



CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y PRESAS DEL ALTO ARAGÓN
FRANCISCO GALÁN SORALUCE

FUNDACIÓN ESTEYCO

FRANCISCO GALÁN SORALUCE
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y PRESAS
DEL ALTO ARAGÓN



FUNDACIÓN
ESTEYCO

FRANCISCO GALÁN SORALUCE

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y PRESAS
DEL ALTO ARAGÓN



FUNDACION
ESTEYCO

Un libro para que no se apague la luz

Me gusta una idea de Mario Benedetti sobre el paisaje: si hubiese podido escoger uno, el poeta escribió que hubiese robado su calle. Dice de ésta que es anterior a él y a todos, que tiene pájaros, hojas secas, nombres desolados y, a veces, alguna muerte. Una calle de la que no nos describe, ni el pavimento ni las fachadas; pero con la cual y por alguna magia, se siente íntimamente unido. Tampoco sabemos si es donde los chicos juegan a pelota o si allí hay señoras sentadas en las terrazas; sin embargo, el escritor aseguró que conocía con estricta nostalgia el número y los nombres de sus setenta árboles. Quizás también os pasa que, al visitar un lugar determinado, os seduce no sólo el espacio que veis y el suelo que pisáis, sino el pasado que esconden sus piedras; las historias que se filtran por arroyadas y se cuelan por las grietas. Lo he vivido hace poco en el Pirineo aragonés, en el valle del Ésera, bien cerca de Benasque.

No hace falta decir que la vida en el Pirineo, a principios del siglo pasado, no era nada fácil. Al día a día austero y deprimido de muchas otras tierras, se le sumaban unas condiciones climáticas durísimas y un aislamiento si cabe más acusado. A menudo las casas tenían muchas bocas y poca hacienda, con lo que los hijos de las familias más humildes tenían que emigrar a trabajar, mayoritariamente, a las inmediaciones de Barcelona. En el valle del río Ésera, no obstante, el sentido del camino fue el inverso: unos distinguidos señores de Barcelona llegaron allí en 1912 con un gran proyecto que revolucionaría la comarca: la construcción de la central hidroeléctrica de Seira y de un pueblo ferviente de actividad en donde, años antes, todo languidecía.

Los señores, que eran empresarios e ingenieros de Catalana de Gas y Electricidad, la actual Gas Natural Fenosa, querían producir electricidad para la floreciente industria catalana. Como nos muestra Francisco Galán, la central hidroeléctrica de Seira no tenía presa ni, por lo tanto, se corresponde mucho con el imaginario de pantanos que anegan pueblos. Así, llanamente, podríamos decir que las turbinas producían electricidad aprovechando básicamente el salto de agua del río Ésera. De hecho, no es que en Seira no se inundase ningún pueblo, sino que se construyó uno nuevo para los trabajadores de la central, al igual que el resto de obras asociadas, como tuberías y carreteras para acceder a todas las instalaciones y conectarlas con el territorio. El nuevo pueblo de Seira, sobre una colina y con casitas unifamiliares, iglesia y escuela, se

levantó en tiempo récord. Uno sólo puede fascinarse admirando las fotografías de las obras del complejo: aquella gente tenía tanto oficio, empuje y voluntad como pocos derechos sociales –todo su material de protección era una boina, una faja y un cigarrillo– pero sus obras se mantienen hoy en día, imponentes, un siglo después. Ni los sabios ingenieros que trabajan en su conservación, como el autor de este libro admite medio en broma, se lo acaban de explicar.

El ingeniero Francisco Galán, responsable por parte de Acciona del mantenimiento de todas estas obras, nos cuenta que los trabajos se hicieron tan bien, con tanta economía de medios como audacia en el proyecto, que los edificios de la central, con las turbinas y la maquinaria todavía en funcionamiento, son de una sobria arquitectura a caballo entre el modernismo y el novecentismo. El ambiente de la central es el de una especie de palacio vienés de la hidráulica dónde, minutos antes que la orquesta empiece a tocar el vals, uno se da cuenta que le rodean inmensas piezas metálicas alemanas, turbinas de Zurich, cuadros de contadores con manijas refinadas e instrumentos de precisión con un grafismo de gran belleza y simplicidad.

Estamos en el Pirineo aragonés, de camino al Aneto, en la sala de turbinas de la central de Seira. Una “fábrica de luz” que contiene grandes tesoros de la técnica y que es patrimonio industrial por descubrir, enmascarado por la potencia de las montañas. El valle del Ésera –como para el lector será el texto e imágenes que siguen– fue un juego de espejos del territorio con muchos más ángulos de los que esperaba. Y de la mano de Paco Galán, descubriremos que no sólo en el Ésera, sino también en las cuencas de los ríos Cinca, Gállego y Aragón, otras empresas y gentes construyeron obras que querían ser hidráulicas y hoy, además, son paisaje. Las páginas siguientes, escritas con la precisión del bisturí, la sabiduría del ingeniero y la poética de las imágenes, son un privilegiado testimonio de ello.

Roger Besora



Centrales hidroeléctricas y presas del alto Aragón

1. PLANTEAMIENTO GENERAL

En las cabeceras de los ríos Aragón, Gállego, Cinca y Ésera se construyó, entre los años 1912 y 1975, un conjunto de centrales hidroeléctricas y de presas realmente excepcional, que, sin embargo, es muy poco conocido. Son obras proyectadas con gran visión y construidas con una enorme calidad, a pesar de las singulares dificultades de la zona y de los limitados medios de la época.

Todas las centrales y presas todavía se encuentran en servicio, algunas desde hace casi 100 años, y son un ejemplo de que las obras bien hechas tienen una duración, podríamos decir que indefinida. Sin embargo, hoy día probablemente no se haría ninguna, tanto por presuntas razones ambientales como por la baja rentabilidad a corto plazo de las inversiones.

Pero están en servicio, generan una cantidad muy importante de energía renovable y constituyen hitos de construcción que merecen ser conocidos e incluso debieran ser considerados como Bienes de Interés Cultural.

Para que el texto tenga mayor interés describimos asimismo los problemas que tienen actualmente algunas de las centrales y presas, bien por necesidad de adecuarse a normativas y circunstancias actuales, bien por deterioros producidos por el paso del tiempo. Comentamos también las condiciones de explotación adecuadas a los medios informáticos y de comunicaciones actuales.

2. EMPRESAS PROMOTORAS

Las principales empresas que propiciaron el desarrollo de la energía hidroeléctrica en el Pirineo Aragonés fueron:

- CATALANA DE GAS Y ELECTRICIDAD inició en 1912 las obras de la central de Seira, en el río Ésera, para generar una potencia de 36,7 MW, que produciría 80 GWh/año para suministro de Barcelona. Más tarde construyó, también en el río Seira, las centrales de Argoné y Campo. Las tres siguen en servicio.
- HIDROELÉCTRICA IBÉRICA empezó en 1918 las obras del aprovechamiento hidroeléctrico de la cabecera del Cinca que permitieron llevar energía eléctrica a Bilbao en 1923. Las centrales que construyeron: Urdiceto, Barrosa, Bielsa, Salinas, Lafortunada y Laspuña, también siguen en servicio.

Estas dos actuaciones fueron realmente extraordinarias, ya que requirieron construir, además de los accesos, presas, canales, túneles, tuberías, centrales, etc., líneas eléctricas de 195 km y 280 km desde el Ésera a Barcelona y desde el Cinca a Bilbao, respectivamente. Son destacables los beneficios que las carreteras de acceso supusieron para municipios hasta esa fecha muy mal comunicados, que incluso presentaban una mayor facilidad de comunicación con Francia que con España.



Otro aspecto a tener en cuenta es la flexibilidad en cuanto a su utilización que otorgan los embalses, ya que no sólo mejoran la producción sino que permiten aportar la necesaria regulación al sistema eléctrico, el apoyo a abastecimientos y riego en situaciones de emergencia, etc. En el plano desplegable puede apreciarse lo que ello supone. Se ha señalado la superficie de las cuencas utilizadas, terminando la del Cinca en la toma de central de Laspuña y la del Ésera en la presa de Campo. El aprovechamiento de la energía generada a distancias tan importantes de los lugares de consumo fue posible por el desarrollo de la corriente alterna, que permitía transportarla a altas tensiones (110 kV la de Barcelona y 132 kV la de Bilbao). En la España de 1909 ya se había construido una línea de 250 km a 60 kV entre la central del Molinar, en el río Júcar, y Madrid; pero las del Pirineo fueron, cada una en su tiempo, record de tensión. La necesidad de energía en Bilbao y Barcelona era debida a su industrialización, en un caso por la siderurgia y en el otro por las empresas textiles. Influyó también el que, a pesar de la distancia, los kWh hidroeléctricos eran más baratos que los térmicos, ya que el carbón se había encarecido muy apreciablemente desde la guerra europea. En la Tabla 1 puede verse la evolución, en la primera mitad del siglo XX, de la potencia y energía eléctrica en España.

TABLA 1. EVOLUCIÓN POTENCIA Y CONSUMO ELÉCTRICO

Año	Potencia instalada (MW)			Energía producida (GWh)		
	Hidroeléctrica	Térmica	Total	Hidroeléctrica	Térmica	Total
1901	31	48	78			154
1915	202	109	311			567
1917	220	156	376			848
1927	555	227	782			1.768
1931	809	327	1.136	2.382	299	2.681
1936	1.154	373	1.527	2.593	203	2.796
1940	1.350	381	1.731	3.353	264	3.617
1944	1.412	415	1.827	4.016	704	4.720

Puede verse la importancia para su época (entre 1917 y 1927) de las obras del Ésera, con 36,7 MW solamente en Seira, y los 97 MW en el Cinca, entre Lafortunada, Urdiceto, Salinas, Bielsa y Barrosa.

Otra empresa, ENERGÍAS E INDUSTRIAS ARAGONESAS (E.I.A.S.A.), puso en servicio en 1921 la central de Biescas, en el río Gállego, de 2,4 MW para suministrar energía eléctrica a sus empresas químicas localizadas en polígono de Sabiñánigo y llevar los excedentes a Zaragoza. E.I.A.S.A. continuaría el aprovechamiento del Gállego con las centrales de cabecera (Baños, La Sarra, Sallent, Escarra) y seguiría con las de cabecera del Ésera (Eriste y Sesué) y con las centrales de las presas de Lanuza y Bubal, construidas por la Confederación del Ebro.

ELECTRICAS REUNIDAS DE ZARAGOZA realizó el aprovechamiento hidroeléctrico de la cabecera del Aragón, construyendo las centrales de Ip, Canalroya, Villanúa, Aratores, Castiello y Jaca, y las del tramo medio del Gállego, entre Sabiñánigo y San Mateo. La central de Ip supuso uno de los mayores aportes de energía reversible a la regulación del sistema.

El INI, a través de la EMPRESA NACIONAL HIDROELÉCTRICA RIBAGORZANA (ENHER), proyectó y promovió las centrales en las presas de Mediano y El Grado, que habían sido construidas por la Confederación Hidrográfica del Ebro para riego.

En la Tabla 2 resumimos las potencias instaladas por las diferentes empresas. Se han incluido las centrales del Gállego hasta Sabiñánigo. Puede verse que la potencia total es importante.

Además hubo otras empresas que construyeron pequeñas centrales, algunas muy antiguas como la del Hospital de Parzán, construida en 1913, cuya energía se destinaba a las explotaciones mineras de la zona.

TABLA 2. ACTUACIONES POR EMPRESAS

EMPRESA	CENTRAL	FECHA	POTENCIA (MW)
CATALANA DE GAS Y ELECTRICIDAD	SEIRA	1918	36,7
	ARGONÉ	1920	14,8
	CAMPO	1929	1,7
HIDROELECTRICA IBERICA	LAFORTUNADA CINCA	1923	41,4
	BARROSA	1930	3,6
	URDICETO	1930	7,1
	LAFORTUNADA CINQUETA	1932	40,8
	SALINAS	1948	2,4
	BIELSA	1949	1,6
	LASPUÑA	1965	14,3
ENERGIA E INDUSTRIAS ARAGONESAS	BIESCAS	1921	2,4
	PUEYO DE JACA	1927	14,0
	SALLEN	1953	11,4
	BAÑOS	1927	5,5
	LA SARRA	1957	24,0
	ESCARRA	1955	6,2
	LANUZA	1977	52,7
	BIESCAS 2	1969	61,4
	ERISTE	1972	87,6
	SESUÉ	1964	36,0
ELECTRICAS REUNIDAS DE ZARAGOZA	IP	1969	88,9
	CANALROYA	1967	6,8
	VILLANÚA	1953	10,9
	ARATORÉS	1952	0,3
	CASTIELLO	1921	1,1
	JACA	1967	15,9
ENHER	MEDIANO	1969	66,4
	GRADO	1967	18,5
	GRADO 2	1968	25,7
TOTAL			701,2

3. DESARROLLO POR CUENCAS

A continuación detallamos el desarrollo hidroeléctrico de cada cuenca. Incluimos planos de cuenca, esquemas hidráulicos y referencias de las principales centrales y presas. También aludimos a temas generales, que permiten hacerse una idea más completa del sistema actual de explotación. Lo hacemos en la primera presa o central en la que se plantea algunos de estos temas.



I. CUENCA DEL ESERA

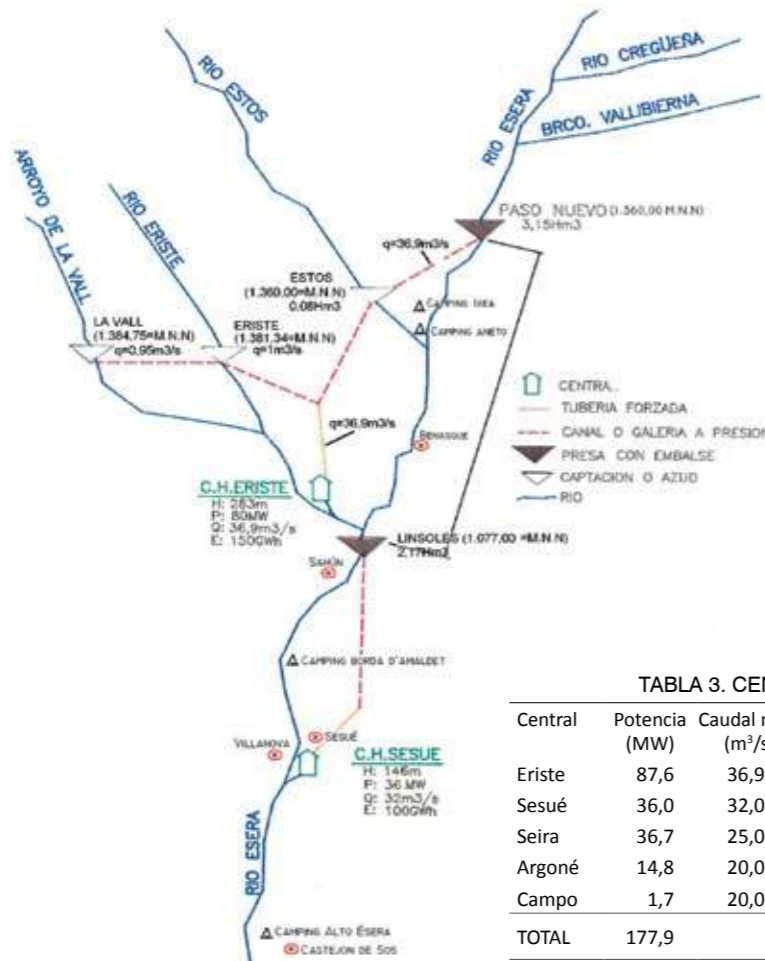


TABLA 3. CENTRALES DEL ÉSERA

Central	Potencia (MW)	Caudal máx. (m ³ /s)	Salto (m)	Producción GWh/año	Horas equival.
Eriste	87,6	36,9	283,0	150,0	1.712
Sesué	36,0	32,0	146,0	100,0	2.778
Seira	36,7	25,0	144,0	87,8	2.393
Argoné	14,8	20,0	85,7	52,5	3.547
Campo	1,7	20,0	10,0	5,4	3.180
TOTAL	177,9		668,7	395,7	2.339

I. Cuenca del Ésera

La cuenca del Alto Ésera tiene una superficie, hasta la presa de Campo, de 592 Km², dentro de la cual está el Pico de Aneto (3.404 m). Lo elevado de su parte alta hace que se acumule nieve en invierno que, al fundirse en primavera, asegura caudales importantes en el río hasta el verano. Esta circunstancia, unida a lo elevado de los desniveles en los tramos considerados, es sin duda una de las razones por la que eligieron esta cuenca para el suministro a Barcelona, a pesar de los 195 km de línea eléctrica que fue preciso construir. A continuación se indican los porcentajes mensuales de la producción anual de las centrales del Ésera. Puede verse que se mantiene, salvo en algunos meses, una producción bastante uniforme.

Mes	% producción	Mes	% producción
Enero	4	Julio	12
Febrero	3	Agosto	6
Marzo	5	Septiembre	5
Abril	11	Octubre	6
Mayo	18	Noviembre	7
Junio	17	Diciembre	5

Como ya hemos indicado, en estas centrales, y en general en todas las de Catalana de Gas y también en las del Cinca de Hidroeléctrica Ibérica, sorprende la gran potencia de las centrales sin embalses de regulación. Seira, Argoné y Campo sólo tienen un azud de desvío. En estas centrales se pone de manifiesto un diseño basado en la disposición de una cantidad máxima de energía fluyente a un precio razonable.

En el plano desplegable* puede verse la delimitación de la cuenca global y las cuencas parciales de cada presa o azud de toma. La cuenca limita al Norte con Francia, al Este con el Noguera Ribagorzana y al Oeste con el Cinca.

Catalana de Gas inició el aprovechamiento con la central de Seira. Las obras se iniciaron en 1912 y se pusieron en servicio en 1918. Más tarde construyó las centrales de Argoné y Campo, situadas aguas abajo de Seira. Las tres tienen un diseño arquitectónico similar con edificios de piedra de una gran calidad. Proyectaron las obras en la parte del río más accesible, ya que el paso hacia Línsoles, más al Norte, precisa atravesar un barranco lo que, sobre todo en aquella época, presentaba muchas dificultades. Años más tarde E.I.A.S.A. completó el aprovechamiento del Ésera con las centrales de Eriste y Sesué situadas en la cabecera. El planteamiento hidroeléctrico es diferente. Construyeron embalses y, en Eriste, incorporaron al aprovechamiento las cuencas laterales, de la misma forma que E.I.A.S.A. había hecho en el Gállego. Este planteamiento estaría ligado a la necesidad de energía de puntas y regulación para los procesos de su industria química. Los edificios de Eriste y Sesué son modernos, similares, con muy buen diseño. Tienen paredes de hormigón y estructura metálica

En el Tabla 3 se resumen las características principales de las cinco centrales, ordenadas de aguas arriba a aguas abajo.

Puede verse que la altura de los saltos va disminuyendo, a medida que se desciende por el río. Las centrales fluyentes, Seira, Argoné y Campo, tienen menos caudal. La central de Eriste tiene una potencia muy superior al resto. Es llamativo el aprovechamiento completo del desnivel. El desagüe de la central de Eriste (FIG. 01) se realiza en el embalse de Línsoles, del que toma la central de Sesué, que vierte al embalse de Villanova, en el que está la toma de Seira, que vierte en la toma de Argoné, que a su vez vierte en el embalse de Campo.

(dcha.) Vertido de la central de Sesué en la toma de la central de Seira (Fig. 01).



1. CENTRAL DE ERISTE

La central de Eriste fue construida por ENERGÍAS E INDUSTRIAS ARAGONESAS (E.I.A.S.A) en 1972. Tiene la toma en la Presa de Paso Nuevo. Como es usual en las centrales construidas por E.I.A.S.A. está proyectada con una galería de presión, que permite aprovechar la altura del agua en el embalse. La galería acaba conectada con la tubería de carga y, en la transición, hay una chimenea de equilibrio.

1.1 Presa de Paso Nuevo

La Presa de Paso Nuevo (FIG. 02) es de arco gravedad de 72,6 m de altura y crea un embalse de 3,15 Hm³, muy reducido para los 132 Hm³ de aportación de la cuenca y para la altura de presa. Tiene la coronación en la cota 1.362,55 m. El aliviadero tiene tres vanos de 6 m equipados con compuertas Taintor de 4,15 m de altura.

Tiene una red muy completa de galerías y dos desagües de fondo equipados con válvulas Howell-Bunger (FIG. 03). Está equipada con 2 péndulos inversos y con aforo de filtraciones en las diferentes galerías.

Está muy bien construida, aunque la utilización, en el hormigón de algunos bloques, de una cantera que contenía sulfuros está dando problemas de expansividad. En las fotos puede verse el deterioro del hormigón en un punto del paramento de aguas abajo (FIG. 04) y las grietas producidas en la galería superior (FIG. 05) por los esfuerzos debidos al efecto expansivo del hormigón. Al ser la expansividad diferente de unos bloques a otros, se producen movimientos relativos que se acusan en pequeños desniveles a ambos lados de las juntas de dilatación, como puede verse en la FIG. 06.

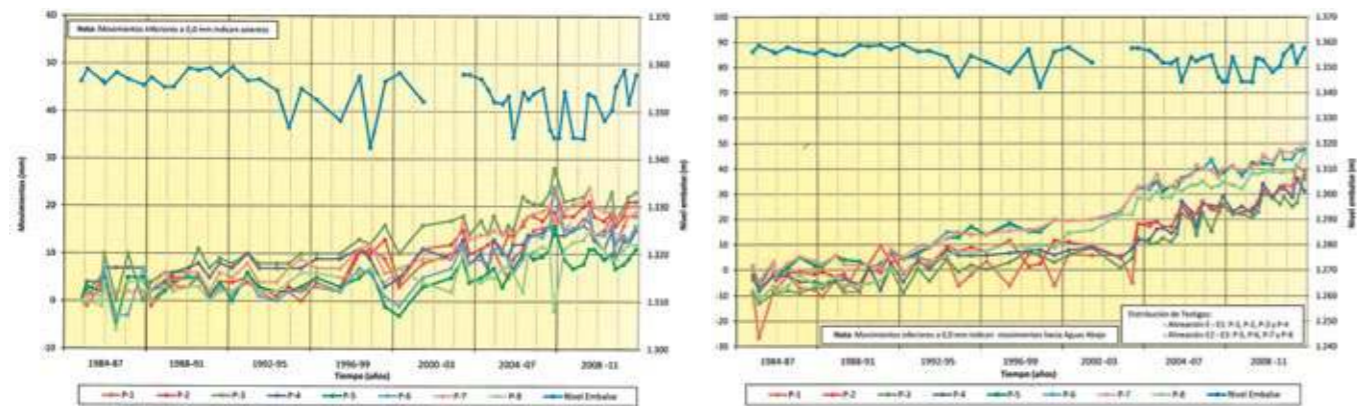
El problema se detectó porque en las medidas rutinarias de auscultación se producían, a partir de 1994, pequeños incrementos en las cotas de nivelación de coronación y desplazamientos de la misma. En las FIG. 07 y 08 pueden verse los gráficos de evolución de cotas y desplazamientos desde 1984, en que se implantó la sistemática de auscultación, hasta el momento actual. La presa fue construida entre 1966 y 1969. Puede verse una tendencia continuada en la evolución de los datos. Esta experiencia pone de manifiesto la importancia de los controles sistemáticos de las presas.

El problema de Paso Nuevo puede decirse que es crónico pero no grave, pero es obligado llevar un control cuidadoso del comportamiento de la presa, que ofrece completas condiciones de seguridad.

NOTA: Hay más de 200 presas en el mundo con problemas de expansividad del hormigón. Nosotros hemos estudiado media docena de las españolas. Se le hace un seguimiento y se estudia su evolución probable. Sin problemas. Pero la Propiedad puede disentir.

(dcha.) Presa de Paso Nuevo de arco gravedad, de 72,6 m de altura (FIG. 02).





Deterioro superficial en un punto del paramento de aguas abajo (FIG. 04).

Grietas de expansividad en la galería superior (FIG. 05).

Movimiento relativo a los dos lados de una junta vertical, en la acera de aguas arriba (FIG. 06).

Movimiento en vertical de puntos de coronación (FIG. 7).

Movimiento en horizontal de puntos de coronación (FIG. 8).

(dcha.) Vertido por la válvula Howell-Bunger derecha (FIG. 03).



1.2 Galería de presión, tubería y cuencas laterales

La galería de presión se inicia en la torre de toma en la margen derecha. Es un túnel de 3,35 m de diámetro interior y 7.524 m de longitud y termina en una chimenea de equilibrio en la que se inicia la tubería de presión de 2,5 m de diámetro y 825 m de longitud (FIG. 09). Cerca del inicio de la galería de presión se conecta la cuenca del río Estós mediante el embalse creado por la presa de Estós, cuyo umbral del aliviadero tiene la misma cota, +1.360 m que la máxima del embalse de Paso Nuevo. De esta forma los excedentes de Estós, en las paradas de la central, se conducen a Paso Nuevo, donde son regulados. La presa de Estós es de gravedad de 32 m de altura y 40 m de longitud de coronación. El aliviadero es de labio fijo.

Además el caudal de las cuencas laterales del La Vall y Eriste se canaliza con azudes, tuberías y galerías y, como en el caso de Estós, se conducen a Paso Nuevo en las paradas de la central. En el perfil hidráulico incluido al principio del capítulo puede verse el esquema de los trazados de las canalizaciones.

La solución de incorporar las cuencas laterales, ya usada por E.I.A.S.A. en las centrales del Gállego, permite utilizar una superficie total de 203,09 km², en vez de los 116,63 km² que corresponden a la cuenca propia de Paso Nuevo, es decir un aumento del 74%. El hecho de que la toma esté en carga desde el embalse permite que la central pueda variar de potencia con gran velocidad, adecuándose a las necesidades de variación de potencia del sistema eléctrico. E.I.A.S.A. utilizaba esta central para ajustar la potencia de su sistema de distribución y actualmente permite participar en los servicios de ajuste del sistema, entre los que figura la regulación secundaria. Por eso las horas equivalentes de producción no son muy elevadas, pero a cambio corresponden a una energía de más calidad y más precio que, a su vez, aporta la necesaria regulación al sistema eléctrico.

Es llamativo lo acertado del diseño de la chimenea de equilibrio, que permite variaciones bruscas de potencia, y por tanto de caudal, para ajustarse al mercado secundario, sin que se produzcan sobrepresiones. Se adjunta un gráfico (FIG. 10) en el que se aprecia que la presión, al reducir la potencia de 72,4 a 8,6 MW, medida en la transición de la galería a la tubería, sólo aumenta de 30 m a 74,5 m, siendo la presión estática en ese punto de 61,7 m. La chimenea está construida en pozo, por lo que no sobresale del terreno, y su coronación es algo más alta que la máxima cota de Paso Nuevo a fin de asegurar que los caudales fluyentes de las cuencas laterales, que se incorporan en la chimenea, puedan retornar a la presa principal en las paradas de la central.

(dcha.) Tubería de presión y central de Eriste, que vierte al embalse de Línsoles (FIG. 09).



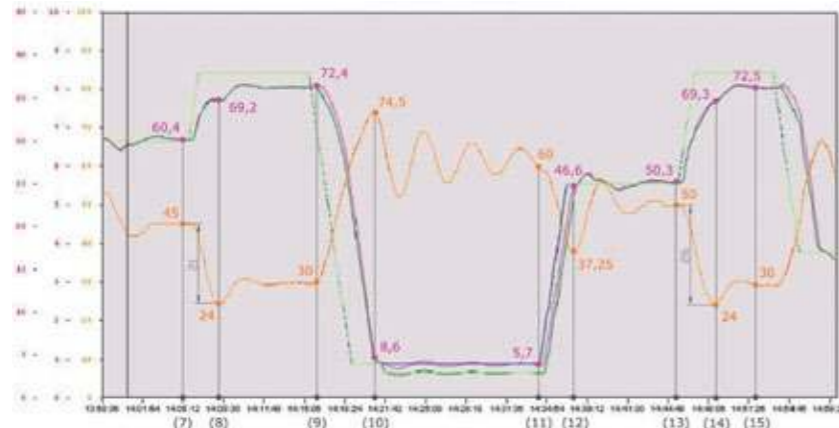


Gráfico de potencias y presiones en aperturas y cierres de la central de Eriste (FIG. 10).

1.3 Medición de caudales

La potencia P de una central es: $P = \rho \cdot H \cdot Q$

siendo, ρ : rendimiento del conjunto de la instalación; H : altura neta de salto; Q : caudal en peso

El rendimiento es el producto del rendimiento de la turbina, por el del multiplicador, por el del generador y por el del sistema de transformación. En una buena instalación el producto de todos ellos suele ser de 0,86 (la expresión es independiente del sistema de unidades). La mayor parte de las instalaciones carecen de medidores de caudal. La potencia medida, por ejemplo los 72,4 MW del gráfico anterior, es el resultado del producto de H por el rendimiento ρ y por el caudal en peso.

Dado que no sabemos el caudal que realmente circula, ni cuál es el rendimiento de la instalación, una potencia inferior a la teórica puede deberse a una pérdida de rendimiento o a que circula un caudal inferior al nominal. La solución del problema es instalar, en cada tubería y en cada turbina, un sistema de medición de caudales de precisión.

Este problema se da en la central de Eriste y en casi todas las de Aragón y requiere una medición con caudalímetros de precisión. En Acciona se ha abordado el tema en base a instalar caudalímetros de ultrasonidos en las tuberías generales y sistemas Winter-Kennedy en las turbinas, con lo cual se tendrá una información real de los rendimientos y su evolución. La solución es costosa y requiere tener seguridad de las mediciones. Se plantea hacerlo de una manera progresiva en todas las centrales.



Interior de la central de Eriste (FIG. 12).



Central de Eriste, exterior (FIG. 11).

1.4 Central

El salto de la Central es de 283 m, consta de dos grupos con turbinas Francis de eje vertical, con una potencia total de 87,6 MW. El edificio tiene un diseño moderno, de calidad, amplio, con una estructura muy elegante (FIGS. 11 y 12).

1.5 Centro de control (CECOER)

Cuando se construyó Paso Nuevo se disponía de personal permanente en la presa que atendía el funcionamiento de las compuertas en avenidas. También se disponía de personal en la central las 24 horas del día. Actualmente las centrales y las presas están automatizadas, no hay personal de vigilancia permanente y todo el sistema se dirige y se controla desde un centro de control, sin perjuicio del apoyo de personal de campo en el caso de que sea necesario. En el caso de las presas controladas por Acciona el centro (CECOER) se encuentra en Sarriguren (Navarra).



Sala de control del CECOER (FIG. 02b). Antena de comunicaciones del edificio de Acciona Energía en Sarriguren, Navarra (FIG. 03b).

En el CECOER (FIG. 02b) se tiene información de la situación de todas las centrales y embalses, y se controla el funcionamiento en condiciones normales y en avenidas. Desde el CECOER se establece la potencia que debe generar en todo momento cada grupo de cada central para adecuarse a la programación efectuada el día anterior por el equipo correspondiente, en función de los caudales del río, de las posibilidades de regulación, de las previsiones meteorológicas, del precio de la energía, etc., con el objetivo de optimizar el valor de la energía generada. El personal del CECOER, presente las 24 horas de los 365 días del año, comprueba el desarrollo de las previsiones y toma las decisiones oportunas para solucionar los problemas que puedan presentarse. Es un funcionamiento completamente distinto del previsto cuando se construyeron las centrales y ha obligado a instalar sistemas de comunicación (FIG. 03b), automatismos, etc. También ha supuesto una drástica reducción del personal de operación y mantenimiento de las centrales y las presas.



Presas de Laspuña cuya toma requiere tener las compuertas cerradas. Puede verse el flotador para desvío de flotantes (FIG. 13).
(dcha.) Compuertas de Paso Nuevo cerradas (FIG. 14).

1.6 Funcionamiento en avenidas de las presas con compuertas

En las presas de aliviadero de labio fijo no hay problemas de funcionamiento en avenidas ya que, de manera completamente automática, la presa vierte el caudal que llega al embalse, con la pequeña laminación que supone el aumento de cota necesario para asegurar el caudal vertido por el aliviadero.

En las presas con compuertas el problema es diferente. Cuando se proyectaron había personal permanente en las presas, en muchos casos con viviendas en sus proximidades, que podía atender directamente el manejo de las compuertas para controlar las avenidas. En algunas presas las compuertas se tienen cerradas para aumentar el volumen de agua almacenado y en otras es necesario que lo estén para asegurar el paso del agua a la toma de la central (FIG. 13). En ambos casos es muy importante tener garantizado el sistema de funcionamiento de las compuertas en las avenidas.

NOTA: “la derivada de su variación” es la derivada segunda y creo que quiere decir la primera.



Se suele decir que no es probable que ninguna de estas presas se caiga, pero sí es posible que en una avenida haya un funcionamiento deficiente que provoque caudales superiores a los incidentes en el embalse y cause daños achacables a una mala explotación. Como la presa de Paso Nuevo tiene compuertas (FIG. 14), a continuación detallamos el sistema que se sigue en Acciona. En Paso Nuevo las compuertas son de tipo Taintor.

El actual sistema de funcionamiento se basa en disponer de autómatas programados para mantener una cota de embalse, de modo que la apertura se ajuste a ese objetivo. Los programas operan en base a la cota del embalse y a su derivada con lo que son bastante precisos. Pero una avería del sistema, si no se verificase su funcionamiento, podría dar lugar a una apertura no controlada que en casos de compuertas Taintor o verticales puede suponer caudales muy elevados, superiores a los de la avenida por lo que su funcionamiento se reduce a los desagües de fondo y a intervalos acotados de compuertas Taintor. Por ello resulta fundamental la garantía de reducir al mínimo el riesgo de una apertura involuntaria de compuerta.

Es fundamental que el personal que atiende las presas en las avenidas y el del CECOER, que lleva la vigilancia del sistema, tenga claro cuál debe ser su comportamiento, máxime cuando en una avenida hay un evidente nerviosismo e incluso dificultades debidas a la climatología que pueden inducir a actuaciones equivocadas.

Dada la trascendencia del tema existe un documento titulado “Criterios de gestión de avenidas” para cada una de las presas con compuertas, que debe ser seguido rigurosamente por todas las personas y dependencias de la empresa implicadas. Para facilitar su aplicación los documentos de todas las presas tiene una redacción similar, pero adecuadas a las circunstancias específicas de cada presa. Este documento forma parte de las Normas de Explotación de cada presa, que han sido aprobadas por la Administración. Dada su importancia se tiene una edición separada de los mismos que obra en poder del personal que atiende cada presa, así como de los servicios generales de la empresa (CECOER, Obra civil, Programación de producción, Generación Hidráulica, Comunicaciones etc.)

Estos documentos han tenido una elaboración muy cuidadosa, se han contrastado con el personal que interviene en las diferentes secciones de la empresa y se les ha dado una tramitación formalmente muy rigurosa para garantizar que sólo existe una única versión aplicable. Para su elaboración ha sido fundamental el contraste con la experiencia real por lo que son el reflejo de la experiencia acumulada y se contrastan en las avenidas que se producen.

En primer lugar se definen los criterios básicos consistentes en garantizar la seguridad de la presa y conseguir que el caudal vertido por la presa en una avenida no sea superior al que entra en el embalse.

Se definen varios escenarios:

- Explotación normal: el funcionamiento se ajusta a las condiciones programadas de producción energética y no son previsibles aperturas de compuertas.

- Prealerta: existiendo razonable probabilidad de una entrada de altos caudales en el embalse, hay razones para incrementar la vigilancia y, en caso necesario, llevar a cabo actuaciones preventivas.

El escenario de prealerta se declara por el CECOER cuando el Instituto Nacional de Meteorología ha establecido alerta amarilla, naranja o roja para la zona o cuando el embalse experimenta una subida superior a determinado valor en la última hora. Los programas del sistema avisan de esta situación.

La prealerta supone únicamente un aumento de control y una preparación del personal que pueda necesitarse tanto en la zona como en el CECOER.

- Avenida: Se considera escenario de avenida la situación en la que existe alta probabilidad de que afluyan al embalse caudales tales que su evacuación y el control de cota del embalse requiera la adopción de medidas específicas, tales como el aumento del caudal turbinado y/o la apertura de compuertas de aliviadero.

Se distingue entre avenida con posibilidad de verter en 10 horas o en 4 horas. En el primer caso se avisa al coordinador de guardia de la agrupación y a los campings situados en la orilla del río. En el segundo se avisa al personal de guardia para que se desplace a la presa, al jefe de turno del CECOER, al Coordinador de guardia de la zona y al representante de la presa ante la Administración; también se dispone en el CECOER del personal que pueda necesitarse para un seguimiento cuidadoso de la avenida, sobre todo teniendo en cuenta que normalmente afectará a varias presas y se deberá llevar un control detallado de la situación en todas ellas. En el exterior de la empresa se avisa al SAIH del Ebro y a Protección Civil de Aragón, informando de la previsión de vertido propuesto, en base a la evolución de las cotas del embalse y en aplicación de los programas de funcionamiento establecidos.

El sistema de apertura de los desagües depende de las características de cada presa. En Paso Nuevo el personal desplazado a la presa empieza por abrir uno de los desagües de fondo en base a los datos de una tabla que figura en el Documento y se encuentra en la presa, que trata de mantener la cota del embalse. La apertura se ha calculado en función del caudal incidente en el embalse que se ha determinado de acuerdo con la subida experimentada en los últimos 15 minutos. Una vez abierto lo que proceda se conecta el autómata que regulará la apertura de esa válvula y también la del otro desagüe de fondo. En caso de que no sea posible controlar la cota del embalse se abrirán, desde la presa, una o varias compuertas Taintor para mantener la cota, siguiendo las instrucciones de la tabla elaborada al respecto a partir de la subida del nivel en los últimos 15 minutos.

La apertura y conexión del regulador se hace desde la presa y nunca el regulador actúa sobre las compuertas Taintor.

Únicamente en una presa en que puede haber dificultades de acceso y el funcionamiento de clapetas automáticas puede dar lugar a caudales bruscos y muy importantes, se autoriza conectar el regulador desde la central o desde el CERCOER.

- Emergencia: Será coincidente con el Escenario 0 que se define en el plan de emergencia de la presa. A partir de este escenario la gestión de la avenida vendrá definida por el plan de emergencia. En el apartado 2 PLANES DE EMERGENCIA DE PRESAS DE DIFÍCIL ACCESO correspondiente a las presas de la central de Baños detallamos lo relativo a los Planes de Emergencia de las presas.



Presa de Línsoles (FIG. 15). (dcha.) Vertido por la válvula de mariposa (FIG. 16).

2. CENTRAL DE SESUÉ

La central toma el agua del embalse de Línsoles y vierte en el embalse de Villanova, enfrente de la toma de la central de Seira.

2.1 Presa de Línsoles

La presa de Línsoles es de gravedad (FIG. 15), de 37,5 m de altura y 274 m de longitud de coronación. El embalse tiene 2,17 Hm³ de capacidad. Dispone de un aliviadero de dos vanos de 12 m de anchura, equipados con compuertas verticales de 5 m de altura y un desagüe de fondo que se regula con una válvula de mariposa de 1,5 m de diámetro (FIG. 16). La cota de coronación es la +1.077,50. El hormigón de la presa se mantiene en muy buenas condiciones. Una toma a presión conduce el agua en un túnel de 3,35 m de diámetro interior y 4.585 m de longitud hasta la tubería de la central, que es de diámetro variable entre 2,42 y 2,72 m, y de 290 m de longitud.





Exterior de la central de Sesué (FIG. 17).

2.2 Central de Sesué

El salto de la central es de 146 m. Tiene dos grupos Francis de eje horizontal, con una potencia total de 36 MW. El edificio de la central de Sesué es similar al de Eriste (FIGS. 17 y 18).



Interior de la central de Sesué (FIG. 18).

3. CENTRAL DE SEIRA

El aprovechamiento hidroeléctrico de Seira fue el primero construido por Catalana de Gas en el Ésera. Las obras se iniciaron en 1912. Utiliza únicamente aguas fluyentes, que desvía mediante el Azud de Villanova.

3.1 Azud

El azud, llamado de Villanova, es de mampostería, con vanos de compuertas y vanos de aliviadero de labio fijo (FIG. 19). La cimentación se hizo con pozos indios hasta la roca. Es de destacar la calidad de los remates de piedra del azud, de la toma de las embocaduras de los túneles etc. Resulta llamativo su buen estado de conservación después de 100 años de funcionamiento.

Tiene una toma en la que se inicia la canalización, en lámina libre, hasta la cámara de carga de la central. La existencia de mano de obra abundante en el momento de la construcción dio lugar a que las rejas de la toma no tuvieran sistema automático de limpieza. Hoy día esta situación no es sostenible y se tiene previsto instalar, en todas las tomas, rejas de limpieza automática.

Es de destacar que cuenta, además de algunos de poca longitud, con un túnel de 8.771 m de longitud. En la memoria del proyecto justifican la opción del túnel “descartando la construcción de un canal a cielo abierto por la fuerte inclinación del terreno y la espesa capa de piedras sueltas”. Hicieron un riguroso estudio del trazado eliminando algunos tramos “por lo deleznable del terreno.” Impresiona la construcción de un túnel de esa longitud hace 100 años y es obligado aludir a lo acertado de esta solución, ya que el túnel no ha dado nunca problemas. Es llamativa también la calidad de los inicios y terminaciones de los túneles (FIG. 21).



Azud de toma de la central de Seira (FIG. 19).



Central de Seira, nave de turbinas y tuberías de llegada de agua (FIG. 25).
(izda.) Embocadura de salida del primer túnel del canal de Seira (FIG. 21).

3.2 Central

La central, además de ser la primera de las centrales del Ésera de gran potencia, es la más espectacular. El salto es de 144 m y consta de cuatro grupos Francis de eje horizontal con una potencia total de 36,7 MW. En las fotos siguientes puede verse el interior (FIGS. 22 y 23) y el exterior (FIG. 25). Se conservan todavía las tuberías de carga, que son de acero roblonado. Puede verse el buen diseño, la calidad de la construcción, tanto interior como exterior, que ha permitido que se mantenga con sus condiciones iniciales, y la amplitud de los espacios, ya que el parque de transformadores estaba en el interior. Existe una muy importante colección de fotografías de las obras de construcción de la central de Seira. Resulta espectacular la construcción de la cimentación de la presa de toma (Villanova) con cajones de aire comprimido y las de la perforación del túnel, que tiene nada menos que 8,871 m de diámetro.



Central de Seira, cuadros de control (FIG. 23).



Central de Seira, interior de la nave de turbinas y generadores (FIG. 22).



Exterior de la central de Argoné con el desagüe al embalse la presa de Campo (FIG. 27).

4. CENTRAL DE ARGONÉ

Justo aguas abajo del vertido de la central de Seira está la toma de la central de Argoné (FIG. 26), que es similar a la de Seira, con pilares y paramentos de mampostería. El agua discurre en lámina libre por túneles, acueductos y canales hasta la cámara de carga. Los túneles tienen 4.980 m de longitud y los tramos a cielo abierto 3.713 m. El salto es de 85,7 m. La central tiene dos grupos Francis de eje vertical con una potencia total de 14,8 MW. El edificio de la central, de piedra y tramos enlucidos, es muy elegante, amplio, bien diseñado (FIGS. 27 y 28). Las tuberías son de acero roblonado con unas juntas de dilatación muy singulares (FIG. 29). El desagüe vierte al embalse de la presa de Campo.



Azud de toma de la central de Argoné (FIG. 26).



Junta de dilatación de onda en la tubería de la central de Argoné (FIG. 29).
(dcha.) Interior de la central de Argoné (FIG. 28).





Puente grúa para bajar los equipos a la entrada de la central desde la coronación de la presa (FIG. 31).
(dcha.) Presa y central de Campo, vertiendo por el aliviadero y el morning-glory (FIG. 30).

5. CENTRAL DE CAMPO

El desagüe de la central de Argoné vierte al embalse de Campo, creado por una pequeña presa de gravedad de 17,6 m de altura, aguas abajo de la cual está la central de pie de presa, que tiene un salto de 10 m con un grupo Francis de eje horizontal, de 1,7 MW de potencia. El conjunto de presa, central, aliviadero y escala de peces es de una gran calidad, alternando tramos de mampostería con elementos de hormigón (FIG. 30). Destacan el morning-glory, construido utilizando el túnel de desvío, y el puente grúa (FIG. 31) que permite bajar los equipos desde el pasillo de coronación a la entrada de la central.





II. CUENCA DEL CINCA

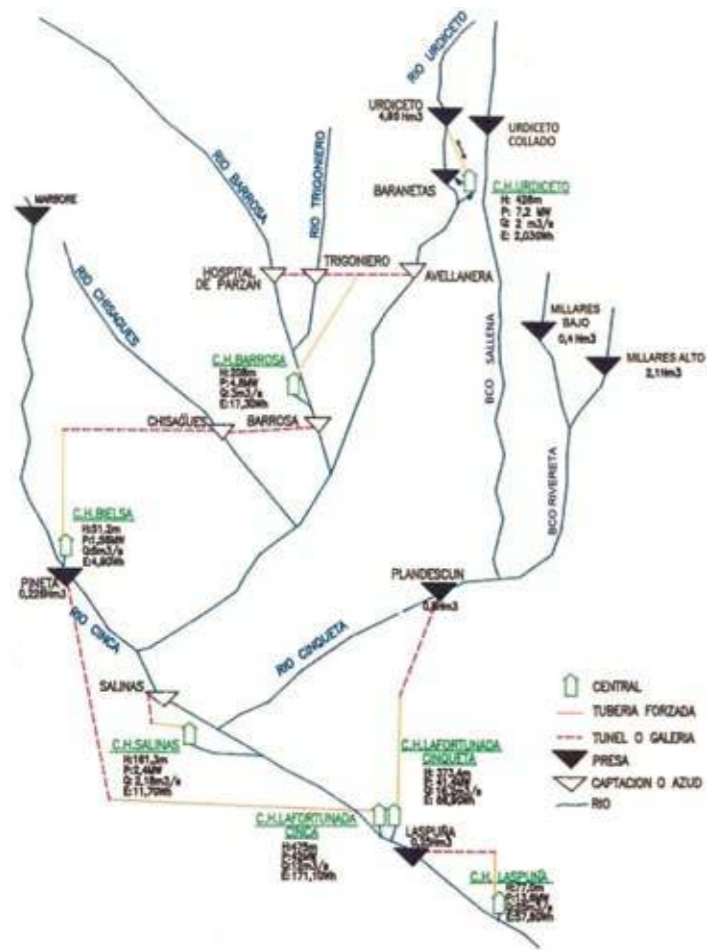


TABLA 4. CENTRALES DEL CINCA

Central	Potencia MW	Caudal max. m ³ /s	Salto m	Producción GWh/año	Horas equival.
Urdiceto	7,1	2,0	426,0	0,6	86
Barrosa	3,6	3,4	200,0	16,7	4.625
Bielsa	1,6	5,0	51,2	4,9	3.062
Lafortunada Cinca	41,4	12,0	453,6	160,5	3.878
Lafortunada Cinqueta	40,8	16,0	359,6	90,7	2.223
Salinas	2,4	2,2	157,5	11,7	4.885
Laspuña	14,3	24,0	77,0	55,9	3.910
Mediano	67,0	120,0	76,0	171,1	2.553
El Grado I	18,5	80,0	27,8	58,3	3.152
El Grado II	25,7	40,0	80,0	82,5	3.212
TOTAL	222,4			652,9	

II. CUENCA DEL CINCA

Como ya hemos comentado, el aprovechamiento del Cinca fue construido por Hidroeléctrica Ibérica para suministrar energía a Bilbao con 6 centrales: Urdiceto, Barrosa, Bielsa, Lafortunada Cinca, Lafortunada Cinqueta, Salinas y Laspuña; y se completó más tarde con las 3 centrales construidas por ENHER en las presas de la Confederación Hidrográfica del Ebro de Mediano y El Grado. En la Tabla 4 pueden verse los datos más significativos de cada central.

Las centrales de Hidroeléctrica Ibérica, con una potencia total de 111,2 MW, iniciaron el suministro a Bilbao el año 1923. La redacción del proyecto se había iniciado en 1917 y las obras comenzaron en 1918. Hubo más de 1.000 personas trabajando, debiendo empezar por construir carreteras para acceder a los emplazamientos de las presas.

La central más importante es el conjunto de Lafortunada, que tiene dos tomas, en los ríos Cinca y Cinqueta, pero cuya maquinaria está en un edificio único. Su producción total es de 251,2 GWh. A pesar de la gran potencia instalada, los embalses de toma son muy reducidos: 0,30 Hm³ el de Pineta, que es la toma del río Cinca y 0,9 Hm³ el de Plandescún, que es la toma del río Cinqueta. Barrosa y Salinas sólo tienen azudes de desvío, y Laspuña tiene un embalse muy reducido, de 0,35 Hm³.

Como en el caso del río Ésera, lo reducido de los embalses es debido a que contaban con la reserva de nieve que se acumula en la parte alta de la cuenca. El Monte Perdido, +3.355 m, está en la cuenca del embalse de Pineta. La curva mensual de producción de las centrales hasta Laspuña, es similar a la indicada para el Ésera.

Es habitual en estas presas un diseño de escollera con pantalla de hormigón, con objeto de aprovechar la piedra del emplazamiento, lo cual, en algún caso, como Urdiceto, ha dado problemas de impermeabilización.

Por otra parte, es de destacar en estos valles la variación de las características hidrológicas para distintos valles en función de su orientación, existiendo según los años fuertes desequilibrios de aportación. Compensaron, en parte, lo reducido de los embalses de toma recreciendo ibones naturales, que se llenan en el deshielo y se abren las válvulas de desagüe a medida que baja el caudal del río. En la Tabla 5 se resumen sus datos,

TABLA 5. EMBALSES DE REGULACIÓN

Presa	Cuenca del río	Capacidad (Hm ³)	Altura de presa (m)	Cota coronación (m)	Superficie cuenca (Km ²)	Clasificación presa
Marboré	Cinca	1,7	7	2.602	0,94	B
Millares Alto	Cinqueta	2,1	5	2.515	0,90	B
Millares Bajo	Cinqueta	0,4	9,25	2.352	1,20	A
Ibón del Sen	Cinqueta		0	2.350	0,95	-



Puede verse la capacidad relativamente importante de los embalses tanto respecto a la altura de las presas como a la superficie de las cuencas. Lo primero es debido a que son recrecidos de ibones naturales, con lo que el embalse tiene mayor altura que la presa. Son presas de mampostería con pantalla de impermeabilización de hormigón, próxima al paramento de aguas arriba. Por su reducida altura (menos de 10 m) ninguna es gran presa, pero sin embargo los posibles daños que una rotura puede producir, dado el volumen de embalse y la existencia de edificaciones en los cauces de aguas abajo ha motivado que Marboré (FIGS. 01 y 02) y Millares Alto (FIGS. 03 a 06) están clasificadas como B y Millares Bajo (FIG. 07) como A. Ello obliga a redactar e implantar planes de emergencia. El Ibón del Sen (FIG. 08) es natural y, aunque aprovechado hidroeléctricamente, no tiene la calificación de presa.

En todas estas presas las tuberías de desagüe están muy profundas y situadas en túneles, ya que se proyectaron para aprovechar todo el volumen de embalse, por lo que las entradas a las cámaras de llaves están excavadas en roca. En estas presas se cierran las válvulas de desagüe cuando empieza el deshielo y se abren cuando interesa utilizar su volumen de agua almacenado. El acceso a todas ellas se hace en helicóptero.

Un tema importante de estas presas es que se encuentran en Parques Naturales, lo que impone muchas limitaciones a la operatividad e incluso al mantenimiento y a las condiciones de seguridad. Se pone de manifiesto la necesidad de que las presas dispongan de un marco jurídico de nivel suficiente para que presuntas razones ambientales no pongan en cuestión trabajos de mantenimiento e incluso de seguridad, máxime cuando estas presas son anteriores a la implantación de los Parques Naturales.

La presa de Marboré requiere trabajos de impermeabilización de la toma y quizá del paramento de aguas arriba. Las de Millares Alto y Bajo requieren la regularización de la coronación y la construcción de aliviaderos superficiales. Las centrales construidas por ENHER en las presas de Mediano y El Grado tienen un planteamiento totalmente diferente. Mediano y El Grado I son centrales de pie de presa que aprovechan el desnivel del agua embalsada, y El Grado II turbinas excedentes del canal del Cinca. El aprovechamiento se hace en base a los desembalses programados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, y que están condicionados por las demandas de riego del Canal del Cinca.

(En la página anterior, de izquierda a derecha y de arriba a abajo). Presa de Marboré (FIG. 01). Paramento de aguas arriba y embalse de Marboré limitado a la cota de la tubería de desagüe (FIG. 02). Presa de Millares Alto (FIG. 03). Paramento de aguas arriba y pantalla de impermeabilización de Millares Alto (FIG. 04). Embalse de Millares Alto, desde el pie de presa, muy por encima del nivel del agua (FIG. 05). Acceso a la cámara de llaves de la presa de Millares Alto (FIG. 06). Paramento de aguas abajo de Millares Bajo (FIG. 07). Ibón del Sen. Puede verse la entrada a la galería del desagüe (FIG. 08).

1. CENTRAL DE URDICETO

Una central muy singular de este conjunto es la de Urdiceto. Consta de un embalse de bastante capacidad, 5 Hm³, situado a mucha altura –la cota de coronación es la +2.370,44– y una central de generación y bombeo con 426 m de salto, situada aguas abajo del embalse de Baranetas. Cuando las centrales del Cinca están a plena producción, se bombea de Baranetas a Urdiceto, donde se acumula el agua para producir, en toda la cadena de centrales, cuando baja el caudal natural. De esta forma compensaron, en parte, la falta de embalses de regulación en los ríos principales.

- El embalse de Urdiceto tiene una cuenca de 1,10 Km² y una aportación de 2,85 Hm³. Su volumen de embalse es de 5 Hm³ y la cota de coronación 2.370,44.
- El embalse de Baranetas tiene una cuenca 2,64 Km² y una aportación de 6,84 Hm³. Su volumen de embalse es de 0,02 Hm³.

La generación se produce en las épocas de menores aportaciones de la cuenca. Se realiza, en todas las centrales de la cuenca con un altura de generación de Urdiceto (426 m) + Barrosa (200 m) + Bielsa (51 m) + Lafortunada (454 m) + Laspuña (74 m), es decir un total de 1.205 m. Con esa altura, de 1.205 m, la energía acumulada supone 2,92 kwh/m³ y 14,60 GWh en la energía total almacenada en el embalse de Urdiceto. Resulta sorprendente que este planteamiento se realizase en 1928 y es, indudablemente, una de las grandes actuaciones hidroeléctricas del Pirineo Aragonés.

1.1 Presa de Urdiceto

La presa de Urdiceto es de escollera con pantalla de hormigón aguas arriba (FIG. 09). Tiene una altura de 26,40 m y 200,4 m de longitud de coronación. Se construyó recreciendo un ibón natural por lo que la altura del embalse es mayor que la de la presa y la toma sale en túnel por debajo de la cimentación. Lo elevado de su cota hace que en invierno se encuentre cubierta por la nieve (FIG. 10).



Embalse de acumulación de Urdiceto (FIG. 09).



Embalse de Urdiceto en invierno (FIG. 10).



Aforo de filtraciones de la parte derecha de la presa de Urdiceto con el embalse en la cota +2.357,50 (FIG. 12).

(dcha.) Paramento de aguas arriba de la presa de Urdiceto en mal estado, especialmente la parte izquierda (FIG. 11).

Hay dos salidas de filtraciones de la presa. Con el embalse en la cota +2.357,50 el caudal de la parte derecha es de 16 l/s (FIG. 12) y el de la parte izquierda de unos 30. Este mayor caudal es acorde con el peor estado de la lámina en esta parte de la presa. La pantalla de hormigón presentó problemas de estanqueidad y se colocó, posteriormente una lámina de PVC protegida por un gunitado, que se encuentra actualmente en malas condiciones (FIG. 11), por lo que la presa presenta fugas que limitan la cota de llenado y está fuera de servicio el bombeo. Se está proyectando la colocación de una nueva lámina de impermeabilización.





Embalse de Baranetas y Central de Urdiceto, de generación y de bombeo (FIG. 13).

1.2 Central de Urdiceto y presa de Baranetas

Embalse de Baranetas y Central de Urdiceto es tanto de generación como de bombeo. El edificio es muy grande porque en el vivían 8 familias que quedaban aisladas por la nieve varios meses del año, ya que se encuentra en la cota +1900.

El salto de la central es de 426 m y la central está equipada con dos grupos de bomba y turbina Pelton acoplados al mismo generador (FIG. 14). La potencia total de generación es de 7,1 MW. Las bombas están situadas por encima de la cota del embalse de Baranetas por lo que tiene un sistema de cebado muy ingenioso. Una de ellas esta en condiciones de utilización y la otra requiere una reparación, que se va realizar cuando se arreglen las filtraciones de la presa de Urdiceto.



Central de Urdiceto con dos grupos de generador, turbina Pelton y bomba (FIG. 14).



Central de Barrosa con la cámara de carga del canal a Bielsa (FIG. 15).

2. CENTRAL DE BARROSA

La central de Barrosa capta el agua de tres cuencas que confluyen en una cámara de carga en la que se inicia la tubería de presión. Una de las tomas está en la cuenca en la que vierte la central de Urdiceto. El salto es de 200 m, el caudal turbinado de 3 m³/s y la potencia de 3,6 MW. La central tiene una turbina Francis de eje horizontal. Vierte en la toma del canal que conduce el agua a la central de Bielsa. A la toma se incorpora el agua del río Barrosa, mediante una presa de derivación.

El edificio, situado junto a la carretera, es de piedra, con tejado con gran pendiente. Se conserva en muy buenas condiciones.



Central de Barrosa en invierno (FIG. 16).



Azud de desvío del río Barrosa para canalizarlo a la cámara de carga del canal de Bielsa (FIG. 18).
Puede verse que está pendiente de reparación el pie del azud.
(dcha.) Cámara de carga del canal de Bielsa que recibe el desagüe de Barrosa (FIG. 17).





(arriba) Central de Bielsa con el caracol, distribuidor y su accionamiento originales (FIG. 20).

3. CENTRAL DE BIELSA

La previsión inicial de la central de Lafortunada Cinca consistía en construir en Pineta un embalse de bastante capacidad, por lo que el canal de Barrosa llega a Pineta a bastante altura respecto al cauce, a fin de verter sobre la cota de máximo embalse. Pero problemas geológicos desaconsejaron su construcción, que se tuvo que limitar a un azud de sólo 7 m de altura; con lo que el canal llega a Pineta con una altura de 51 m, que se aprovechó construyendo la central de Bielsa que vierte al azud de Pineta. Se trata, por tanto, de una central no prevista inicialmente.



Central de Bielsa en invierno. Vierte al embalse de Pineta (FIG. 21).



Clapetas abatibles y compuertas verticales de la presa de Pineta (FIG. 22).
(dcha.) Aliviadero de Pineta casi anegado en avenida, con las clapetas abiertas y vertiendo por todas las compuertas (FIG. 23).

4. CENTRALES DE LAFORTUNADA CINCA Y LAFORTUNADA CINQUETA

En la central de Lafortunada están instaladas las turbinas de la toma del río Cinca, situada en la presa de Pineta y las del río Cinqueta, que tiene la toma en la presa de Plandescún. El conjunto tiene una potencia de 82,2 MW y una producción anual media de 250 GWh, la mayor de todas del Pirineo Aragonés, y que en 1931 suponía el 31 % del total hidroeléctrico de España.

4.1 Presa de Pineta

La presa de Pineta, reducida a la altura actual, es de escollera con pantalla de mampostería aguas arriba y con el paramento de aguas abajo de sillería con juntas de mortero. La altura es 7 m y la longitud de coronación de 182 m, a la cota +1.141,53. Tiene la toma en el estribo derecho, en el que se inicia una canal de 9.878 m en túnel y 4.060,30 m en canal de grandes dimensiones por el que se puede circular en coche, para lo cual tiene una rampa de acceso muy bien diseñada.

El aliviadero se encuentra en la margen izquierda y consta de 10 vanos de 7 m de longitud y dos clapetas de apertura automática de 11,50 m. Tiene limitaciones de evacuación en el canal de desagüe, que producen el anegamiento de los vertederos y, por tanto, reducen el caudal que, teóricamente podría verter de estar en lámina libre, dando lugar a que en las grandes avenidas la capacidad de evacuación sea insuficiente y el embalse llega a verter por encima de la coronación de la presa.





Aterramiento del embalse de Pineta que llega a las proximidades de las compuertas abatibles (FIG. 25).

El embalse se encuentra bastante aterrado (FIG. 25) siendo precisa la retirada, al menos parcial, de los depósitos acumulados, ya que condiciona totalmente la explotación, dando lugar a que se produzcan vertidos de cierta importancia al cauce que pueden causar riesgos a bañistas, pescadores etc. Se está elaborando un estudio ambiental de la retirada de los depósitos para minimizar los problemas que ello pueda representar a la fauna y vegetación existentes.

El vertido ocasional por encima de la coronación de la presa no supone ningún peligro, por el buen tratamiento del paramento de aguas abajo de la presa (FIG. 24), pero se está estudiando ampliar la capacidad de desagüe con un vertedero adicional. Además tiene 4 desagües de fondo regulados con compuertas verticales, cuya capacidad total de desagüe es de $62,90 \text{ m}^3/\text{s}$.



Presa de Pineta con el paramento de aguas abajo de mampostería hormigonada (FIG. 24).



Aliviadero de clapetas abatibles de Plandescún (FIG. 27). (dcha.) Presa de Plandescún (FIG. 26).

4.2 Presa de Plandescún

La central de Lafortunada Cinqueta tiene la toma en el embalse de Plandescún de 0,43 Hm³ de capacidad. La presa es de escollera con pantalla de hormigón aguas arriba, de 16,80 m de altura y 239 m de longitud de coronación, a cota +1.051,20. Se encuentra en muy buenas condiciones (FIG. 26).

Inicialmente se construyó un aliviadero de 3 clapetas de funcionamiento automático en el estribo derecho (FIG. 27), que desaguan a un túnel que canaliza el vertido al río Cinqueta. En una gran avenida se comprobó que el túnel creaba una sección crítica que producía el anegamiento del vertedero, de modo similar a lo comentado del aliviadero de Pineta, y, por tanto, reducía sensiblemente su capacidad de evacuación. El caudal de posible vertido de las clapetas era de unos 800 m³/s y el real, limitado por el túnel, es de 158 m³/s, por lo que se construyó otro aliviadero complementario en el estribo izquierdo de la presa equipado con una compuerta Taintor y con una clapeta abatible en su parte superior (FIGS. 28 y 29), su capacidad de desagüe es de 327 m³/s, con lo que el total que se puede desaguar es de 485 m³/s, siendo la avenida de 500 años de 379 m³/s. Actualmente se controlan las avenidas con la clapeta abatible y, si no resulta suficiente se abren las clapetas abatibles del estribo derecho y, en caso de muy grandes avenidas se abre la Taintor del estribo izquierdo.





Aliviadero del estribo izquierdo de Plandescún (FIG. 28).
Compuerta Taintor con clapeta superior de Plandescún (FIG. 29).



Cámara de carga de la Lafortunada Cinca a 454 m sobre el río (FIG. 31).

4.3 Central de Lafortunada

En la terminación del canal de Lafortunada Cinca hay una cámara de carga en la que se inician las tuberías de 454 m de desnivel y 1.658 m de longitud (FIG. 31). El conjunto resulta impresionante.



En las fotos de la época pueden verse la ejecución de las obras (FIGS. 32 Y 33).

Colocación de tubería en la central de Lafortunada (FIG. 33).

(dcha.) Central de Lafortunada y la tubería de presión de la toma del Cinca (FIG. 32).





Central Lafortunada, tuberías de presión de la toma del Cinqueta con 360 m de salto y paso del río de las tuberías del Cinca (FIG. 34).

De la central de Lafortunada se conservan en su estado original las presas, los túneles y canales, las tuberías, el edificio de la central, las turbinas, los generadores etc. Es sorprendente el buen estado de todas esas obras que tienen 90 años de utilización. La central tiene 5 grupos de turbinas Pelton, 3 del Cinca y 2 del Cinqueta en un edificio compacto (FIGS. 34 y 35), con numerosos edificios auxiliares de oficinas, talleres, almacenes etc., ya que constituye el centro de trabajo de las centrales de la cuenca.



Interior de la central de Lafortunada con sus 5 grupos (FIG. 35).



Central de Salinas, subestación y edificio de antiguas viviendas (FIG. 40).

El actual pueblo de Lafortunada, como pasa en otros casos como Seira, era el conjunto de edificios construidos para el personal, talleres etc. de las obras durante la construcción del conjunto hidroeléctrico del Cinca (FIG. 37). Su proximidad a la central crea problemas de ruidos que se está en vías de solucionar, aislando acústicamente la central e instalando un sistema de ventilación forzada.

5. CENTRAL DE SALINAS

La central de Salinas está en paralelo con la de Lafortunada Cinca. En el croquis hidroeléctrico y en el plano de cuencas puede verse el punto de toma, cuya superficie total es de 209,53 Km² y la cuenca diferencial con la toma de Lafortunada Cinca de 71,59 Km². El salto es de 161,3 m, el caudal turbinado de 2,18 m³/s y la potencia de 2,4 mW. La central tiene una turbina Francis de eje horizontal. Como en Barrosa, el edificio está situado junto a la carretera y es de piedra, con tejado con gran pendiente. Se conserva en muy buenas condiciones.

5.1 Central de Salinas

En la foto puede verse la central. El edificio es de pequeño tamaño y junto a él está la subestación de intemperie. Al lado de la central hay otro edificio que fue la vivienda del personal que se ocupaba de la central y que hoy no forma parte de los activos de la empresa (FIG. 40).



Edificios de Lafortunada desde la entrada a la central (FIG. 37).



Azud de Salinas con toma autolimpiante (FIG. 38).
(dcha.) Escala de peces de Salinas, adecuada al entorno (FIG. 39).

5.2 Azud de Salinas

El azud de toma de Salinas tiene 3,5 m de altura. Está construido con una toma autolimpiante (FIG. 38) de modo que el agua entra por la parte superior y los arrastres de piedras pasan por encima del azud sin entrar en el canal. Es una solución muy acertada en ríos, como el Cinca, con muchos arrastres.

En la foto se aprecia que el agua pasa por encima del azud, lo que indica que el canal va lleno, llevando el caudal de concesión y el exceso se vierte. Tiene prioridad el caudal ecológico que se vierte por la escala de peces, construida en el estribo izquierdo, ambientada con piedras arrastradas por el río que mereció un premio de Medio Ambiente (FIG. 39).





Compuerta Taintor con vertedero superior (FIG .42).
(dcha.) Presa de Laspuña con 3 grandes compuertas Taintor (FIG. 41).

6. CENTRAL DE LASPUÑA

La central de Laspuña es la de más aguas abajo construida por Hidroeléctrica Ibérica. Tiene la toma en el embalse de Laspuña y una canalización a presión hasta la central. El salto es de 77 m, el caudal turbinado de 24,18 m³/s y la potencia de 14,3 mW. La central tiene dos turbinas Francis de eje horizontal.

6.1 Presa de Laspuña

Es una presa de gravedad, de planta recta de 15,12 m de altura y 103,91 m de coronación. Tiene una gran aliviadero de tres vanos equipados con compuertas Taintor de 13,20 m de longitud y 7 m de altura, terminadas de forma que pueden producirse vertidos sobre ellas (FIGS. 41 y 42). La toma está en la margen izquierda y es preciso que el embalse se mantenga casi lleno para que circule el caudal de concesión. Además hay un desagüe de fondo entre las compuertas y la toma que se abre para limpiar el embalse de arrastres.

Como no tiene válvulas de desagüe tipo Howell-Bunger o mariposa, la regulación de las avenidas se debe hacer abriendo una o varias de las compuertas Taintor. Se sigue un procedimiento similar al indicado en la presa de Paso Nuevo: el equipo de vigilancia acude a la presa e inicia la apertura de una compuerta y una vez que se consigue mantener la cota del embalse se conecta el regulador. En caso de no conseguirlo se deja abierta la primera compuerta y se conecta el regulador a la segunda. El funcionamiento es delicado porque las tres compuertas abiertas pueden evacuar un caudal de 2.355 m³/s con el embalse en la cota de coronación. A fin de evitar riesgos, cuando el caudal incidente se estima en 100 m³/s, se abren del todo, pero de manera progresiva, las tres compuertas dejando que la presa funcione con vertido de labio fijo.





Vertiendo con las tres compuertas abiertas (FIG. 43).

En la foto FIG. 43 puede verse vertiendo en una avenida no muy grande con las tres compuertas abiertas. Previamente hay que parar la central, porque ese vertido, al menos inicialmente, implica bajar la cota del mínimo requerido para que la toma funcione en carga.



Canal de desagüe de la central de Laspuña (FIG. 46).

6.2 Central de Laspuña

El edificio es de diseño moderno, muy luminoso y se conserva en muy buenas condiciones (FIG. 46). El canal de desagüe es muy amplio.



Bifurcación de la tubería en la llegada a la central (FIG. 44).
(dcha.) Interior de la central de Laspuña, con dos grupos turbinas Francis de eje horizontal (FIG. 47).

La toma en carga se continúa en una tubería de presión, que se bifurca en dos, antes de la central (FIG. 44).



7. CENTRAL DE MEDIANO

La central de Mediano fue construida en 1969 por la EMPRESA NACIONAL HIDROELÉCTRICA RIBAGORZANA (ENHER), para aprovechar el salto del vertido de la presa de Mediano. Vierte aguas arriba del embalse de El Grado. Con estos dos embalses la Confederación del Ebro regula la aportación del río Cinca para suministrar las demandas de riego del canal del Cinca.

7.1 Presa de Mediano

La presa de Mediano es de arco gravedad de 91 m de altura y 500 m de longitud de coronación (FIG. 48), el volumen de embalse es de 438 Hm³. Fue construida por la Confederación Hidrográfica del Ebro para regulación de los caudales de riego. Tiene un aliviadero de superficie en el estribo derecho, con un vertido a media altura impresionante. La toma de la central está en la margen izquierda.

7.2 Central de Mediano

La central tiene un salto variable, con un máximo de 76 m. Consta de dos turbinas Francis de eje vertical con un caudal total de 120 m³/s y una potencia de 67 MW. Aunque el funcionamiento está condicionado a las necesidades de la regulación para el riego, es posible, dentro de unos límites, tener la central a disposición del sistema eléctrico entrando en el mercado secundario de la energía. Ello es posible porque el vertido se realiza en el embalse de El Grado y entre los dos es factible conseguir una buena regulación del Cinca.

Esta central tiene la peculiaridad de ser subterránea, alojada en una excavación en la roca, como puede verse en las FIGS. 49 a 50. Impresiona la entrada en túnel así como el conjunto de la excavación y el gran diámetro de las canalizaciones.



Presa de Mediano vista desde el estribo izquierdo (FIG. 48).



Central de Mediano, pueden verse los niveles del generador, eje y, en la parte baja el piso de turbinas con la tubería de carga (FIG. 50).



Central de Mediano, excavada en la roca (FIG 49).



(arriba) Presa de El Grado, central de Grado I e inicio del canal del Cinca (FIG. 53).

8. CENTRALES DE GRADO I Y GRADO II

El canal del Cinca se inicia en la presa de El Grado, que tiene un aprovechamiento hidroeléctrico en el inicio del canal (Grado I) y otro en un aliviadero situado a unos pocos kilómetros (Grado II). Las centrales fueron construidas en 1969 por la EMPRESA NACIONAL HIDROELÉCTRICA RIBAGORZANA (ENHER).

8.1 Presa de El Grado

La presa de El Grado es de gravedad, de 130 m de altura y 958 m de longitud de coronación, con un trazado en planta muy singular condicionado por razones geotécnicas. El volumen de embalse es de 399 Hm³. Fue construida por la Confederación del Hidrográfica del Ebro para regulación del riego. Tiene un aliviadero de central de superficie (FIG. 52) equipado con compuertas Taintor.



Aliviadero de gravedad con compuertas en la zona central de la presa (FIG 52).

8.2 Central de Grado I

La central de Grado I se encuentra en la toma del canal del Cinca, al pie del lateral derecho de la presa (FIG. 53). Tiene una potencia de 18,5 MW, con una altura de salto variable, con un máximo de 27,8 m, y con un caudal de 80 m³/s. Dispone de dos grupos Francis de eje vertical. El edificio es muy bajo y tiene el puente grúa exterior, con ventanas en la cubierta para acceder a los grupos (FIG. 54).

El desagüe se realiza en el inicio del canal y cuenta con aliviaderos laterales para limitar el caudal, que funcionan muy satisfactoriamente. Junto al desagüe de la central hay otra salida de agua de la presa, que funciona en paradas de la central.

El funcionamiento está condicionado al caudal que debe circular por el canal del Cinca y a los vertidos adicionales al río que plantee la Confederación, y que se turbinan en la central de Grado II. Está previsto construir otra central, Grado III, para turbinar el caudal ecológico vertido a pie de presa.

(dcha.) Central de Grado I. Puede verse la calidad de la ejecución (FIG. 54).



8.3 Central de Grado II

El primer tramo del canal del Cinca tiene 80 m³/s de capacidad y el resto de 40 m³/s. En la transición hay una bifurcación que conduce a la cámara de carga de la central Grado II, dimensionada para 40 m³/s.

Cerrando un barranco de la cámara de carga de la central se construyó la presa de Grado II (FIG. 55) de gravedad de 27 m de altura y 99 m de longitud de coronación. Sorprende una presa de estas dimensiones en una instalación auxiliar.

El salto es de 80 m, el caudal turbinado de 40 m³/s y la potencia de 25,7 MW. La central tiene dos turbinas Francis de eje vertical, está muy bien construida (FIG. 57), siendo llamativo el buen funcionamiento del canal del desagüe, sin la menor turbulencia (FIG. 58).

El funcionamiento de esta central esta condicionado a los planes de la Confederación, siendo frecuente que se turbinen caudales reducidos, del orden de 10 m³/s. En las paradas de la central se suspende el caudal vertido al río y, para mantener concesiones existentes aguas abajo, es preciso sustituirlo por vertidos desde la presa de Grado I, lo que requiere una coordinación que, en ocasiones, puede dar lugar a que, durante un cierto tiempo, el río se quede con únicamente el caudal ecológico vertido en la presa principal. Este problema, que es general a muchas instalaciones, es uno de los temas que deben analizarse en todas las centrales, porque implica variaciones bruscas de caudal que, en ocasiones, pueden originar problemas ambientales, de alteración de concesiones o implicar aumentos bruscos de caudal en tramos que pueden suponer riesgos para pescadores, bañistas etc.



Presa en la toma de la central de Grado II (FIG 55).



Canal de desagüe de la central de Grado II (FIG. 58).

(dcha.) Interior de la central de Grado II (FIG 57).





III. CUENCA DEL GÁLLEGO

III. CUENCA DEL GALLEGO

El aprovechamiento hidroeléctrico de la cabecera del río Gallego es especialmente interesante. Consta de 6 centrales con 29 presas y azudes construidas por E.I.A.S.A. y, las de Lanuza y Biescas II que aprovechan los saltos de presas construidas por la Confederación Hidrográfica del Ebro para regular los riegos del Gállego. En el croquis adjunto puede verse lo complicado del esquema con numerosas comunicaciones de unos cauces a otros a fin de lograr el mejor aprovechamiento hidroeléctrico de la zona. En la Tabla puede verse el detalle de presas y azudes de cada central.

1. CENTRAL DE BAÑOS

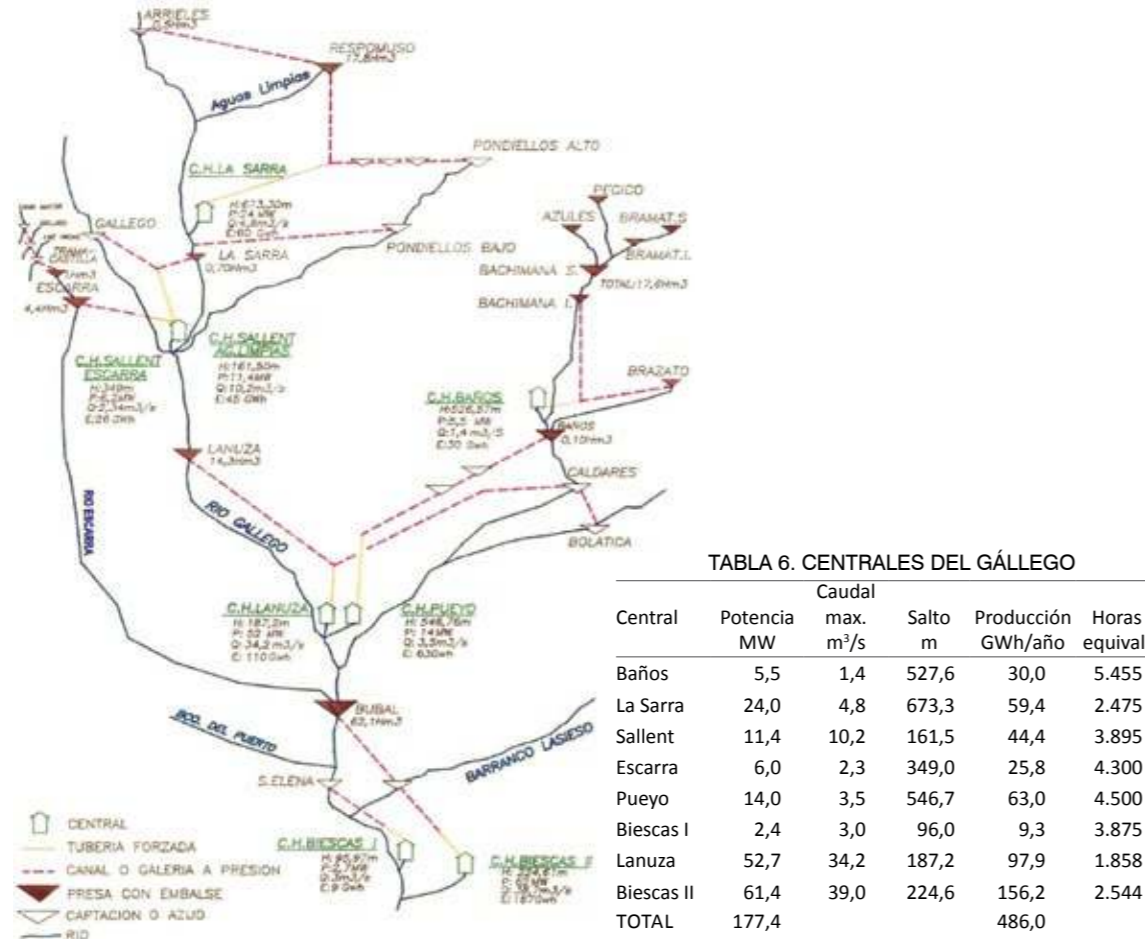
La central de Baños, situada en el recinto del Balneario de Panticosa, fue construida en 1927 por ENERGÍAS E INDUSTRIAS ARAGONESAS (E.I.A.S.A.). Aprovecha los 527 m de desnivel existentes entre el embalse de Bachimaña Inferior y el desagüe en el río Caldarés, junto al Balneario.

1.1 Presas de la central de Baños

La central de Baños tiene la singularidad de que la aportación de su cuenca se regula mediante los embalses de Bachimaña Inferior, Bachimaña Superior, Azules, Pecico, Bramatuero Superior y Bramatuero Inferior, cuyas aguas afluyen a Bachimaña Inferior, en el que está la toma a presión de la central. Existe otro embalse, Brazato, del que, mediante una tubería, se canaliza su aportación a la chimenea de equilibrio de la tubería, de modo que, si se para la central, el agua de Brazato se almacena en Bachimaña Inferior. Además a Brazato se canaliza la cuenca de Brazato Perforado y la aportación de la cuenca intermedia, La Lavaza, se introduce también en la misma chimenea. Esta solución permite que el aprovechamiento sea mayor que el correspondiente a la cuenca natural y supone un excelente aprovechamiento hidráulico de la zona. En el caso de Baños da lugar a que la producción sea tan elevada, 5.455 horas equivalentes. La misma solución, de aportar el agua de cuencas laterales en chimeneas de equilibrio, existe en otras centrales, como Ip, Eriste, Sallent, etc. De este modo las chimeneas, que evitan los golpes de ariete en los cierres de la central, hacen está labor complementaria.

Las presas de suministro a Baños están construidas con piedra de granito. Entre las principales, y las laterales para cerrar collados, hay un total de 9 con una capacidad total de 19,82 Hm³/18,68 km² que permite regular la aportación de su cuenca y de las laterales añadidas. Todas son de gravedad, de sillería o mampuestos de granito y con aliviaderos de labio fijo. De todas ellas destaca Bachimaña Superior, de 38,10 m de altura, con 5,5 Hm³ de capacidad, con paramentos de sillería de una extraordinaria calidad.

La regulación se hace principalmente en Bachimaña Superior, que tiene instalada una válvula accionada con un flotador en base al nivel de Bachimaña Inferior. Las presas de Pecio, Azules, Bramatuero Superior y Bramatuero Inferior se llenan en el deshielo y tienen válvulas de accionamiento manual que se abren de modo que se mantenga la aportación para la central, compaginando sus caudales con los de Brazato y La Lavaza.





Filtraciones en el paramento de Bachimaña Inferior (FIG. 01). Inyectando en la presa de Bachimaña Inferior (FIG. 02). Paramento de Brazato Collado revestido de poliuretano (FIG. 03).

Se encuentran entre las cotas +2.173,05 de Bachimaña Inferior y +2.513,28 de Bramatuero Superior y durante al menos 6 meses están cubiertas por la nieve, lo que pone de manifiesto las enormes dificultades que hubo para su construcción, por lo reducido del periodo útil de trabajo, por las dificultades de acceso, ya que sólo se puede acceder andando por pistas de montaña o, actualmente, en helicóptero.

A pesar de las condiciones climatológicas tan adversas, con temperatura del orden de -25°C en invierno y con aguas agresivas, por estar los embalses en rocas ácidas, las presas, las galerías de presión y las tuberías se encuentran en buenas condiciones, lo que pone de manifiesto la calidad de su ejecución.

El carácter ácido del agua embalsada ataca al mortero de unión de las piedras de mampostería, por lo que es obligado inyectar mortero de cemento periódicamente en todas estas presas. La necesidad de las inyecciones se detecta por las filtraciones en el paramento de aguas abajo, como puede verse en la FIG. 01. En la FIG. 02 puede verse la inyección en Bachimaña Inferior en 2011. Para mejorar la estanqueidad de las presas, y evitar el deterioro del mortero se revisten de una capa de poliuretano en el paramento de aguas arriba (FIG. 01).

Todas estas presas tienen una serie de características comunes:

- Son de gravedad en general de mampostería, alguna de sillería o de hormigón. Los taludes de los paramentos son los habituales, por lo que dado que están construidas con sillar, cuya densidad media es de $2,60\text{ ton/m}^3$ la seguridad al vuelco y al deslizamiento es muy elevada. Además, y en las presas de las que se tienen planos de construcción, la excavación del apoyo de la presa se hizo en contrapendiente, lo que mejora sensiblemente la estabilidad.
- Tienen aliviaderos de labio fijo sin compuertas. El vertido por encima de la coronación no crea problemas porque las presas están muy bien cimentadas en roca. Podría considerarse la coronación como un aliviadero en sí misma.
- Todo lo anterior hace que aunque tuviesen la máxima subpresión, vertiesen por coronación e incluso hubiese un sismo el coeficiente de seguridad al deslizamiento seguiría siendo mayor que uno
- Esto hace que estas presas no supongan peligro de roturas bruscas y, a pesar de los problemas que supone su emplazamiento, no ofrezcan riesgo.
- Todos los mecanismos (válvulas de desagües de fondo) se manejan manualmente y están situados en el interior de galerías o cámaras de llaves que evitan el riesgo de roturas por heladas.
- El acceso a todas esas presas se hace por pistas inutilizables en invierno, y tardando entre 2 y 4 horas andando en verano, o en helicóptero. Esta limitación condiciona el uso de medios para el mantenimiento que deben limitarse a pesos inferiores a 1.000 kg .
- La agresividad del agua de los embalses, que ataca al mortero de unión de las piedras, obliga a revisiones de permeabilidad y ejecución periódica de inyecciones y protección de los paramentos de aguas arriba. La utilización de pantallas de impermeabilización agua arriba aumenta considerablemente la durabilidad de los materiales inyectados.
- La situación de las tuberías al aire libre, a temperaturas de hasta -25°C en invierno, obliga a unas condiciones de explotación que eviten aguas retenidas que pudieran provocar, por heladas la rotura de las tuberías.
- El acceso a las cámaras de llaves obliga a la construcción de chimeneas de piedra con entrada por la parte superior, que debe sobresalir de la nieve. En las FIGS. 9 y 10 puede verse la chimenea de acceso a la cámara de llaves de Bramatuero en verano y en invierno.

En las FIGS. 04 a 14 de las páginas siguientes pueden verse algunas de estas presas en verano y en invierno.

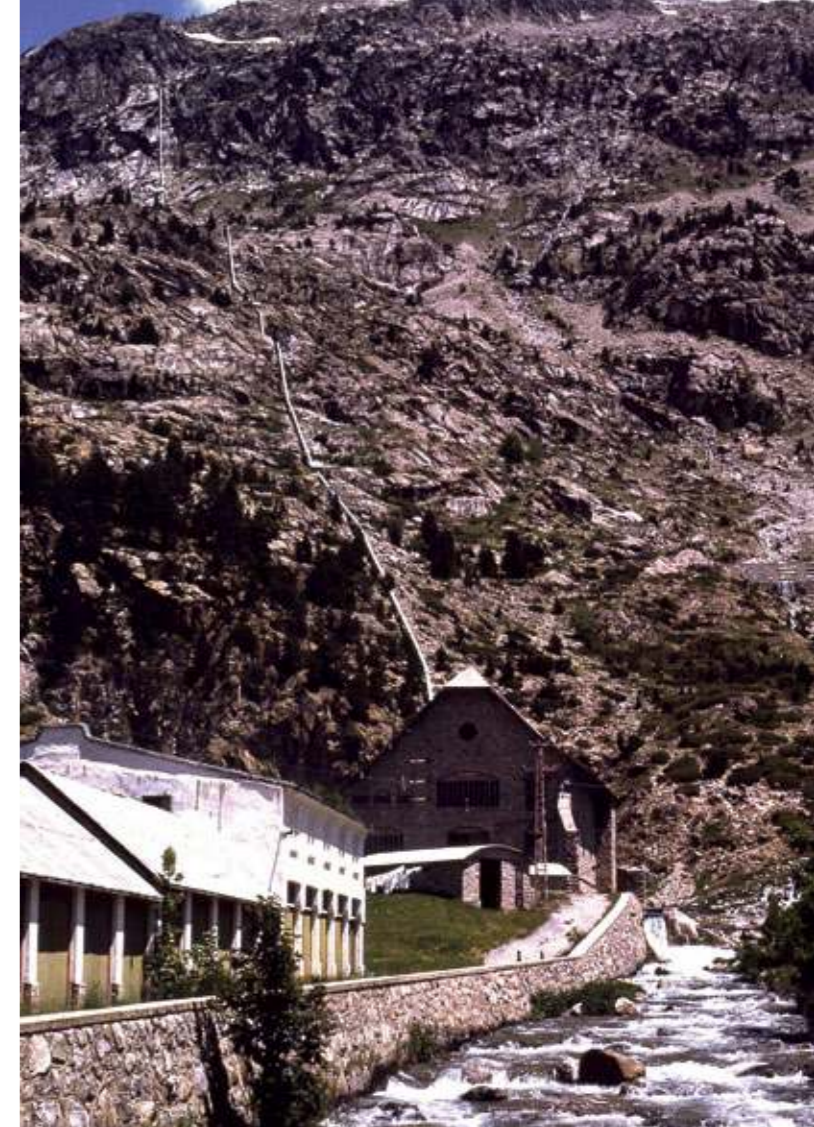
Presa de Bachimaña Inferior en la que está la toma de la central de Baños, donde pueden verse casetas de obra para la ejecución de inyecciones (FIG. 04). Presa en invierno (FIG. 05). Presa de Bramatuero Superior. En primer término se ve el desagüe que pasa en túnel por debajo de la presa, ya que ésta es el recrecimiento de un ibón natural (FIG. 09). En invierno, puede verse la parte superior del acceso a la galería del desagüe (FIG. 10). Presa de Bachimaña superior en invierno, a pesar de la nieve acumulada funciona la regulación del vertido a Bachimaña Inferior y la central de Baños está en servicio (FIG. 08). Presa en verano vertiendo al embalse de Bachimaña Inferior (FIG. 06). Presa de Brazato en invierno (FIG. 12) y en verano (FIG. 11).





(arriba) Presa de Brazato Collado. Obsérvese la distancia al nivel del agua (FIG. 13). Brazato Collado con el embalse lleno. El aliviadero está en el extremo izquierdo (FIG. 14).

Algunas de estas presas, como Brazato, Bachimaña Inferior, Pecico, Tramacastilla, Urdiceto etc. tienen otra complementaria, para cerrar el vaso en algún cauce lateral, que se denomina Collado. En la FIG. 13 se ve Brazato Collado con el embalse bajo y en la FIG. 14 con el embalse lleno. En muchas ocasiones esta presa auxiliar es el aliviadero del embalse. A pesar de su reducido tamaño estas presas laterales pueden estar clasificadas como A o B, por los daños que podría producir su rotura. Algunas presas, como Brazato, Bramatuero Superior, Millares Alto, Millares bajo etc. están construidas recreciendo ibones naturales, por lo que la altura de la presa es menor que la del embalse, saliendo la toma en túnel por debajo de la presa.



Central de Baños, entre los edificios del Balneario de Panticosa. Puede verse la parte baja de la tubería (FIG. 16).



Parte alta y tramo horizontal de la tubería de presión (FIG 17).



Edificio de la Central de Baños (FIG 18).

1. 2 Central de Baños

La potencia de la central es de 5,5 MW, el caudal 1,4 m³/s y la producción anual es de 30 GWh, lo que supone 5.455 horas de funcionamiento equivalentes a potencia máxima.

En Baños, como en otras centrales impresiona la tubería de carga (FIGS. 16 y 17), que, afortunadamente, sigue en servicio desde su instalación en 1927, soportando las bajísimas temperaturas invernales. No queremos ni pensar en tener que renovar algún tramo. No suelen producirse problemas por bajas temperaturas porque se cuida que siempre haya circulación de agua que evite la congelación. Hay que tener en cuenta que en la época de fabricación del acero de muchas de estas tuberías no se controlaba que el material tuviese resiliencia alta a bajas temperaturas, lo que quiere decir que es frágil y esta circunstancia hay que tenerla en cuenta. Piénsese que la rotura de muchos barcos en choque con icebergs fue debida a la fragilidad del acero a bajas temperaturas. El edificio es de piedra (FIG. 18), amplio para una turbina Peltón, y en su interior se encuentran todos los equipos eléctricos (FIG. 19).



Interior de la central de Baños con el generador en trabajos de mantenimiento. Al fondo se ven los equipos eléctricos (FIG 19).

2. PLANES DE EMERGENCIA DE PRESAS DE DIFÍCIL ACCESO

2.1 Criterios establecidos en la Directriz

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, aprobada en 1994, establece la planificación de emergencias ante el riesgo de rotura o avería grave de las presas. El criterio que rige esta Normativa se basa en que la rotura de una presa no se produce sin situaciones previas que lo avisen, por lo que es necesario disponer de información, en tiempo real, de la evolución de los parámetros significativos de la seguridad y tener establecido un sistema de aviso a la población que pudiera ser afectada por la inundación.

En función del riesgo potencial las presas se clasifican en A cuando la rotura puede afectar gravemente a núcleos urbanos, en B cuando puede afectar a un reducido número de viviendas y en C cuando sólo incidentalmente puede provocar pérdida de vidas humanas.

La Normativa establece la obligación de clasificar las presas, incluso las que son superiores a solo 5 m de altura; y en las A y B el titular de la presa está obligado a implantar, mantener y actualizar un Plan de Emergencia de la Presa.

Se deben definir los fenómenos que puedan afectar negativamente a las condiciones de seguridad, detectar, por sistemas de auscultación los posibles comportamientos anormales, estableciendo umbrales a partir de los cuales dichos fenómenos podrían resultar peligrosos para, en caso de que se produzcan, avisar a la población que pudiera resultar afectada en alguna medida.

Entre los medios que la Directriz establece que debe contar un Plan de Emergencia figura el disponer de una Sala de Emergencia “convenientemente ubicada en las proximidades de la presa y dotada de los medios técnicos necesarios para servir de puesto de mando al director del Plan de Emergencia y asegurar las comunicaciones con los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia”.

En el Borrador (de fecha 2011) de Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de las presas y para la elaboración de implantación de los planes de Emergencia de presas y embalses, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente se indica que el centro de gestión de avenidas deberá disponer de acceso y suministro eléctrico garantizados.

Todas estas exigencias, en principio razonables, están pensadas para presas situadas en zonas accesibles desde carreteras utilizables en todo momento. Las fotos de las presas de alta montaña en invierno que se adjuntan ponen de manifiesto que esas condiciones no se dan en ellas, por lo que la aplicación de los criterios de la Directriz requiere una adecuación a las especiales características de estas presas.

2.2 Solución adoptada para las presas de montaña

Se ha solucionado el tema de acuerdo con la Subdirección General de Infraestructuras y Tecnologías del Ministerio de la forma siguiente:



Vista de la presa de Brazato el 11 de abril de 2011 a las 17 h 32 m desde el CECOER (FIG. 22).

- Instalación en la presa equipos de control de nivel y de filtraciones que midan, de modo continuo, ambos parámetros.
- Establecimiento de un equipo de recepción de la información y su transmisión, en tiempo real, al centro de control de la empresa (CECOER) con una transmisión vía satélite de la información.
- Disposición de programas que, en caso de variación anormal de algunos de los parámetros medidos, activen alarmas que permitan conectar las cámaras de TV de vigilancia de la presa, para poder observar la situación.
- Instalar motorizaciones de aperturas de los desagües de fondo para, en caso de emergencia, poder vaciar el embalse desde el CECOER.

De esta forma el CECOER constituye la Sala Primaria de Emergencia y la presencia permanente en el mismo de personal asegura el control adecuado de las presas. Además en cada cuenca se instala una Sala Secundaria de Emergencia, en un lugar con acceso garantizado y no inundable, que puede servir de apoyo en caso de situaciones de emergencia. Las bajas temperaturas de las zonas de estas presas, hasta -25°C, obliga disponer de un sistema de energía autónomo que permita calefactar el recinto de los equipos, la antena parabólica, las cámaras de TV etc.

En diciembre de 2010 se realizó una instalación de prueba en la presa de Brazato instalando un grupo electrógeno para suministrar la energía y todos los equipos de calefacción, ventilación, antena parabólica, cámaras, baterías, inversor, rectificador, autómatas, depósito de gasoil etc. en un refugio existente junto a la presa. El resultado ha sido satisfactorio y se dispone en el CECOER de información permanente de los parámetros de control y en cualquier momento, de día y de noche, puede conectarse la TV para ver el estado de la presa FIG. 22.

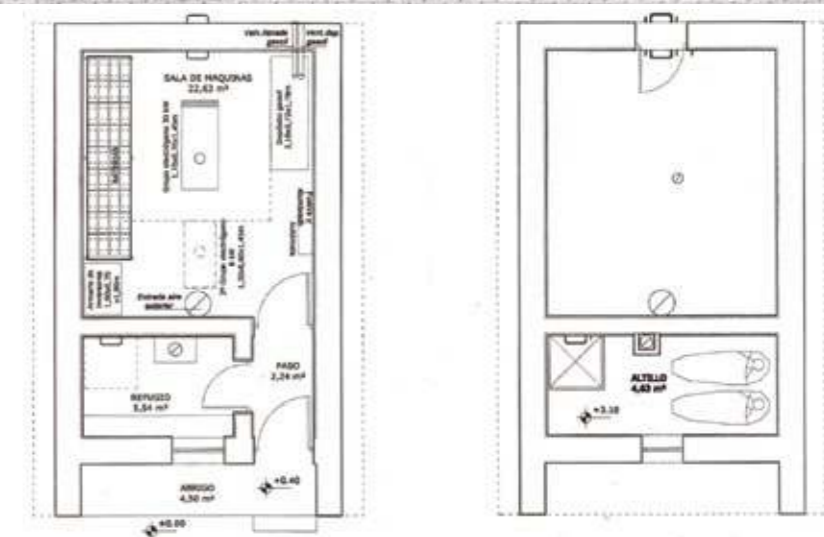
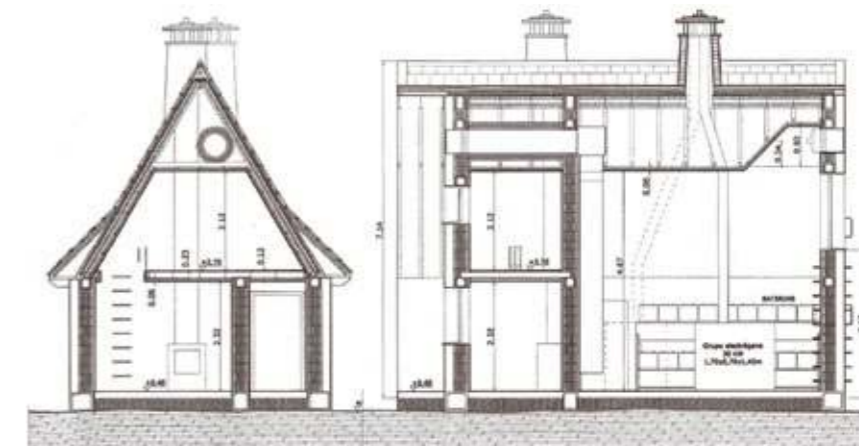
2.3 Proyecto generalizado para todas las presas de montaña

Una vez comprobado el funcionamiento de una solución de este tipo se ha proyectado una solución general para todas las presas de difícil acceso (en Acciona se cuenta con 13), que consiste en construir un edificio junto a la presa en el que se sitúen los equipos. El edificio se ha proyectado con un diseño y materiales propios de los edificios de montaña de la zona. Las paredes son de piedra, la cubierta de gran pendiente con pizarra, la chimenea propia de la zona etc.

En las presas que tienen en sus proximidades un refugio, como Bachimaña, el edificio (FIG. 23) se limita a lo necesario para contener los equipos, pero en las que están distantes de refugios, como Bramatuero, el edificio incluye un pequeño recinto en el que puedan refugiarse montañeros que puedan necesitar protegerse (FIG. 24), en la planta baja se dispone de una chimenea y en la superior de un local donde poder dormir. En la FIG. 25 puede verse la distribución en planta y en la FIG. 26 la sección longitudinal y transversal del recinto con refugio. De esta forma no se afecta a la estética de la zona y se ofrece un servicio a los montañeros que lo puedan necesitar.

En el interior de la zona de equipos se colocan grupos electrógenos que suministren la energía necesaria, baterías de almacenamiento, convertidores e inversores, autómatas, ventiladores, cuadros eléctricos, depósito de gasoil etc. Desde el refugio se conecta, mediante canalizaciones enterradas con cables de comunicaciones y energía, con los puntos de toma de datos (filtraciones y nivel de presa), así como con la antena parabólica, cámaras de TV y con las cámaras de llaves en que se han motorizado las válvulas. En los casos en que es posible se proyecta una microcentral eléctrica, de 500/1000 watos que turbine el caudal vertido y reduzca las necesidades energéticas a aportar con el grupo.

Esta solución cumple los objetivos de control de la Directriz y supone una solución adecuada a las características propias de estas presas.



(derecha) Edificio para equipos de control de presas (FIG. 23). Edificio de equipo de control con refugio para montañeros (FIG. 24). Planta del recinto de equipos con refugio (FIG. 25). Sección longitudinal y transversal del recinto con refugio (FIG. 26).



Presa y embalse de Respomuso en verano (FIG. 27) y en invierno (FIG. 28).

3. CENTRAL DE LA SARRA

La central de La Sarra es la última construida en la zona, en 1957, por ENERGÍAS E INDUSTRIAS ARAGONESAS (E.I.A.S.A.). Aprovecha los 673 m de desnivel existentes entre el embalse de Respomuso y el vertido al embalse de La Sarra. La potencia es importante (24 MW) y también lo es la capacidad de Respomuso (17,8 Hm³).

3.1 Presa de Respomuso

La presa es de hormigón de contrafuertes, de 55 m de altura y 207 m de longitud de coronación. La cota de coronación muy elevada, +2.123 y tiene la singularidad de la gran capacidad de su embalse, 17,8 Hm³, para una cuenca de 36 Hm³ de aportación media. En las FIGS. 27 y 28 puede verse la presa y el embalse en verano y en invierno. El aliviadero, de labio fijo, vierte por encima de tres contrafuertes (FIG. 31).

Tiene un único desagüe de fondo, lo que supone incumplir la normativa actual, equipado con dos válvulas de compuerta. Se tiene previsto aumentar la seguridad instalando una válvula Howell-Bunger para asegurar un mejor funcionamiento. Por otra parte, también existe la toma de la central que permitiría bajar la cota del embalse en caso de necesidad.

Al embalse de Respomuso llega la aportación de una cuenca lateral, captada en la presa de Arriel Bajo y conducida por una tubería de hormigón. Además hay otra aportación lateral que se capta en Pondiellos Alto y se canaliza a la chimenea de equilibrio de la central. De esta forma y como era usual en los proyectos de E.I.A.S.A. se consigue el aprovechamiento hidráulico integral de la zona.



Véase el perfecto estado de las aristas de los contrafuertes (FIG. 31).

Sorprende la calidad del hormigón de la presa, todas las aristas de los contrafuertes, coronación etc se encuentran en perfectas condiciones. No conocemos la dosificación y el cemento utilizado, pero indudablemente sería una referencia de cara a hormigonados en sitios fríos. La presa se construyó instalando un cable portante, desde la central, subiendo y bajando el perfil de monte, que permitía llevar a pie de presa los materiales. El acceso actual es andando por pista o en helicóptero.



Central de La Sarra vertiendo al embalse de La Sarra (FIG. 32).

3.2 Central de La Sarra

La central de La Sarra tiene una potencia de 24 MW, el caudal $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$ y la producción anual es de 60 GWh. El salto es excepcional, de 673 m. La toma de la central se hace en galería de presión que termina en una tubería de carga. El gran volumen de embalse de toma y el verter a otro embalse permite funcionar en el mercado secundario optimizando el valor de la energía generada.

En la FIG. 32 puede verse la central que vierte al embalse de La Sarra, cámara de carga de la siguiente central. El interior puede verse en la FIG. 33, apreciándose los tres equipos Pelton con sus generadores.



Interior de la central de La Sarra con tres turbinas Pelton. Véase el dimensionado de las bridas (FIG. 33).



Estribo derecho de la presa de La Sarra en roca (FIG. 35). Estribo izquierdo de la presa de La Sarra en morrena (FIG. 36). Aliviadero y toma de la presa la Sarra en el estribo derecho, en roca (FIG. 37).

4. CENTRAL DE SALLENT

La central aprovecha el desnivel de 161 m existente entre el embalse de La Sarra y el río Aguas Limpias en el pueblo de Sallent de Gállego. Utiliza la aportación del río Gállego captado en la presa de El Gállego y cuya aportación es canalizada a la chimenea de equilibrio del sistema. La potencia es de 11,4 MW, el caudal total turbinado de 10,2 m³/s y la producción de 45 GWh/año.

4.1 Presa de La Sarra

La presa es de escollera con 32,30 m de altura y 65,6 m de longitud de coronación, a la cota +1.448,50 y su embalse de 0,70 Hm³ (FIG. 34). Tiene la singularidad de que el estribo derecho está en roca (FIG. 35) y el izquierdo en una morrena (FIG. 36), por eso se construyó de escollera para admitir deformaciones debidas a las diferencias de las características geotécnicas existentes en la cerrada. En la FIG. 37 puede verse el aliviadero y la toma de central construidos en el lado de roca. La presa se encuentra en muy buenas condiciones, sin que tenga ninguna filtración. Sobre ella pasa la carretera de acceso a la central de La Sarra. En la FIG. 35 se aprecia el buen estado de la alineación de las barandillas de la presa.

A la presa de La Sarra se incorpora la toma de Pondiellos Bajo, aumentando la superficie captada por el sistema.



Presa y embalse de La Sarra. Al fondo la central de La Sarra (FIG. 34).



Aliviadero de la presa de El Gállego deteriorado por erosión de los arrastres (FIG. 39).

4.2 Presa de El Gállego

Esta presa es un azud de desvío del caudal del Gállego a la chimenea de equilibrio de la central de Sallent. La presa de El Gállego es de gravedad de 18 m de altura y 64,64 m de longitud de coronación. Su cota de coronación es la 1.500 y su embalse de 0,16 Hm³ (FIG. 38). Los grandes arrastres de piedras del río provocan erosiones en el paramento del aliviadero, pendientes de solucionar (FIG. 39). Se tiene previsto colocar una capa de hormigón con fibras que aseguren una mejor resistencia.



Presa de El Gállego, embalse y toma (FIG. 38).



Central de Sallent y Escarra (FIG. 41). Válvula de mariposa de cierre automático en sobrevelocidades de la tubería (FIG. 40).

4.3 Central de Sallent

La central tiene una potencia de 11,4 MW, el caudal 10,2 m³/s y la producción anual es de 45 GWh. El salto es de 161,5 m. La toma se inicia en una galería a presión en la presa de La Sarra y termina en una chimenea de equilibrio en la que se inicia la tubería de carga. A la chimenea se incorpora el caudal derivado en la presa de El Gállego. El caudal total de concesión es de 10,2 m³/s. De la presa de El Gállego se deriva el fluyente, dejando el caudal ecológico prioritariamente. Se complementa con la toma de la presa de La Sarra hasta el valor de concesión y la suma de caudales se canaliza en la tubería de carga. Como es habitual en estas centrales el excedente de El Gallego puede retornar a La Sarra en caso de paradas de la central.

El caudal de la presa de El Gállego discurre por un canal en una ladera en la que hay problemas de estabilidad, por lo que se ha sustituido, en algunos tramos por tuberías de fibra de vidrio que han dado muy buen resultado, debido a la admisión de deformación que presentan sus juntas. La incorporación a la chimenea tiene un salto disponible de unos 20 m que está previsto aprovechar con una minicentral de 600 Kw.



Tubería de La Sarra enterrada al llegar al núcleo urbano (FIG. 42). Subestación de la central de Sallent (FIG. 43).

En el comienzo de la tubería de carga hay una válvula de mariposa de cierre automático en caso de sobrevelocidades de la tubería. Este sistema, muy habitual en estas centrales supone un sistema de seguridad importante en caso de roturas de las tuberías (FIG. 40).

En la FIG. 41 puede verse la central situada en el centro del pueblo de Sallent. En el mismo edificio se encuentran los equipos de la central de Escarra, por lo que llegan al mismo dos canalizaciones, por puntos distintos, atravesando el pueblo. Esto crea algunos problemas de ordenación urbana en un pueblo muy turístico, que se van solucionando. Así la tubería de La Sarra se enterró en la llegada al pueblo (FIG. 42) construyendo jardines sobre la misma.

También hay que mejorar la solución de la subestación de intemperie que, dentro del núcleo urbano es una instalación industrial poco adecuada (FIG. 43).



Presas de Escarra en invierno. La ladera Sur apenas tiene nieve (FIG. 45).

5. CENTRAL DE ESCARRA

La central aprovecha el desnivel de 349 m existente entre el embalse de Escarra y el río Aguas Limpias en el pueblo de Sallent de Gállego. La regulación de la presa se complementa con la de Tramacastilla a la que vierten, además de su cuenca natural, otras tres cuencas próximas que son derivadas mediante trasvases.

5.1 Presa de Escarra

De escollera con 41,50 m de altura y 216 m de longitud de coronación, a la cota de +1.622,40. Tiene una superficie de 17 Has y embalse de 5,16 Hm³ (FIGS. 44 y 45). La ladera izquierda está cimentada en roca y por eso se construyeron en ese lado la toma y el aliviadero. El estribo derecho se apoya sobre un deslizamiento de grandes dimensiones desarrollado en una ladera formada mayoritariamente por pizarras con una unidad calcárea en la parte superior. Aguas arriba de la presa el pie del deslizamiento se encuentra sumergido bajo las aguas del embalse. Los movimientos detectados en la auscultación indican que el deslizamiento es activo en la actualidad, pudiendo desplazarse con una tasa anual de 1 cm. Sometida al esfuerzo del estribo derecho y al empuje del agua almacenada en el embalse tiende a comprimirse axialmente, elevándose en el sector SE, y desplazarse valle abajo. Construida y en servicio desde 1957, se está llevando un seguimiento muy cuidadoso de su comportamiento. En 2012 se han instalado inclinómetros y control de coordenadas de la ladera derecha, además de equipos de control para tener información en el CECOER, en tiempo real, de los parámetros principales de la presa. Se ha recrecido un piso la cámara de llaves de la toma, haciéndole una entrada por la ladera para instalar dichos equipos y se va a conectar con energía y fibra óptica desde la central, a fin asegurar el funcionamiento de todos los equipos.



Presas de Escarra con el estribo izquierdo en roca y el derecho en un deslizamiento (FIG. 44).



Presa de Tramacastilla de hormigón y terminada en escollera (FIG. 48). Transición de presa de hormigón a presa de escollera (FIG. 49).

5.2 Presa de Tramacastilla

La presa de Tramacastilla es en su mayor parte del tipo gravedad y hormigón de 15 m de altura y 257 m de longitud de coronación. El embalse es de 1 Hm³. Además de la presa principal hay dos diques laterales que delimitan el embalse. Está situada aguas arriba del embalse de Escarra. Como puede verse en la FIG. 48, el extremo derecho de la presa es de escollera de 17 m de altura, por estar situado en un terreno que podía asentar. El acuerdo entre los dos tipos de presa funciona perfectamente, sin que haya ninguna filtración en la junta (FIG. 49). Es indudable que se trata de una solución mixta extraordinariamente bien ejecutada.



Presa de Tramacastilla en invierno (FIG. 50).



Toma autolimpiable recién construida en el barranco de Las vacas, a la que llega por la margen derecha el agua del barranco de Goluso, que añadida a la de Las Vacas es canalizada a Tramacastilla por la margen izquierda (FIG. 51).

5.3 Cuencas complementarias

Como puede verse en el perfil hidráulico del Gállego y en el plano de planta, se trasvasan a Tramacastilla tres cuencas laterales. En cada una hay un azud del que deriva una tubería que vierte a la cuenca siguiente. En los azudes se han construido recientemente tomas autolimpiables (FIG. 51) que permiten funcionar, aunque los barrancos arrastren piedras que pasan por encima de ellos. La tubería de la cuenca anterior llega enterrada por la margen derecha, atraviesa el azud, en el que a través de la reja se incorpora el caudal de su cuenca y sale por la margen izquierda hacia la cuenca siguiente.



Tubería de la central. Pueden verse varios machones de anclaje y la chimenea de equilibrio (FIG. 52).

5.4 Central de Escarra

La central tiene una potencia de 6,2 MW, el caudal 2,32 m³/s y la producción anual es de 26 GWh y el salto es de 349,5 m. La toma se inicia en una galería a presión en la presa de Escarra situada en el lado rocoso de la margen izquierda y termina en una chimenea de equilibrio en la que se inicia la tubería de carga. En el paso de galería a tubería hay una válvula de seguridad ante averías similar a la indicada de la tubería de Sallent. En la FIG. 52 puede verse un tramo de la tubería de 800 mm de diámetro, con la chimenea de equilibrio al fondo. Como todas las tuberías de las centrales, se construyó por tramos entre machones de hormigón, y cada tramo tiene una junta de dilatación para permitir movimientos producidos sobre todo en los vaciados en tiempo caluroso. Un tramo de la misma está situado sobre una ladera que tiene desplazamientos oblicuos a la tubería. En la FIG. 52 puede verse el movimiento de los apoyos.



Tramo en que la ladera se desplaza hacia abajo y hacia la derecha, apreciándose el movimiento de los apoyos (FIG. 53). Junta de dilatación que transmite tracciones y tiene gran longitud de movimiento (FIG. 55). Se mantiene la alineación de la tubería prolongando los apoyos (FIG. 54).

Para que el terreno no arrastre a la tubería se han modificado los apoyos, de modo que pueda mantenerse la alineación, aunque el terreno se desplace (FIG. 53). Se ha cortado la mitad de cuna de asiento y se ha prolongado con perfiles. Además, últimamente, se han colocado varias juntas de dilatación especiales (FIG. 54) que permiten su movimiento y transmiten tracciones, de modo que en caso de un movimiento importante la tubería quede colgada de las juntas. Se lleva un control riguroso del movimiento de la ladera. En la FIG. 52 puede verse la regla de medición del movimiento de una de las juntas iniciales. Además se tiene el sistema de seguridad de corte de agua mediante cierre automático de la válvula de cabecera, en caso de sobrevelocidades.



Equipos de las centrales de Sallent y Escarra (FIG. 56).

La central de Escarra, como ya hemos comentado, está en el mismo edificio que la de Sallent y no presenta ningún tipo de singularidad. En la FIG. 56 pueden verse los grupos de las tomas.



Azud de Santa Elena, toma de la central de Biescas I. La toma y la escala de peces están en la margen izquierda (FIG. 57).
(dcha.) Exterior de la Central de Biescas I (FIG. 58).

6. CENTRAL BIESCAS I

La central tiene el interés de ser la primera en construirse en el río Gállego. La construyó ENERGIA E INDUSTRIAS ARAGONESAS (E.I.A.S.A.) para suministro de energía al polígono químico-industrial de Sabiánigo y llevar los excedentes de energía a Zaragoza. Estaba ya en servicio en 1923. La potencia es de 2,7 MW, con un caudal de 3 m³/s y la altura de salto de 96 m. Tiene un azud de toma en el río Gállego en Santa Elena, que puede verse en la FIG. 57, apreciándose la escala de peces construida recientemente. En el el azud de toma se inicia un canal a media ladera de 2.725 m de longitud, que termina en una cámara de carga en la que se inicia la tubería de presión.

El exterior de la central se aprecia en la FIG. 58 y el interior en la FIG. 59. El edificio es de piedra amplio, bien diseñado y construido. Todas las instalaciones se conservan en buenas condiciones, aunque el régimen hidráulico de esta central ha sido muy alterado por la construcción del embalse de Bubal, que detrae la mayor parte de la aportación del río y la vierte al Gállego en la central de Biescas II, tal como puede verse en el perfil hidráulico de este río.



Grupo de Biescas I, con turbina Francis de eje horizontal (FIG. 59).



Embalse de Lanuza. Se mantiene lleno hasta agosto para facilitar los festivales de Pueyo de Jaca (FIG. 61).
(dcha.) Presa bóveda de Lanuza (FIG. 60).

7. CENTRAL DE LANUZA

La central es muy diferente de las anteriores. Turbina el agua regulada en el embalse de Lanuza, construido y explotado por la Confederación Hidrográfica del Ebro para regular el Gállego y asegurar los regadíos de la cuenca.

7.1 Presa de Lanuza

La presa es una bóveda de 80 m de altura y 176 m de longitud de coronación (FIG. 60). Crea un embalse de 64 Hm³ que complementado con el de Bubal, se destina a los riegos del Gállego. En la FIG. 61 se ve el embalse en la cota máxima establecida por limitaciones de las afecciones y en la FIG. 62 el embalse helado en invierno.

Es elegante, con aliviaderos de medio fondo. La cuenca natural de la presa se complementa con el trasvase de los ríos de Bolática y Caldarés, que con dos azudes y tramos de canalización en túnel vierte al embalse y permite aumentar la superficie natural de la cuenca de 118,76 Km² en otros Km², siguiendo el sistema usual de los aprovechamientos de este río.



Embalse de Lanuza en invierno con el agua helada (FIG. 62).



Canal de desagüe de la central de Lanuza (FIG. 64).

7.2 Central de Lanuza

La presa tiene una toma en la margen izquierda, donde se inicia una galería de presión que termina en la tubería de carga. La potencia es de 52 MW y el caudal máximo de 34,27 m³/s. La altura de salto es de 187,2 m. Dado que se trata de una presa de regulación para riego, el régimen de explotación lo fija la Confederación, y la central funciona adecuándose al mismo. Dentro de unos márgenes de cotas es posible funcionar en el mercado secundario, sobre todo porque el vertido va al embalse de Bubal, que lo complementa.

En las FIGS. 64 a 67 puede verse la central, construida en 1978. Como en todas las centrales modernas de esta zona el edificio es de calidad, amplio, bien dimensionado y los equipos muy bien proyectados.



Interior de la central de Lanuza con los dos alternadores sobre las turbinas Francis de eje vertical (FIG. 65).



Estructura de soporte del piso de generadores con el eje de la transmisión en el interior (FIG. 67).

Válvulas de protección de cada turbina de la central de Lanuza (FIG. 66).



Lago del Balneario de Panticosa, que es la cámara de carga de la central de Pueyo (FIG. 68).

8. CENTRAL DE PUEYO

La central se encuentra lindante con la de Lanuza. Toma el agua en el lago del balneario en que desagua la central de Baños. Tiene una potencia de 14 MW, un caudal de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y un salto de 547 m.

Actualmente ha caducado la concesión administrativa y la central se encuentra en una fase transitoria, pendiente de la resolución de esa situación. Es de esperar que la Confederación agilice los trámites y pueda seguir en servicio una central de tan buenas condiciones.



Presa de Bupal, de arco gravedad, vertiendo el caudal ecológico (FIG. 69).



Embalse de Bupal bastante bajo a primeros de agosto, por el suministro a los regadíos (FIG. 70).

9. CENTRAL DE BIESCAS II

La central es similar a la de Lanuza, turbin el agua regulada en el embalse de Bupal, construido y explotado por la Confederación Hidrográfica del Ebro para regular el Gállego y asegurar los regadíos de la cuenca.

9.1 Presa de Bupal

La presa es de arco-gravedad de 90 m de altura y 195 m de longitud de coronación (FIG. 69). Crea un embalse de 64 Hm³ que complementado con el de Lanuza, se destina a los riegos del Gállego. En la FIG. 70 se ve el embalse bastante bajo, por corresponder a una época de riegos. La toma de la central está en el estribo izquierdo. La presa es elegante, con aliviaderos por coronación. La cuenca natural de la presa se complementa con el trasvase del río Lasiesa, siguiendo el sistema usual de los aprovechamientos de este río.



Tubería, central y canal de desagüe de Biescas II (FIG. 72).
(dcha.) Estructura de soporte del piso de generadores con el eje de la transmisión en el interior (FIG. 74).

9.2 Central de Biescas II

En la toma de la presa de la margen izquierda se inicia una galería de presión que termina en la tubería de carga. La potencia de la central es de 62 MW, el caudal máximo de 38,7 m³/s y la altura de salto es de 225 m. Dado que se trata de una presa de regulación para riego, el régimen de explotación lo fija la Confederación y la central funciona adecuándose al mismo. Dentro de unos márgenes de cotas es posible funcionar en el mercado secundario. Como en todas las centrales modernas de esta zona, el edificio es de calidad, amplio, bien dimensionado y los equipos bien proyectados.

En la FIG. 72 se ve la tubería, la central y el canal de desagüe, en la FIG. 73 el interior y en la FIG. 74 el soporte del piso de generadores con el eje de la transmisión en el interior.



Interior de la central de Biescas II (FIG. 73).



IV. CUENCA DEL ARAGÓN

IV. CUENCA DEL ARAGÓN

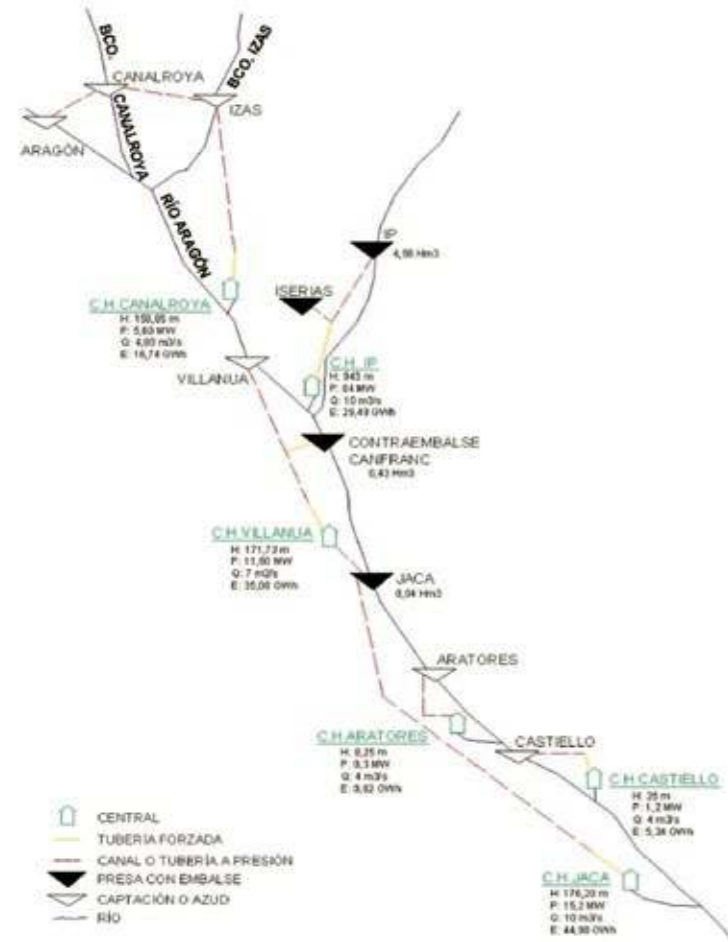


TABLA 8. CENTRALES DEL ARAGÓN

Central	Potencia MW	Caudal max. m³/s	Salto m	Producción GWh/año	Horas equival.
Canalroya	5,6	4,8	160,0	16,7	2.982
Ip	84,0	10,0	943,0	29,5	351
Villanúa	11,6	7,0	172,0	35,0	3.017
Aratores	0,3	4,0	8,3	0,6	2.067
Castiello	1,2	4,0	35,0	5,3	4.450
Jaca	15,2	10,0	176,0	45,0	2.961
TOTAL	117,9			132,2	



Exterior de la central de Canalroya (FIG. 01).

El aprovechamiento hidroeléctrico de la cabecera del río Aragón consta de seis centrales construidas por ELECTRICAS REUNIDAS DE ZARAGOZA (E.R.Z.), entre las que destaca la central reversible de Ip. En el croquis puede verse el esquema hidráulico que es el ordinario, salvo la central de Ip, que es reversible entre los embalses de Ip y Canfranc. Además desde éste se puede bombear al canal de la central de Villanúa. Son ejemplo de regulación en cabecera de cuenca que mejora el aprovechamiento de todo un sistema hidroeléctrico.

1 CENTRAL DE CANALROYA

La central de Canalroya se encuentra en el río Aragón, aguas abajo de la Estación de Canfranc.

1.1 Azudes de la central de Canalroya

La central tiene tres tomas en los azudes de Aragón, Canalroya e Izás, situados en los cauces del mismo nombre. Son azudes de pequeño tamaño, que no tienen especial significación.



Interior de la central de Canalroya. Puede verse el rodete de una turbina que se está revisando (FIG. 02).

1.2 Central de Canalroya

La central es una central típica de montaña de 5,6 MW con un caudal de 4,8 m³/s y una altura de salto de 160 m. El edificio es de montaña con gran pendiente en la cubierta y un lado especialmente largo (FIG. 01). Tiene la singularidad de que las dos turbinas Francis de eje horizontal están conectadas al mismo generador. En la FIG. 02 puede verse el generador central y las dos turbinas a ambos lados. Se aprecia que se están realizando trabajos de mantenimiento y se ha desmontado el distribuidor de una turbina y puede verse el rodete.



Presa de Ip en verano. Puede verse la torre de acceso a la galería aguas abajo de la presa (FIG. 03).

2 CENTRAL DE IP

La central, en el río Aragón, fue construida por ELECTRICAS REUNIDAS DE ZARAGOZA en 1969. Es reversible construida para disponer de garantía de potencia en su sistema de distribución, a la vez que permite absorber exceso de potencia del sistema facilitando su regulación. El desnivel entre el embalse inferior de Canfranc y el superior de Ip es de 943 m. En su día fue la central de mayor salto de Europa. El caudal turbinado o bombeado es de 10 m³/s y la potencia de 88,9 MW.



Filtraciones en la galería con el embalse en la cota +2.102. El piso de la galería está seco (FIG. 06).
(dcha.) Filtraciones con el embalse a la cota +2114,60. Puede verse el tubo ARMCO de la galería sobre cuyo fondo circula agua de filtraciones (FIG. 07).

2.1 Presa de Ip

La presa es de escollera con núcleo de arcilla, de 31 m de altura y 214,90 m de longitud de coronación. Está construida en el frente de una morrena y se hizo de escollera para adecuarla a los asentamientos que podían producirse. La cota de coronación es muy alta, +2119 y su cuenca muy reducida, 7,2 km². En las FIGS. 3 y 4 puede verse en verano y en invierno. El embalse tiene una capacidad de 5,31 Hm³, muy elevada frente a la aportación natural de su cuenca y se usa para almacenar energía a generar en horas y/o días de precios elevados. Asimismo permite el bombeo de caudales de deshielo del río Aragón y su turbinación en época de aguas bajas.

El aliviadero se proyectó con un morning-glory, en la margen derecha (FIG. 05), junto al que se sitúa la toma de la central. La salida en canal del mornig-glory dispone de una buena ventilación que asegura el régimen de funcionamiento. El aliviadero está muy sobredimensionado, 329,73 m³/s en la cota +2.119, para asegurar que no haya vertidos sobre coronación. El caudal de la avenida de 500 años es de 146,4 m³/s.

Dispone de una galería central aguas abajo del núcleo con un acceso central por la torre circular que se ve en la FIG. 03. La galería, construida con tubo ARMCO, muy utilizado en aquella época en cruces de carreteras y se encuentra en muy buenas condiciones.



Presa de Ip en invierno (FIG. 04).

A pesar del aspecto de la foto de invierno, la central, y por tanto el embalse, funcionan casi todos los días del año, generando y/o bombeando. Está conectado con la central mediante cables de energía y comunicaciones para el accionamiento de las válvulas, las ordenes de arranque, parada etc.

Con el embalse en cotas intermedias, del orden de la +2.102, las filtraciones son de unos 8,5 l/s (FIG. 06). Estabilizadas desde el principio del funcionamiento, el agua sale muy limpia sin arrastres de finos. El piso de la galería está seco. Para evitar la pérdida de energía correspondiente, se construyó un bombeo en la regata de desagüe de la galería, que las impulsa al embalse. Con el embalse cerca de la cota de coronación del vertedero, el caudal de filtraciones aumenta sensiblemente, hasta unos 41 l/s (FIG. 07) y el agua sale por encima del piso de la galería. Seguramente se deberá a la existencia de alguna junta horizontal que lo propicie. Mediante la medida de nivel de agua en asentímetros se observa, en uno de ellos, a partir de una cierta cota de agua la coincidencia de nivel con el embalse. Se está estudiando inyectar para reducir las, aunque la necesidad de subir todos los equipos con helicóptero hace difícil el trabajo.

Para la construcción de la presa se dispuso de un plano inclinado, situado junto a la tubería de carga, que subía al personal, materiales, etc.; pero las actuales normas de seguridad de estas instalaciones hacen que esté fuera de servicio.

Como en todas las presas, se lleva un control de cotas periódico y no hay variaciones apreciables a lo largo del tiempo.



Presa de Canfranc, vertiendo por los aliviaderos situados sobre los contrafuertes (FIG. 08).

2.2. Presa de Canfranc

La presa, en el río Aragón, es de contrafuertes, de 32,20 m de altura y 113,80 m de longitud de coronación. Su embalse es muy reducido, de 0,59 Hm³, actúa como cámara de aspiración de la central de bombeo de Ip y a él se vierte el caudal turbinado en la central. Dispone de tres desagües de fondo que complementan el vertido por el aliviadero, pudiendo utilizarse preferentemente unos u otros. Cuando se vierte más de 0,20 m por encima de la coronación del aliviadero no es posible ni turbinar ni generar, porque se crean problemas en el funcionamiento de las turbinas. En la FIG. 08 se ve el vertido por los aliviaderos situados sobre los contrafuertes. También se aprecian dos de los tres desagües de fondo.

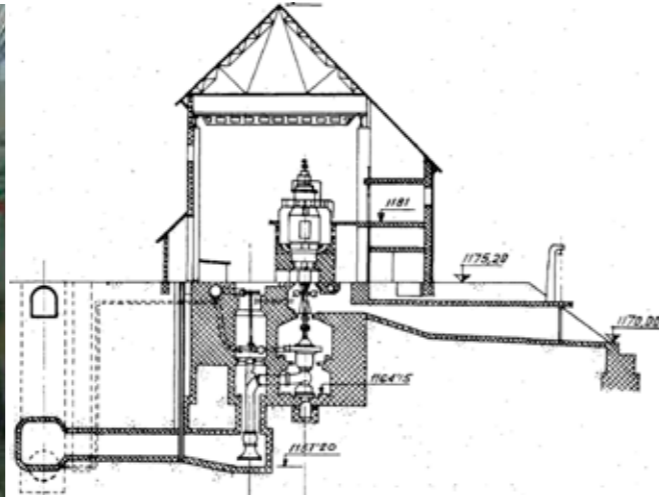


Central de Ip y embalse de Canfranc en el que se vierte al turbinar y desde el que se aspira para bombear. Puede verse que el nivel del agua está por debajo de la cota de la solera de la central (FIG. 13).

2.3 Central de Ip

La central es muy compleja ya que, como puede verse en el esquema hidráulico (FIG. 09), hay unas bombas nodrizas que aspiran del embalse inferior y bombean a las bombas principales con una carga de 23 m. Las bombas nodrizas se accionan con unas turbinas Pelton que funcionan con una toma desde el colector general de las turbinas, de modo que se evitan los problemas de sumergencia que se producirían por no tener carga suficiente en la aspiración en las bombas principales.

En el eje principal, de arriba hacia abajo, están el generador, la turbina, un embrague, la bomba principal y el cojinete de apoyo. Cuando la central funciona generando, el embrague aísla la bomba inferior y cuando se bombea está todo el conjunto conectado. En la FIG. 10 puede verse el generador. El conjunto es muy alto, por la disposición en vertical de todos los equipos que, condicionó la altura total del edificio, proyectado por el arquitecto Miguel Fisac (FIG. 13).



Recinto de bombas principales de Ip (FIG. 12). (dcha.) Esquema hidráulico de la central de Ip. Puede verse el eje principal y la bomba nodriza (FIG. 09).

Al inicio de este capítulo, en la página 147, se ve la turbina principal, con uno de los eyectores y el deflector para desviar el chorro de las cazoletas. Está al aire, como se aprecia en el esquema hidráulico de la FIG. 09 y llama la atención la calidad y robustez de los elementos. Hay que tener en cuenta que cada turbina recibe un caudal de $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a una presión de $93 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Debajo de las turbinas, y separadas por el embrague, están las bombas principales (FIG. 12). Para evitar problemas de cavitación por falta de sumergencia, proyectaron el bombeo auxiliar que introduce en la aspiración el caudal del embalse de Canfranc a 23 m de presión. El sistema es muy complejo, sobre todo los arranques de unas y otras bombas, pero funciona muy satisfactoriamente, constituyendo la central un hito en la historia de la generación eléctrica. A pesar de la notable complejidad de los equipos, la central funciona perfectamente y todos los días se genera o se bombea según aconsejen las condiciones de precios del mercado.



Interior de la central de Ip. Las turbinas quedan por debajo de la solera de la nave (FIG. 10).

3. CENTRAL DE VILLANÚA

La central de Villanúa se encuentra en el río Aragón, aguas abajo de la presa de Canfranc

3.1 Azud de toma de la central de Villanúa

La central de Villanúa tiene la toma en el azud en que desagua la central de Canalroya. En la FIG. 14 puede verse la toma y en la FIG. 15 el aliviadero del azud que vierte al embalse de Canfranc. Desde este embalse hay un bombeo que vierte al canal de la central de Villanúa. Con todo este sistema de vertido y bombeo se consigue el mejor aprovechamiento del conjunto, en función de la situación de bombeo o generación de la central de Ip.

3.2 Central de Villanúa

La central de Villanúa tiene una potencia de 11,6 MW con un caudal de 7 m³/s y una altura de salto de 172 m. El edificio es de montaña, situado junto al río Aragón. Como la central de Canalroya las dos turbinas Francis de eje horizontal están conectadas al mismo generador. En la FIG. 17 puede verse el generador central y las dos turbinas a ambos lados.



Toma de la central de Villanúa en el desagüe de la central de Canalroya (FIG. 14).



Vertido de la cámara de carga al embalse de Canfranc (FIG. 15).



Interior de la central de Villanúa, con dos turbinas acopladas al mismo generador (FIG. 17).



Toma de la central de Aratorés en el río Aragón (FIG. 18).

4. CENTRAL DE ARATORES

La central de Villanúa desagua al río Aragón aguas arriba de la presa de Jaca. En el tramo de río situado aguas abajo de esta presa hay dos centrales que utilizan el excedente de caudal que no es derivado por la toma de la central de Jaca. La primera de estas es Aratorés, que aprovecha las instalaciones de un antiguo molino.

4.1 Azud de toma de Aratorés

El azud de toma de la central (FIG. 18) está situado en una curva del río y tiene la toma en la margen derecha.

4.2 Central de Aratorés

El canal, de 635 m de longitud, termina en el frente de la central, tal como puede verse en la FIG. 19. Junto al mismo, en el lado izquierdo, está la antigua casa del molinero. La central tiene un salto de 8,25 m y turbina un caudal de 4 m³/s, con una potencia de 300 kW. Es una pequeña instalación que aprovecha la toma, el canal de toma y de desagüe de una instalación anterior.



Cámara de carga de la central de Aratores, con el aliviadero (FIG. 19).



Interior de la central de Castiello de Jaca, con el grupo, equipos eléctricos y transformador (FIG. 21).

5. CENTRAL DE CASTIELLO DE JACA

Próximo al vertido de la central de Aratores está la toma de la central de Castiello de Jaca. Se trata también de una pequeña central con un salto de 35 m, un caudal de 4 m³/s y una potencia de 1,2 MW. El canal de toma tiene una longitud de 3.300 m, termina en una cámara de carga en la que se inicia la tubería forzada de 1,2 m de diámetro. El edificio de la central incluía la vivienda de los operarios. El interior es amplio, con una turbina Francis de eje vertical (FIG. 21), estando situados en el interior todos los equipos eléctricos, incluso el transformador.



Central de Jaca con figura de poliedro y tubería de llegada de agua (FIG.24). Central de Jaca con figura de poliedro (FIG. 25).

6. CENTRAL DE JACA

La central de Jaca tiene la toma junto al vertido de la central de Villanúa. Es el aprovechamiento principal de este tramo de río, ya que las de Aratorés y Castiello utilizan el caudal excedentario.

6.1 Toma de la central de Jaca

La presa de toma de la central es de gravedad de 10,2 m de altura. Tiene dos vanos, uno de vertido libre y otro equipado con una compuerta Taintor que dispone de una clapeta en la parte superior (FIG. 22). La toma de 10 m³/s está en la margen derecha (FIG. 23), en la que se inicia un canal de 12.382 m.



Presa de la central de Jaca, con un vano de labio fijo y otro con compuerta Taintor y clapeta (FIG. 22).

6.2 Central de Jaca

La central es una instalación de 15,2 MW, con un salto de 176 m y un caudal de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. El canal de toma termina en una cámara de carga, donde se inicia una tubería forzada de 2 m de diámetro y 477 m de longitud, que termina en la central.

Tiene la singularidad de su forma de poliedro con vanos de luces en la parte inferior y metálicos en la superior (FIG. 25). Esa forma obliga a que el puente grúa tenga una apoyo central fijo y sea radial, con un apoyo exterior móvil que describe un círculo y en cuyo ámbito están las dos turbinas Francis de eje horizontal, generadores, etc. (FIG. 26). La estructura de la cubierta está formada por triángulos que definen las caras del poliedro.



Interior de la central de Jaca con puente grúa circular y apoyo central (FIG. 26).

V. RESUMEN FINAL

Las centrales y presas del Pirineo aragonés constituyen un conjunto singular de obras e instalaciones. Fueron construidas entre los años 1912 y 1977, por diferentes empresas, cada una de las cuales dejó su sello propio. Así, Catalana de Gas construyó en el Ésera edificios y azudes de gran calidad. Hidroeléctrica Ibérica logró un excelente aprovechamiento del Cinca, con embalses en las partes altas de la cuenca, que complementan la aportación natural. Energías e Industrias Aragonesas añadía, tanto en el Gállego como en la parte alta del Ésera, a la cuenca principal las aportaciones de cuencas laterales que aumentaban sensiblemente el aprovechamiento, Eléctricas Reunidas de Zaragoza construyó la central reversible de Ip que fue la de mayor altura de Europa. ENHER construyó centrales con soluciones pensadas a largo plazo, aunque tuviesen un costo inicial importante.

Hoy día tanto las presas como las tuberías, canales, centrales, etc., están integradas en el entorno y generan entre 1.300 y 1.900 GWh/año, con energía renovable, no contaminante, autóctona, que supone el 5% de la producción total hidroeléctrica de España y un 0,63 % de la demanda total anual del sistema eléctrico peninsular. Del total de 29 centrales, cinco, con una potencia total de 373,4 MW, operan en el Mercado Secundario, colaborando a la estabilidad del sistema eléctrico.

Sin embargo actualmente, y por presuntas razones ambientales, no se habría podido construir ninguna de ellas; lo que pone en cuestión la aplicación de los criterios que se vienen aplicando.

También desde el punto de vista económico en este momento surgirían grandes dificultades para su construcción. Sin embargo, estas centrales, construidas en su día para satisfacer necesidades de disponibilidad de energía para hacer posible el desarrollo industrial de distintos territorios o empresas, han supuesto a largo plazo unos beneficios importantísimos, difícilmente previsibles, ya citados, tales como el aporte a la regulación, la sustitución de combustibles fósiles, la producción de energía autóctona, desarrollo de territorios mediante accesos y puestos de trabajo, etc. Todo ello hace pensar en las indudables ventajas a largo plazo de este tipo de inversiones y sugiere tenerlo en cuenta en una visión global de la economía, Es indudable que son una referencia energética de indudable interés, que es obligado mantener y divulgar. Debieran declararse bienes de interés cultural.

FRANCISCO GALÁN SORALUCE

Nació en Pamplona en 1942. Estudió Ingeniería de Caminos en la Escuela de Madrid, perteneciendo a la promoción de 1966. En el año 1965, trabajó de alumno en el Laboratorio de Hidráulica del Ministerio de Obras Públicas, en ensayos de modelos reducidos de aliviaderos de presas. De 1966 a 1968 trabajó en la empresa constructora Agromán en temas de obras hidráulicas. De 1968 a 1991 trabajó en el abastecimiento de agua de Pamplona, actualmente Mancomunidad de la Comarca de Pamplona, participando en la elaboración de diversa normativa de proyectos de abastecimiento y saneamiento, redactando proyectos y dirigiendo obras de tuberías, colectores, depósitos así como las plantas de tratamiento de agua potable y depuración de residuales y el Centro de Residuos Urbanos de la Comarca de Pamplona. Compaginando con el trabajo en la Mancomunidad, en el periodo 1975 a 1980, fue Jefe de los Servicios Técnicos del Ayuntamiento de Pamplona, participando en los planes y actuaciones urbanísticas de la ciudad y de la Comarca. De 1990 a 1992 trabajó en la dirección de obra de diversos polígonos industriales y residenciales.

A partir de 1992 trabaja en temas energéticos en la empresa Acciona Energía proyectando las obras civiles y participando en la construcción de centrales hidroeléctricas, parques eólicos, plantas solares, de biomasa, de biocombustibles etc. llevando también la explotación de las presas. Ha recibido, en 2007, la Medalla al mérito profesional del Colegio de Ingenieros de Caminos.





© 2012 Fundación ESTEYCO

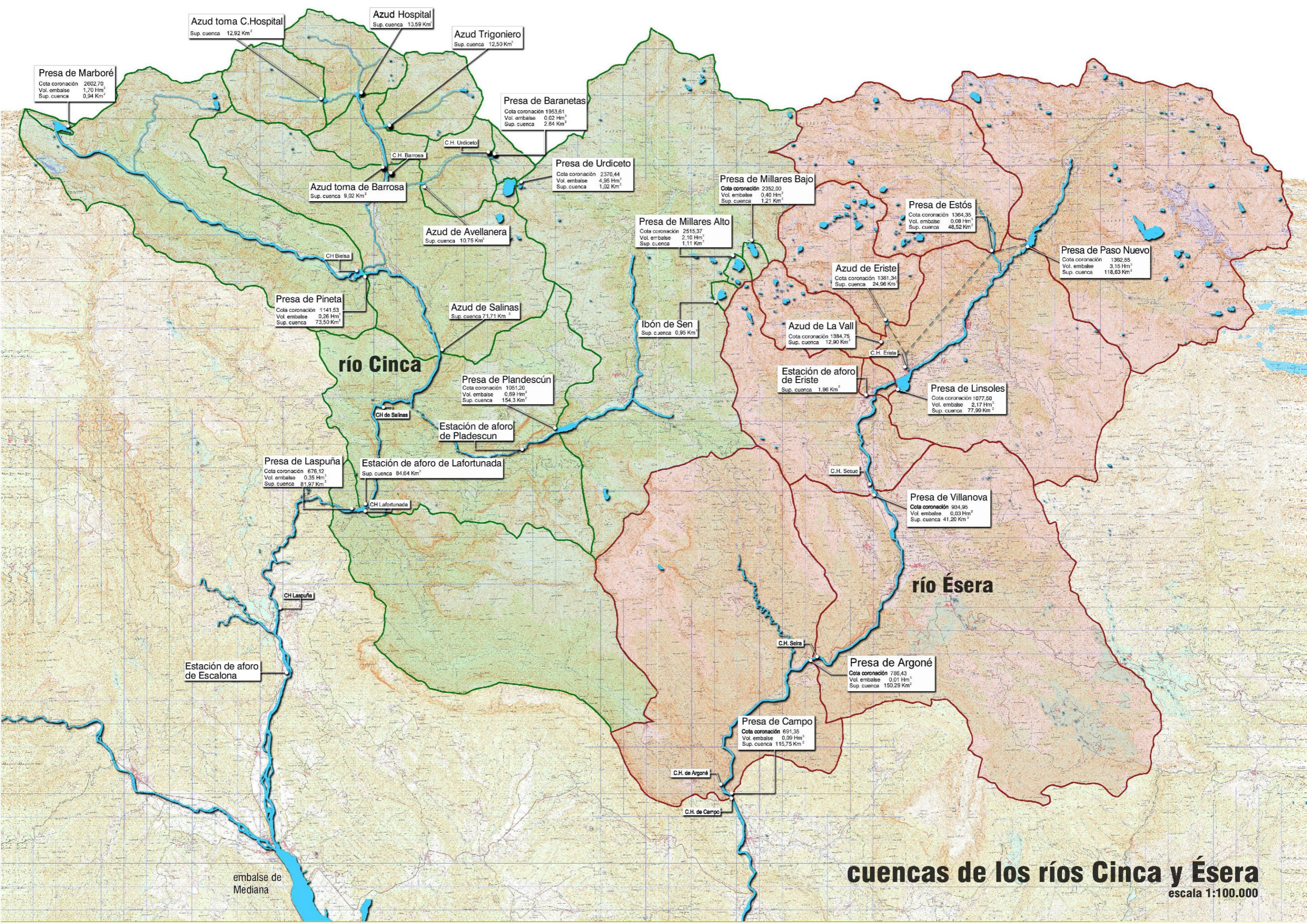
© 2012 Textos: Francisco Galán. Roger Besora.

© 2012 Fotografías: Acciona, Francisco Galán, archivos fotográficos del mNACTEC.

Diseño Gráfico: Pilar Carrizosa

Fotomecánica, fotomecánica e impresión: Estugraf impresores S.L.

Editado por la Fundación ESTEYCO. Menéndez Pidal, 17. 28036 Madrid.
Impreso en España. Diciembre 2012



Presa de Marboré
 Cota coronación 2602,70
 Vol. embalse 1,70 Hm³
 Sup. cuenca 0,94 Km²

Azud toma C.Hospital
 Sup. cuenca 12,92 Km²

Azud Hospital
 Sup. cuenca 13,59 Km²

Azud Trigoniero
 Sup. cuenca 12,50 Km²

Presa de Baranetas
 Cota coronación 1953,61
 Vol. embalse 0,02 Hm³
 Sup. cuenca 2,64 Km²

Presa de Urdiceto
 Cota coronación 2370,44
 Vol. embalse 4,95 Hm³
 Sup. cuenca 1,02 Km²

Presa de Millares Bajo
 Cota coronación 2352,00
 Vol. embalse 0,40 Hm³
 Sup. cuenca 1,21 Km²

Presa de Estós
 Cota coronación 1364,35
 Vol. embalse 0,08 Hm³
 Sup. cuenca 48,52 Km²

Presa de Paso Nuevo
 Cota coronación 1362,55
 Vol. embalse 3,15 Hm³
 Sup. cuenca 118,63 Km²

Presa de Millares Alto
 Cota coronación 2515,37
 Vol. embalse 2,10 Hm³
 Sup. cuenca 1,11 Km²

Azud de Eriste
 Cota coronación 1381,34
 Sup. cuenca 24,96 Km²

Azud toma de Barrosa
 Sup. cuenca 9,02 Km²

Azud de Avellanera
 Sup. cuenca 10,75 Km²

Presa de Pineta
 Cota coronación 1141,53
 Vol. embalse 0,26 Hm³
 Sup. cuenca 73,50 Km²

Azud de Salinas
 Sup. cuenca 71,71 Km²

Ibón de Sen
 Sup. cuenca 0,95 Km²

Estación de aforo de Eriste
 Sup. cuenca 1,96 Km²

Presa de Linsoles
 Cota coronación 1077,50
 Vol. embalse 2,17 Hm³
 Sup. cuenca 77,99 Km²

Presa de Plandescún
 Cota coronación 1051,20
 Vol. embalse 0,69 Hm³
 Sup. cuenca 154,3 Km²

Estación de aforo de Pladescun

Presa de Laspuña
 Cota coronación 676,12
 Vol. embalse 0,35 Hm³
 Sup. cuenca 81,97 Km²

Estación de aforo de Lafortunada
 Sup. cuenca 84,64 Km²

Presa de Villanova
 Cota coronación 934,95
 Vol. embalse 0,03 Hm³
 Sup. cuenca 41,20 Km²

Estación de aforo de Escalona

Presa de Argoné
 Cota coronación 786,43
 Vol. embalse 0,01 Hm³
 Sup. cuenca 150,29 Km²

Presa de Campo
 Cota coronación 691,35
 Vol. embalse 0,09 Hm³
 Sup. cuenca 115,75 Km²

embalse de Mediana

