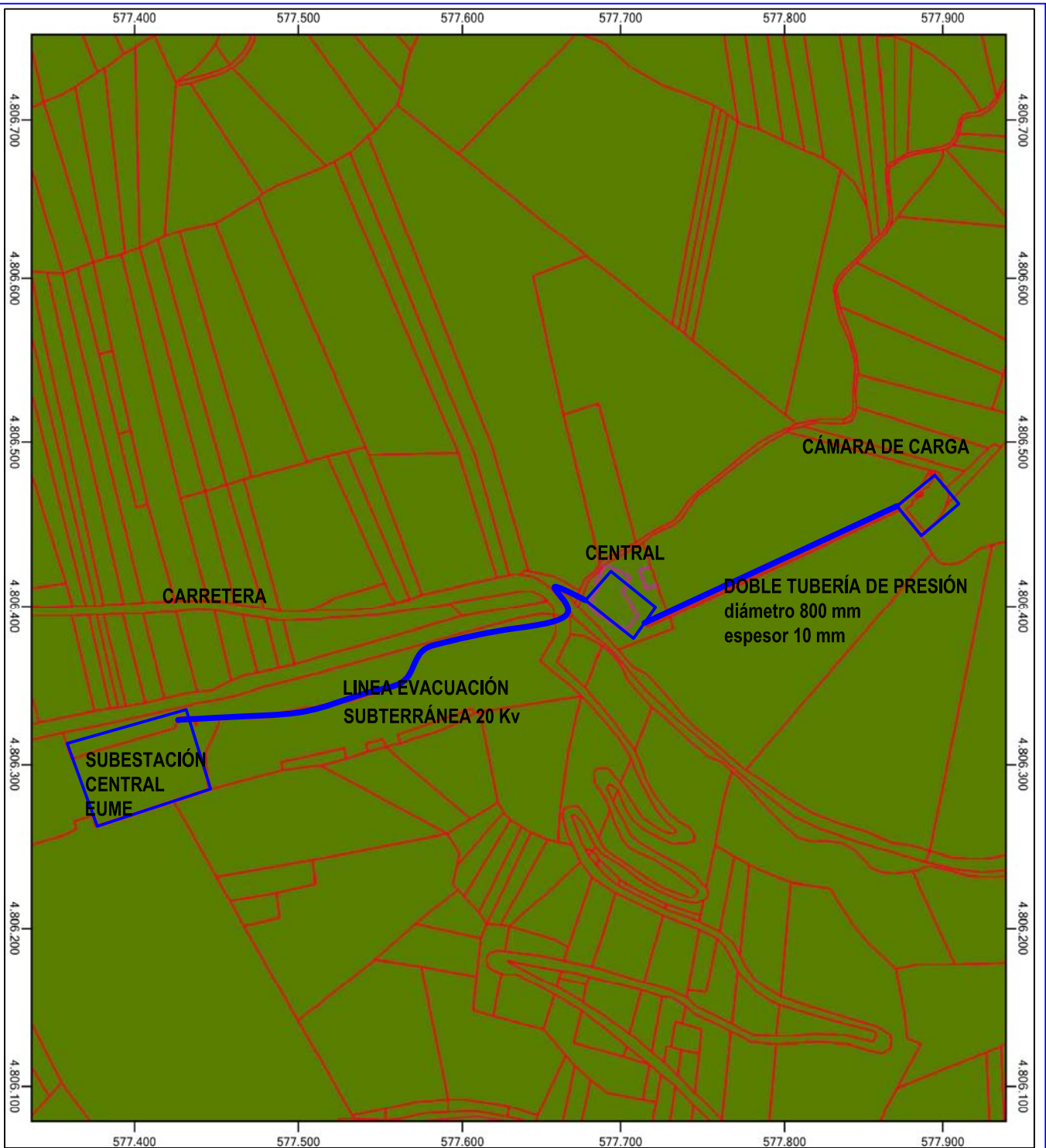
AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

**PLANO Nº: 03**





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

**ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA**

TÍTULO DEL PLANO:

**TRAZADO LÍNEA 20 Kv Y TUBERÍA DE PRESIÓN**

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

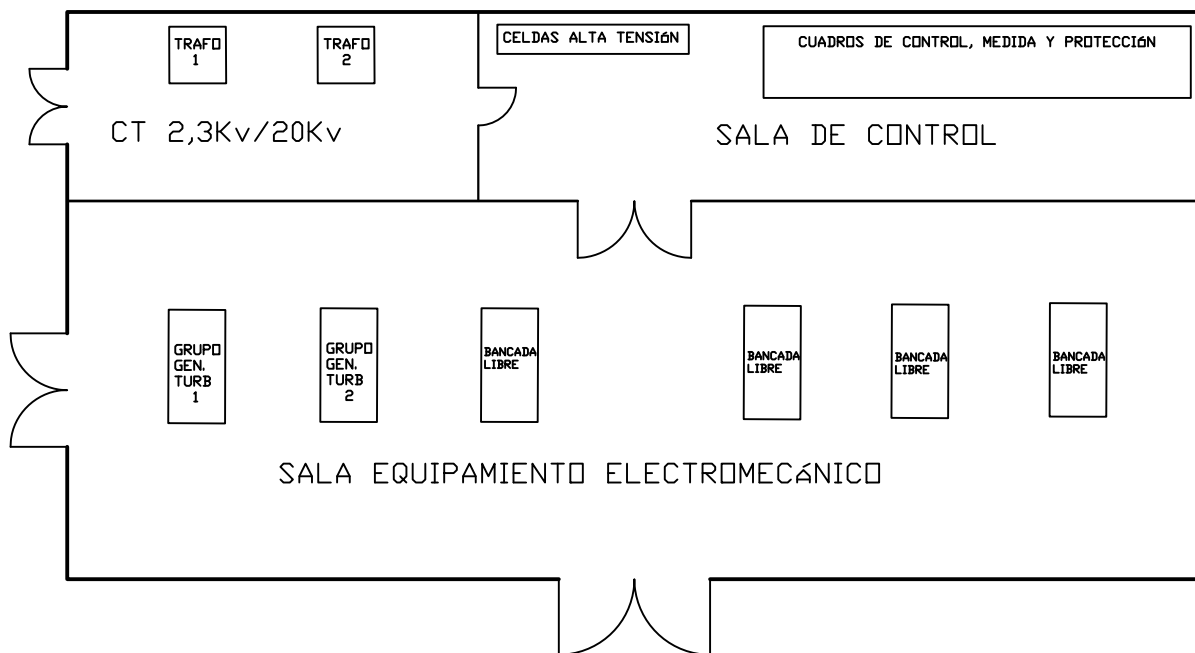
ESCALA: 1:3500

AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

PLANO Nº: 04



POTENCIA UNITARIA TURBINA 2734 Kw  
 POTENCIA UNITARIA ALTERNADOR 2500 Kw  
 POTENCIA UNITARIA TRAFØ 3000 kVA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

SITUACIÓN EQUIPOS EN CASA DE MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

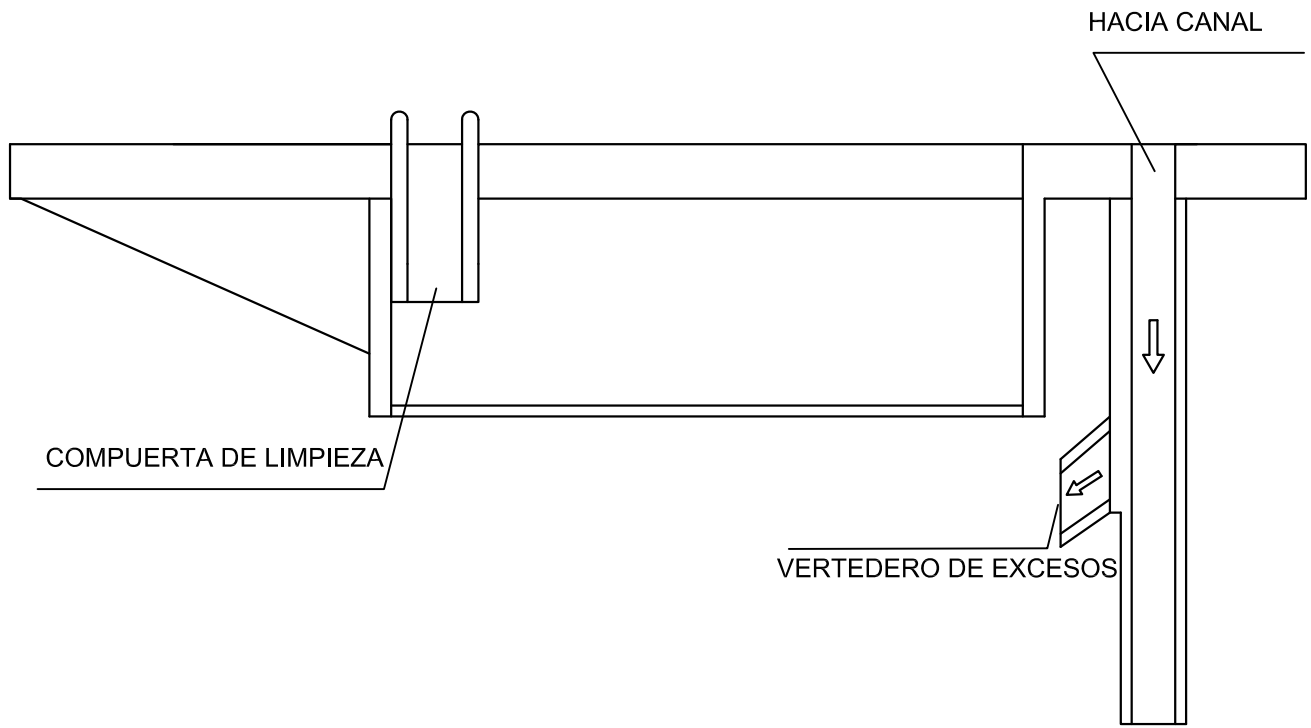
ESCALA: 1:200

AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

PLANO Nº: 05



CAUDAL CAPTACIÓN: 3 m<sup>3</sup>/s  
 TIRANTE HIDRÁULICO CANAL: 1,06 m



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

**ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA**

TÍTULO DEL PLANO:

**DETALLE CUENCO CAPTACIÓN**

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

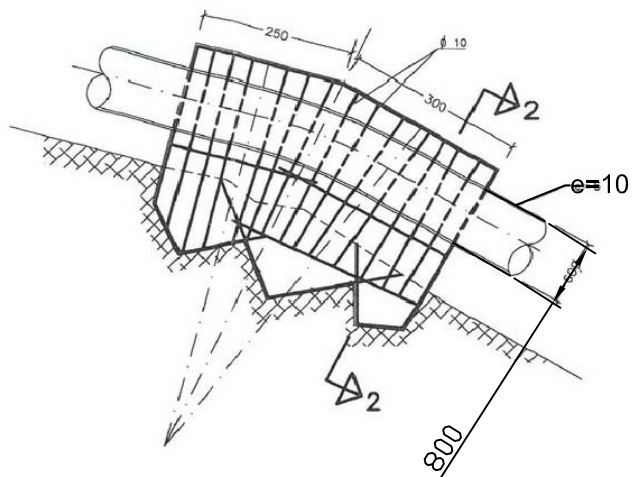
ESCALA: 1:200

AUTOR:

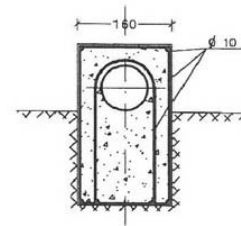
GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

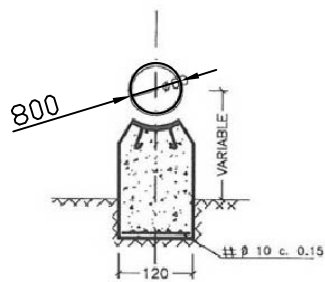
**PLANO Nº: 06**



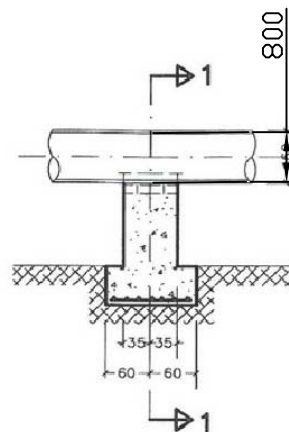
ANCLAJE DE TUBERÍA



SECCIÓN 2-2



SECCIÓN 1-1  
APOYO DE TUBERÍA



ALZADO



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

DETALLE APOYO Y ANCLAJE TUBERÍA DE PRESIÓN

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

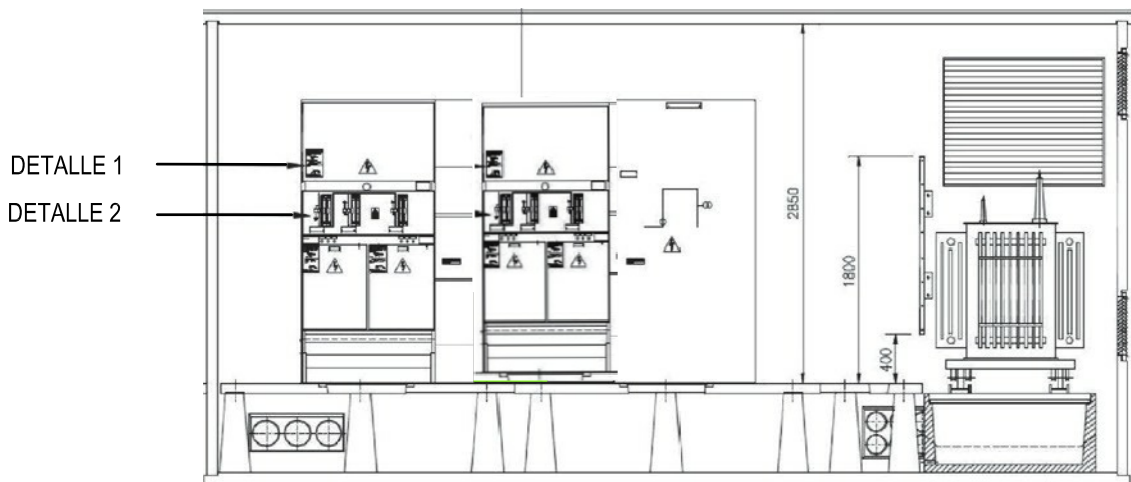
ESCALA: 1:200

AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEJEIRO

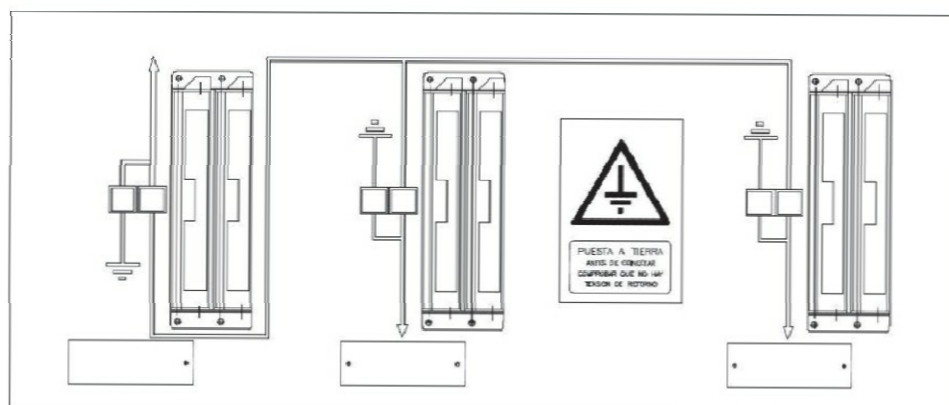
FIRMA:

PLANO Nº: 07



DETALLE 1

DETALLE 2



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

TRANSFORMADOR Y CELDAS CT

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA:

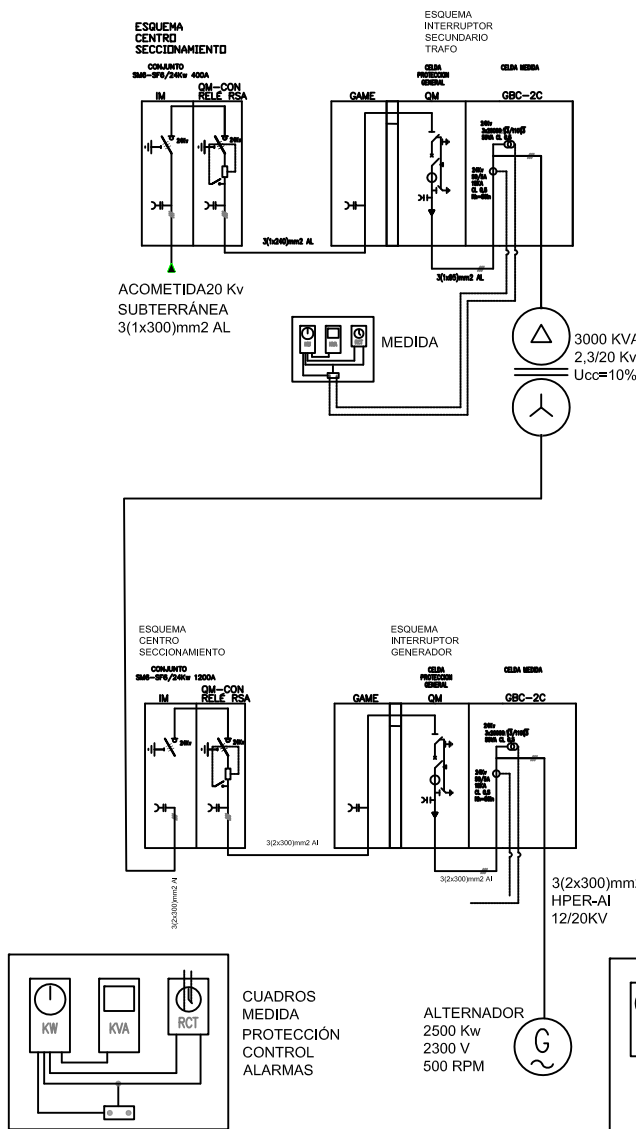
AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

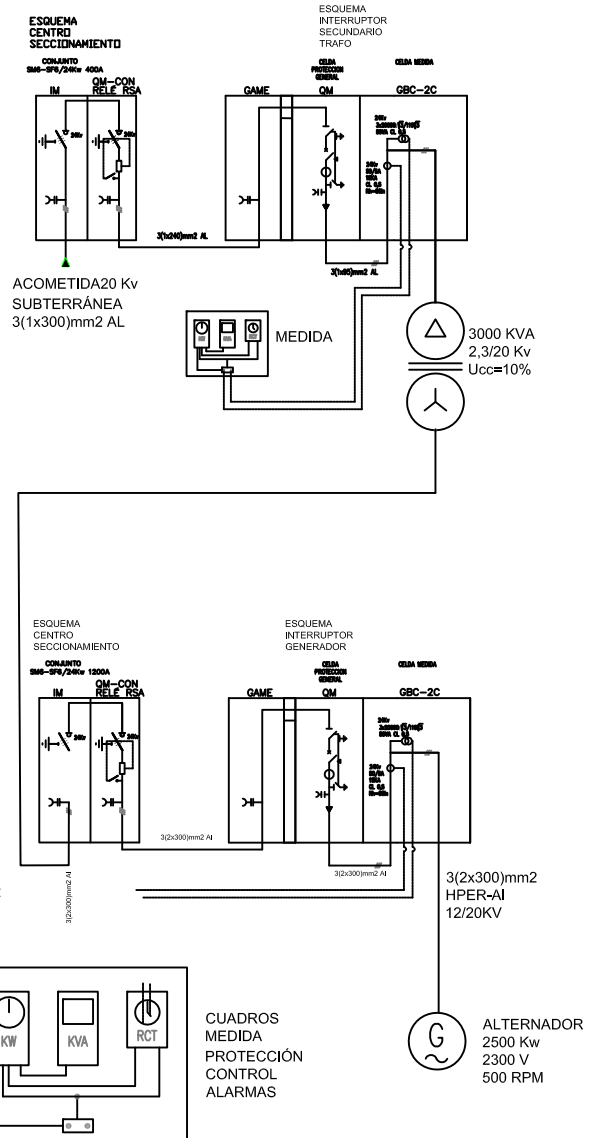
FIRMA:

PLANO Nº: 08

## GRUPO 1



## GRUPO 2



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

ESQUEMA DE FUERZA

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA:

AUTOR:

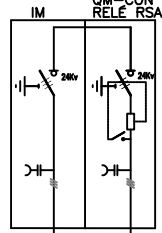
FIRMA:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

PLANO Nº: 09

ESQUEMA  
CENTRO  
SECCIONAMIENTO

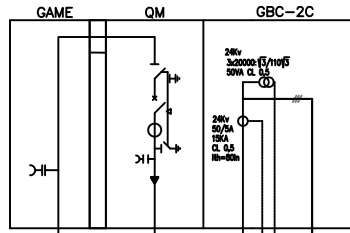
CONJUNTO  
SM6-SF6/24Kv 400A



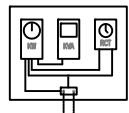
ACOMETIDA 20 Kv  
SUBTERRÁNEA  
3(1x300)mm<sup>2</sup> AL

ESQUEMA  
INTERRUPTOR  
SECUNDARIO  
TRAFO

CELDA  
PROTECCION  
GENERAL

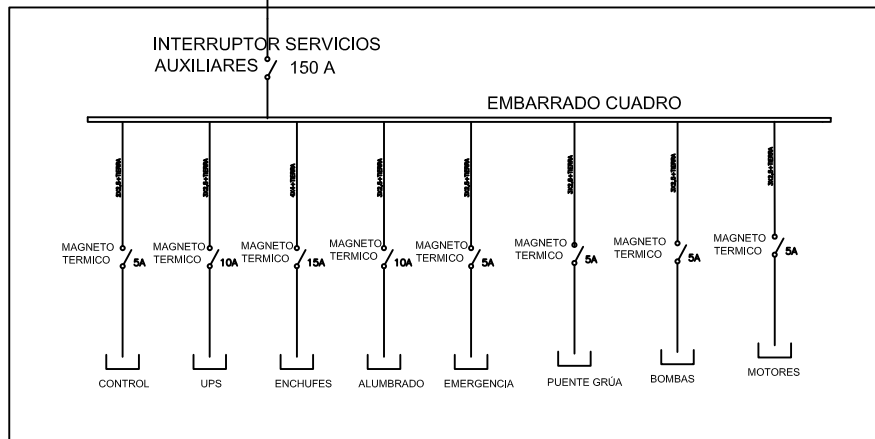


MEDIDA



TRAFO SERVICIOS AUXILIARES  
100 KVA  
20/0,4 Kv  
Ucc=3%

CUADRO DE SERVICIOS AUXILIARES



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

ESQUEMA SERVICIOS AUXILIARES

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA:

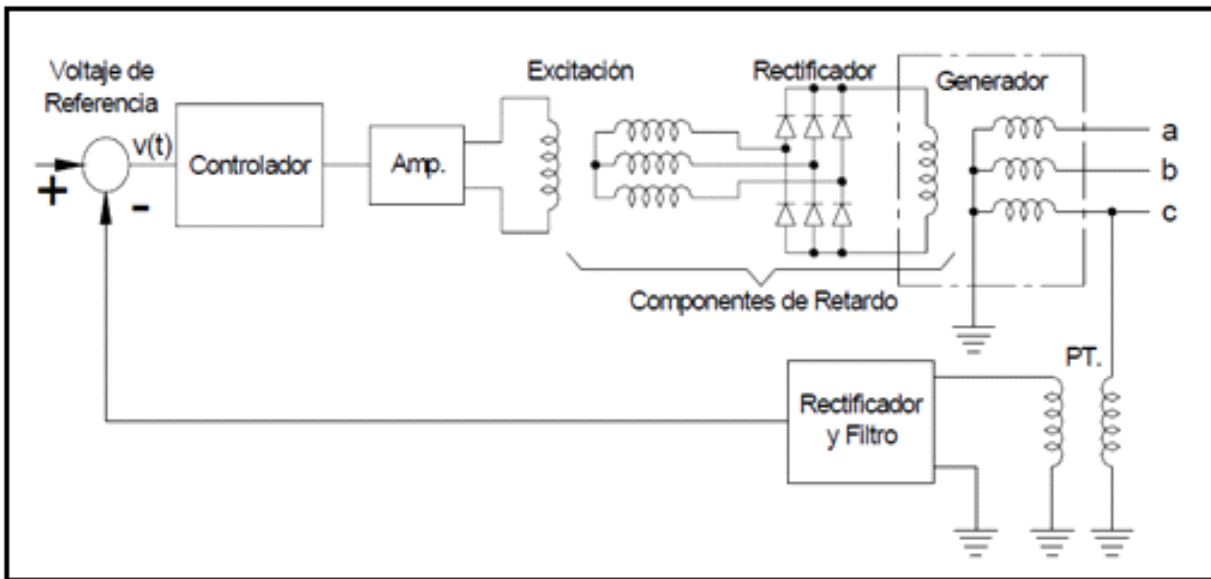
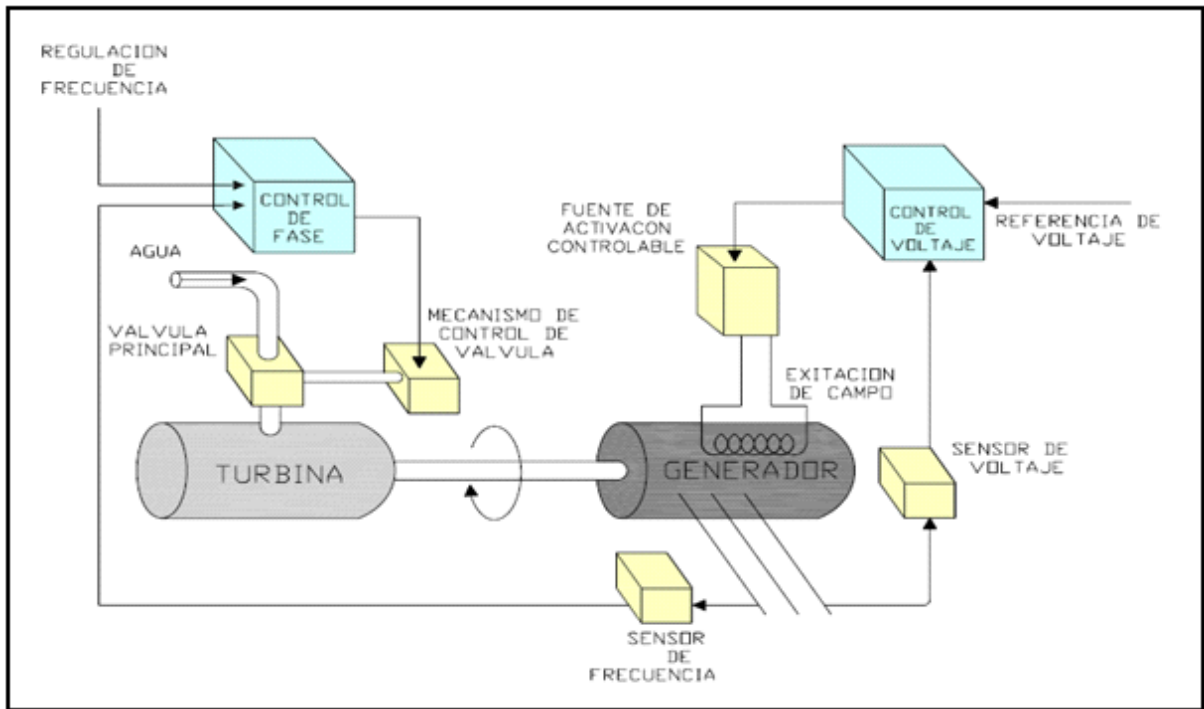
AUTOR:

FIRMA:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

PLANO Nº: 10





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

ESQUEMA REGULACIÓN TENSIÓN Y FRECUENCIA

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA:

AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

PLANO Nº: 11



OBRA	MESES														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
REPLANTEO															
ACCESOS Y DESMONTES															
OBRAS EN LA PRESA															
CUENCO CAPTACIÓN															
REPARACIÓN CANAL															
CÁMARA DE CARGA															
TUBERÍA PRESIÓN															
CASA DE MÁQUINAS															
TURBINA Y GENERADOR															
TRNSFORMADOR Y CUADROS ELEC.															
LÍNEA MEDIA TENSIÓN															
P. EN MARCHA Y PRUEBAS															



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A008

TÍTULO DEL TFG:

ESTUDIO REHABILITACIÓN ANTIGUA HIDROCENTRAL VENTUREIRA

TÍTULO DEL PLANO:

PLANIFICACIÓN TEMPORAL DE TRABAJOS

FECHA: SEPTIEMBRE-2013

ESCALA:

AUTOR:

GUILLERMO CALVO TEIJEIRO

FIRMA:

PLANO Nº: 12