

JORNADA PRESAS Y ENERGIA HIDROELECTRICA – SPANCOLD
MADRID 25 DE ABRIL DE 2018
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO GRANDE
PROYECTO ROSITAS (BOLIVIA)





SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA EL DISEÑO FINAL Y DOCUMENTOS DE LICITACIÓN DEL PROYECTO “CONSTRUCCIÓN CENTRAL HIDROELÉCTRICA ROSITAS”

2 CONTRATO DE SERVICIO DE CONSULTORÍA N° 10994

Mediante el Proceso de Licitación Pública Internacional N° LPI-PHRO-01/2014, ENDE adjudicó a EPTISA SERVICIOS DE INGENIERÍA S.L. el contrato de servicio de consultoría N° 10994 (Resolución de Adjudicación N° ENDE-RES-DEPH-9/6-14), el mismo que ha sido suscrito el 23 de septiembre de 2014, por el monto total de Bs. 63.908.470,00 (Sesenta y Tres Millones Novecientos Ocho Mil Cuatrocientos Setenta 00/100 Bolivianos), por el plazo de quinientos cuarenta (540) días calendario.

2.1 Objeto de la Consultoría

El objeto de los estudios de consultoría consta de las siguientes partes, cuya ejecución deberá tener lugar en forma interrelacionada y con productos separados:

1. Revisión y actualización del Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Río Grande Rositas, contenido en los informes pertinentes de Bechtel Overseas Inc. y Asociados, “Estudio de Factibilidad Río Grande Rositas” de 1977 y estudios complementarios existentes.
2. Revisión y actualización del estudio de prefactibilidad del Desarrollo Hidroeléctrico del Río Grande, contenido en los informes de Harza Engineering Co., “Hydroelectric Development of the Río Grande – A Prefeasibility Report”, 1972.
3. Diseño Final, Especificaciones Técnicas y Documentos de Licitación del Proyecto Hidroeléctrico Rositas.
4. Estudios ambientales específicos
5. Estudio de Factibilidad Técnico-económica y Ambiental de la Segunda Central Hidroeléctrica Seleccionada para su ejecución en el Curso Principal del Río Grande (Sujeta a consideraciones Agenda 2025).

Introducción

- La cuenca media del río Grande ofrece un alto potencial de desarrollo energético, económico y social para el Estado Plurinacional de Bolivia
- **Estudio de Prefactibilidad del desarrollo hidroeléctrico de la cuenca del Río GRANDE**

•Localización: Santa Cruz, Chuquisaca and Cochabamba

•Longitud cauce : 693,3 km

•Area de la cuenca: 59.347,5 Km²

•Precipitación Media :647,8 mm

• Caudal Medio : 312,6 m³/s

•Nace de la confluencia de los ríos Caine y San Pedro

•Afluente de Río Mamoré

•Pertenece a la Cuenca del río Amazonas



Introducción

- El aprovechamiento hidroeléctrico de la cuenca media del río Grande se estructura en torno a **7 embalses** que, contruidos en cascada, posibilitarían la instalación de, aproximadamente, **2.520 MW** de potencia hidráulica y la generación anual de **12.066 GWh** de energía

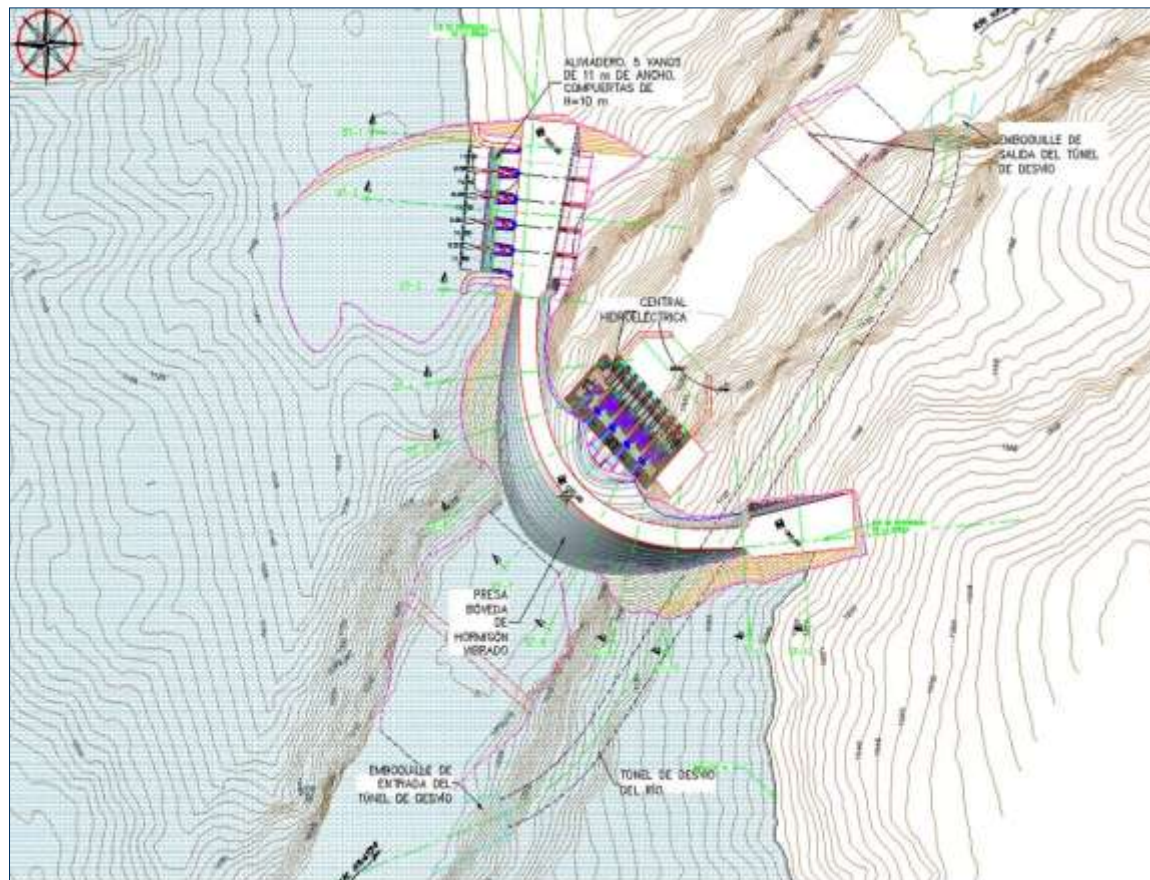


Introducción

- Factibilidad de la **SEGUNDA CENTRAL** mas conveniente del sistema Río Grande :
AH CAÑAHUECAL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

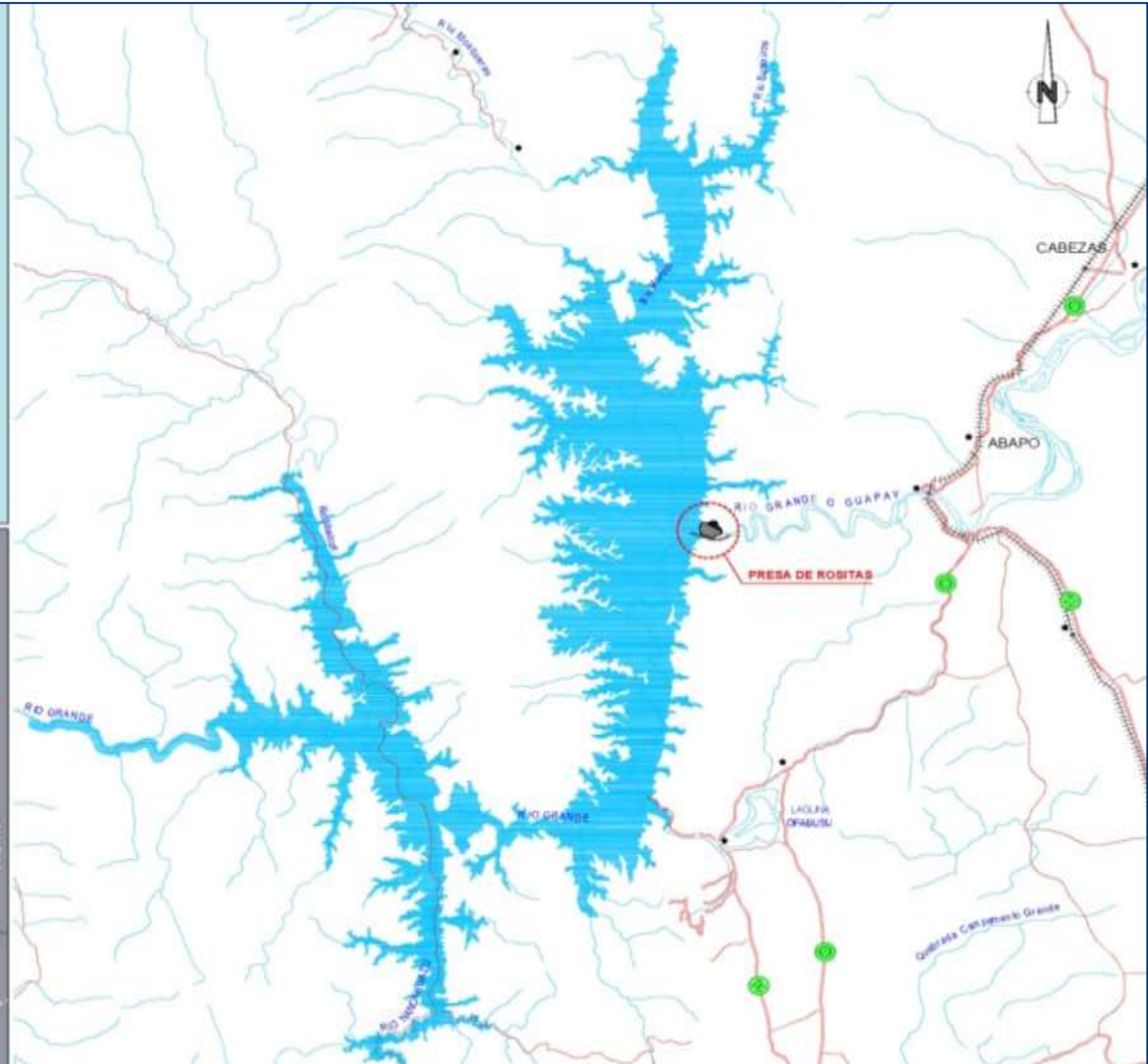
Presa de bóveda delgada
 de doble curvatura
 Altura sobre cimientos 216
 m
 Longitud de desarrollo
 371,65 m
 Espesor mínimo ménsula
 central en coronación: 10,5
 m
 Espesor máximo en
 cimiento 41, 627 m
 Volumen de embalse 8.300
 Hm³
 Central con 4 turbinas
 Francis de eje vertical
 Potencia instalada 380 MW
 Caída máxima 187 m
 Caída mínima 127 m



Objetivos

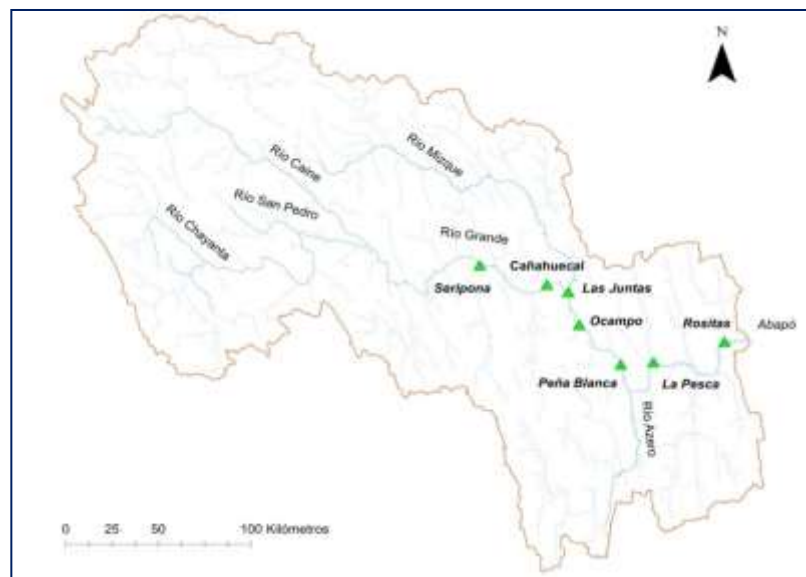
- **Factibilidad y Proyecto Constructivo a Diseño Final del AH Rositas**
- **Aprovechamiento hidroeléctrico:** implicaría la puesta en funcionamiento de una Central Hidroeléctrica con una potencia instalada de 600 MW, producción de energía de aprox. 3.000 GWh/año.
- **Regadío:** Permitirá el desarrollo potencial de una superficie regable de 165.000 ha en la zona de las llanuras de Abapó, Izozog y Florida.
- **Laminación de avenidas y disminución del riesgo de inundación** en toda la zona situada aguas abajo de la presa de Rositas.
- Provisión de Agua de Abastecimiento a Santa Cruz
- Turismo, y otros

Ubicación



Características Cuenca Rio Grande hasta Sitio de Presa

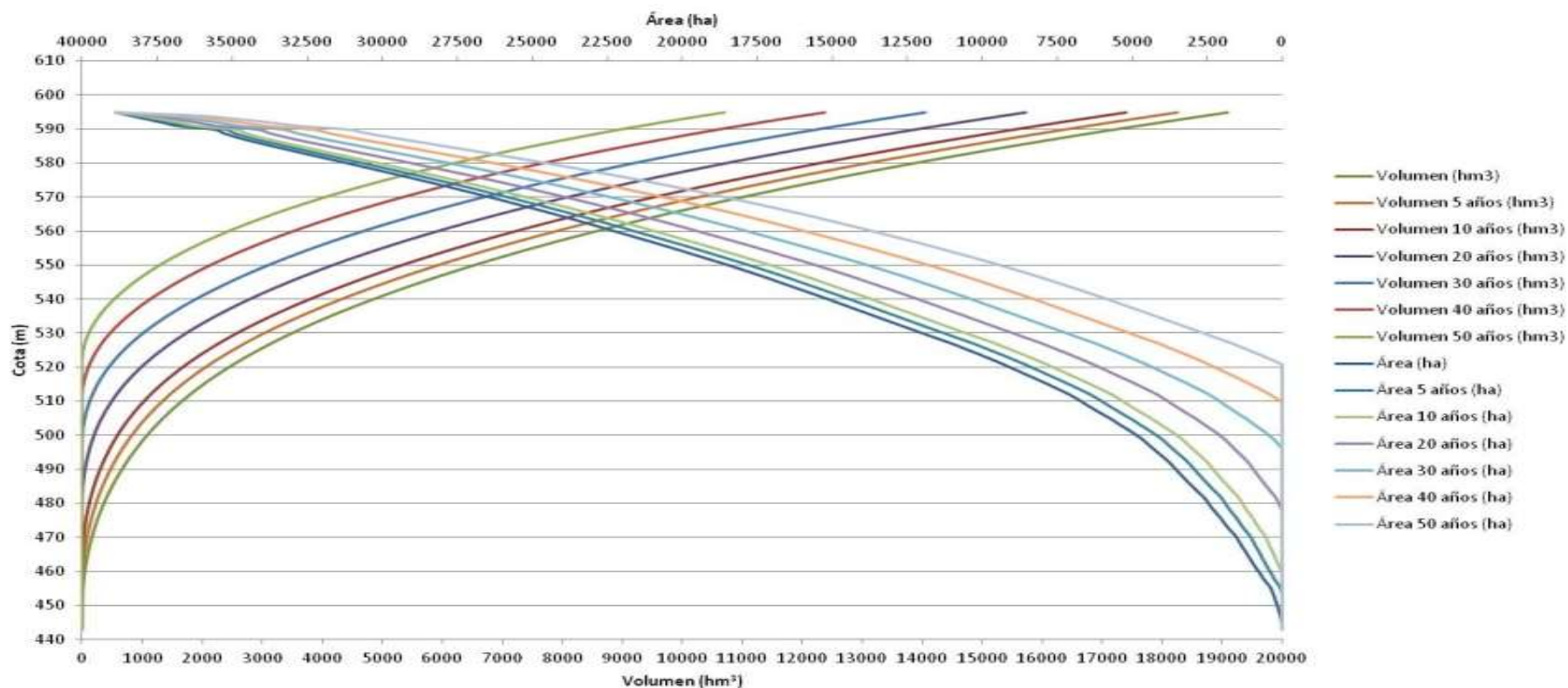
- Superficie de la cuenca de aportación: 59.347,47 km²
- Precipitación media en la cuenca 647,80 mm
- Caudal medio de la cuenca: 312,60 m³/s
- Aporte de sedimentos medio anual: 248 Mton
- Temperatura media: 16 °C
- Evaporación en Rositas: 1.640,70 mm
- Caudal punta avenida T=10.000 años: 14.873,19 m³/s
- Volumen total avenida T=10.000 años: 15.238,76 hm³



Embalse

- Nivel de coronación de la presa: **605,0 msnm**
- Nivel máximo Máximo Normal de Operación: **595,00 msnm**
- Nivel Mínimo de Operación: **536,00 msnm**
- Área de inundación a nivel normal de operación: **410,0 km²**
- Volumen total de embalse a cota 595,0 msnm: **19.094,51 hm³**
- Volumen máximo de embalse : **21.220,90 hm³**

Curvas Cota-Área-Volumen Rositas



Establecimiento del NMN y potencia instalada

- **Condicionantes previos:**
 - De acuerdo a los términos de referencia del proyecto, la potencia instalada debe ser igual o superior a **400 MW**
 - Las afecciones existentes y condicionantes topográficos y geológicos condicionan a que el nivel máximo normal del embalse esté comprendido entre las cotas **580 msnm** y **595 msnm**
- **Secuencia del proceso de decisión:**



Establecimiento del NMN y potencia instalada

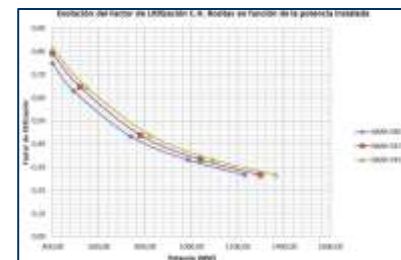
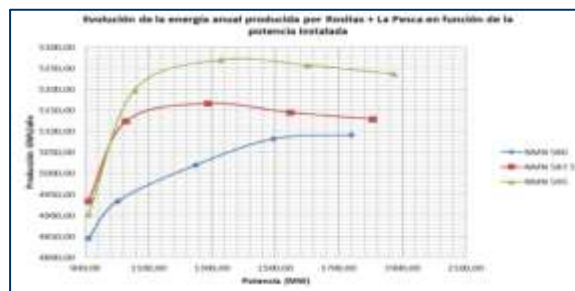
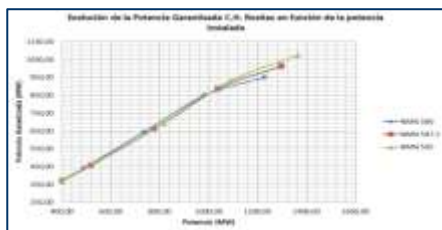
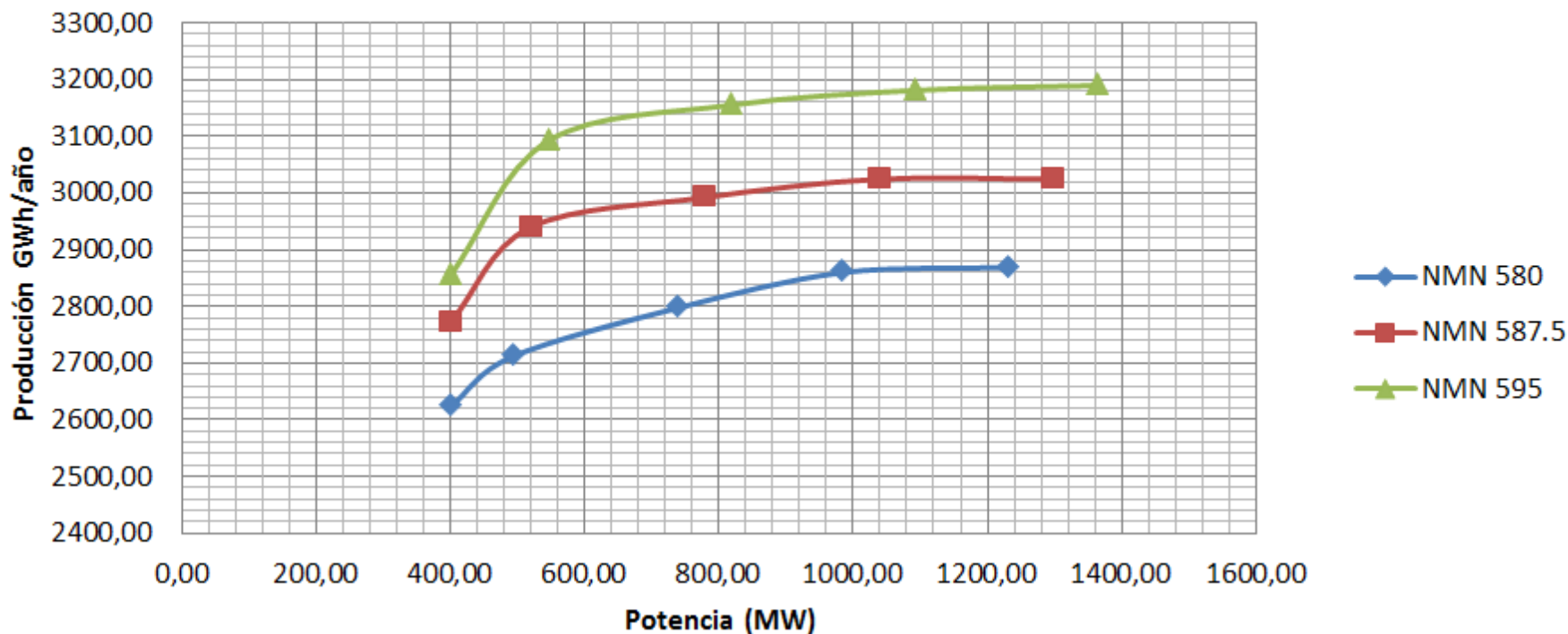


- Obtención de los **presupuestos aproximados de ejecución** de cada una de las alternativas a partir de la valoración presupuestaria de las obras principales:
 - Presa
 - Aliviadero
 - Central hidroeléctrica
 - Desvío del río
 - Circuito hidráulico

* **Principales parámetros energéticos** se ha implementado un **modelo de simulación** con las siguientes características:

- Escala temporal: **MENSUAL**
- Período de análisis: 50 años
- **Información de partida utilizada:**
 - Serie histórica de aportaciones mensuales
 - Caracterización del embalse.
 - Caracterización del cauce mediante la curva H/Q.
 - Caracterización de los grupos a través de las curvas Altura – Caudal – Rendimiento
 - Caudal ecológico
 - Evaporación en el embalse, caracteriza
 - Caracterización de la demanda agrícola

Evolución de la Energía Media Anual Producida por la C.H. Rositas en función de la potencia instalada





- Se basa en la siguiente expresión

$$\text{Coste monómico} = (\text{Coste anual de inversión} + \text{Coste anual de O\&M}) / (\text{Producción media anual})$$

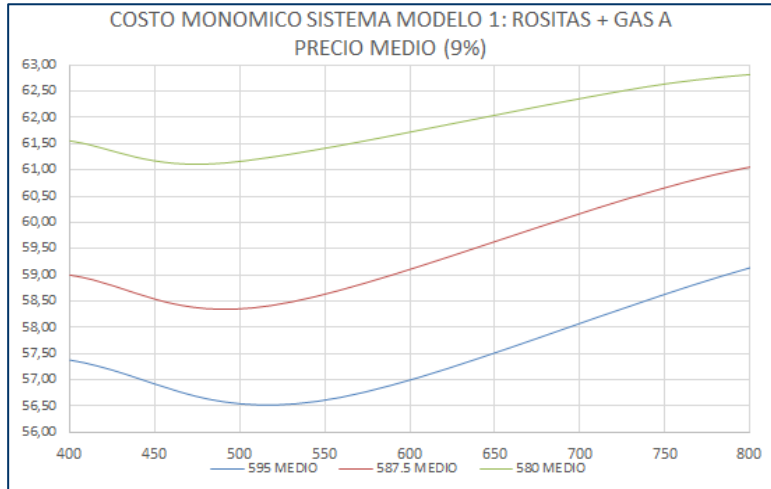
- 2 modelos

- Modelo 0:** La central hidro se supone independiente al sistema. No se consideran las restricciones estacionales de la energía. Se calcula el coste monómico de la central.
- Modelo 1:** La central hidro se supone integrada en un sistema cuya demanda de potencia punta es la potencia instalada de la central y la demanda de energía es la equivalente a la de aplicar un factor de carga igual al medio del sistema. La parte de demanda, en cuanto a potencia y energía, que no puede ser suministrado por la HIDRO, es suplida por una central térmica de gas. Se calcula el coste monómico medio del conjunto HIDRO+GAS. La potencia térmica se calcula por diferencia entre la potencia HIDRO instalada y la potencia HIDRO garantizada.

- Escenario base + Análisis de sensibilidad

PARÁMETROS	ESCENARIOS DE COSTES DE CAPITAL		
	ALTERNATIVA BASE	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B
Tasa de descuento capital (%)	9.0	6.0	12.0
Coste capital C.T.(US\$/KW-mes)	8.622	7.159	10.084
COSTES REFERENCIA TURBINA GAS	ESCENARIOS DE PRECIOS DEL GAS		
	PRECIO MEDIO	PRECIO MINIMO	PRECIO MAXIMO
Precio oportunidad del gas (US\$/MMBTU)	6.00	3.00	9.00

Establecimiento del NMN y potencia instalada



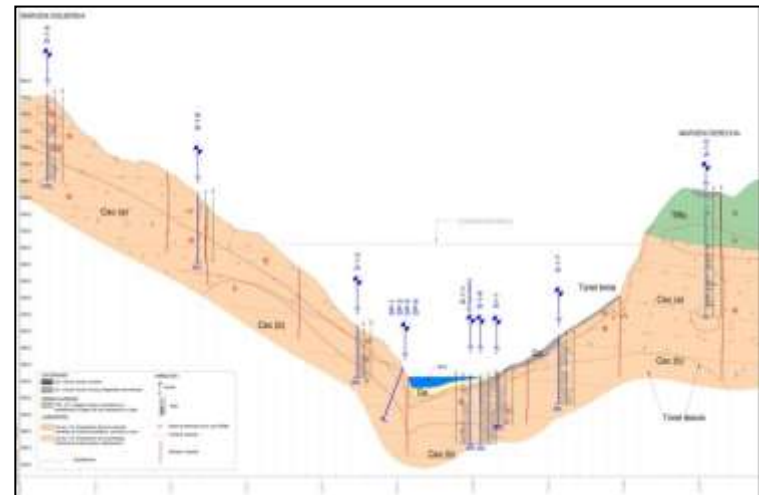
- La cota óptima para el embalse de Rositas es la 595 msnm
- Vemos que los valores óptimos oscilan desde una potencia de 550 MW y una potencia de 625 MW.
- Analizada ROSITAS de forma individual, considerando y sin considerar los efectos del gas según el modelo 1, la potencia óptima está comprendida entre 525-550 MW.
- Si se estudia el conjunto ROSITAS+presa aguas arriba, la potencia óptima estaría comprendida entre 600-650 MW.



SE ADOPTA LA CONFIGURACIÓN DE EMBALSE CON UN NMN SITUADO A LA COTA 595 msnm Y CENTRAL HIDROELÉCTRICA EQUIPADA CON 600 MW

CONDICIONANTES GEOLOGICO GEOTECNICOS

- La cuenca del río Grande se localiza en la **parte oriental de Los Andes**
- Se distinguen los dominios geológicos del **Subandino** (donde se sitúa la presa y vaso) y de la **Cordillera Oriental**, cuyos materiales plegados, tienen edad Ordovícico-Cretácico y son fundamentalmente de naturaleza arenisco-cuarcítica y lutítica, con algunos episodios calizos.
- **La presa de Rositas se localiza en los denominados «cajones del río Grande»**, angosto o cañón en el que se encaja el río en las últimas elevaciones del Subandino .
- **Materiales aflorantes en el sitio de presa:**
 - **Materiales de la Formación Escarpment del Carbonífero Inferior** constituidos por una serie de materiales areniscos silíceos, de grano fino a medio, con cementación ligera carbonatada y matriz limolítica. Se encuentran zonas (en especial en la parte alta de las laderas) caracterizadas por una baja o una ausencia de cimentación
 - Por encima de la Formación Escarpment, aparece un conjunto de **areniscas triásicas, pertenecientes a Formación Cangapi**. Son en general areniscas blandas de colores amarillentos y rojizos, menos cementadas aún que las anteriores

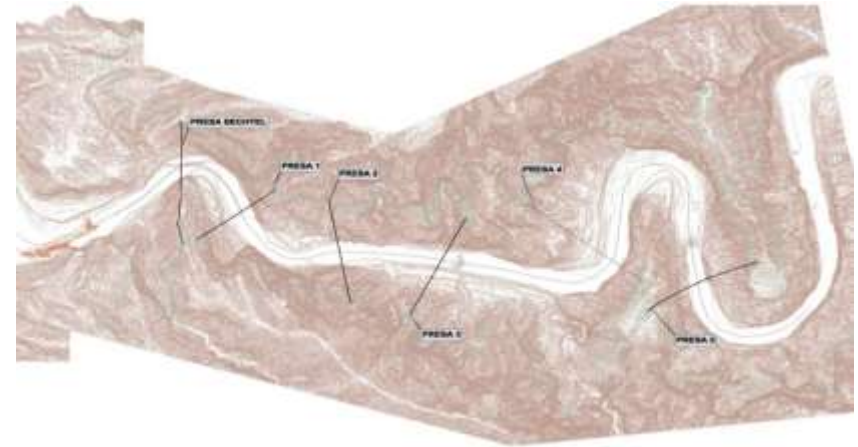


Estudio de alternativas

Se estudiaron **8 posibles alternativas** para la presa de Rositas considerando variaciones en la tipología de la presa y en el emplazamiento.

Se realizaron reconocimientos geotécnicos en 4 de los ejes

- **2400 ml de sondeos** a testigo continuo
- Más de **600 testigos de roca** para realización de **ensayos**
- Se intentaron **183 ensayos Lugeon**
- **38 ensayos de inyección** de lechada de cemento
- **15 ensayos presiométricos**
- **Perfiles de refracción sísmica, tomografía eléctrica y ensayos MASW**



Características geomecánicas existentes:

- Grado de alteración
- Calidad del macizo rocoso en su conjunto
- Resistencia a compresión simple de la roca matriz
- Módulo de deformación del medio rocoso para el nivel de deformaciones que se van a producir
- Velocidad de transmisión de las ondas de compresión
- Riesgo de deslizamiento por un plano de estratificación

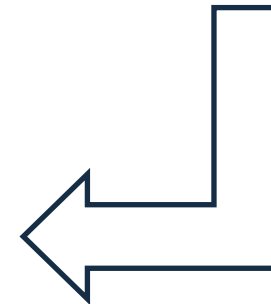


Se descartó la posibilidad de cimentar una presa de más de 150m de hormigón, o híbrida a partir de cualquier componente rígido



Presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla

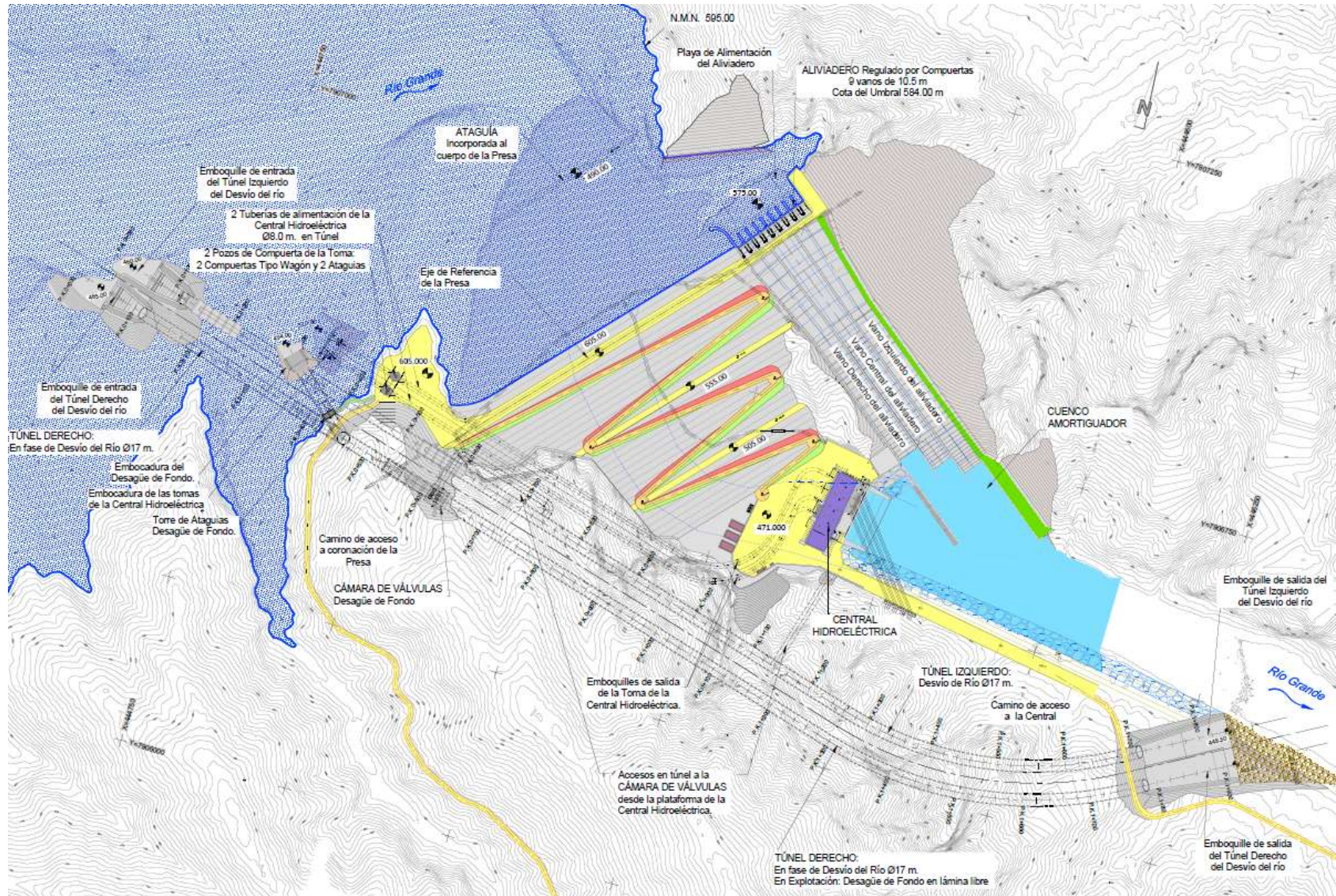
La selección final de la alternativa a desarrollar se decidió en base a criterios económicos, programáticos, operativos y medioambientales



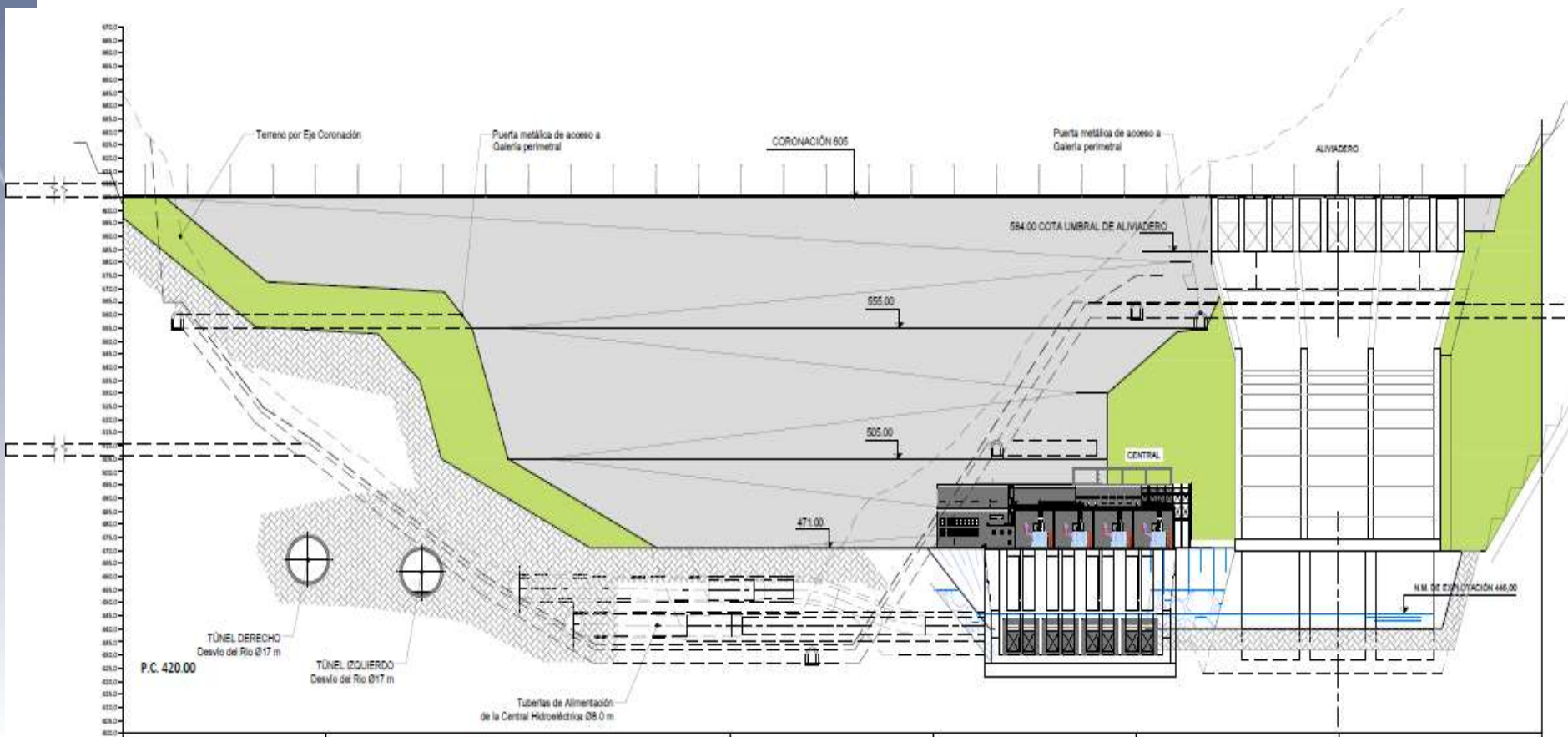
Planta General de las Obras – Descripción General

- **Presa de tierra** con núcleo de arcilla y 162,00m de altura sobre el cauce
- **Desvío del río** con capacidad para evacuar 6.380,00 m³/s (T=25 años):
 - Dos túneles de 17,00m de diámetro de 3.260,21m de longitud total
 - Ataguía
 - Contraataguía
- **Vertedero de Superficie** situado en la margen izquierda, diseñado para la crecida de 10.000 años atenuada (11.995,63 m³/s) y comprobado para la Crecida Máxima probable (PMF) atenuada (12.265,21 m³/s)
- **Dos tomas de agua** que dan entrada al **circuito hidráulico**, conformado por 2 túneles blindados de 8,00m de diámetro
- **Tres desagües de fondo** de sección rectangular de 3,10x3,80m equipados con una válvula de regulación tipo Taintor y con una compuerta de guarda tipo Bureau.
- **Central Hidroeléctrica** situada a pie de presa y con una potencia instalada de 600 MW
- **Caminos de Acceso:** un camino de 22,31km de longitud para acceder a la coronación de la presa y otro camino de 7,14 km de longitud que, partiendo del anterior, permite el acceso a la central hidroeléctrica
- **Campamento permanente** con capacidad para 48 personas

Planta General de las Obras – Descripción General

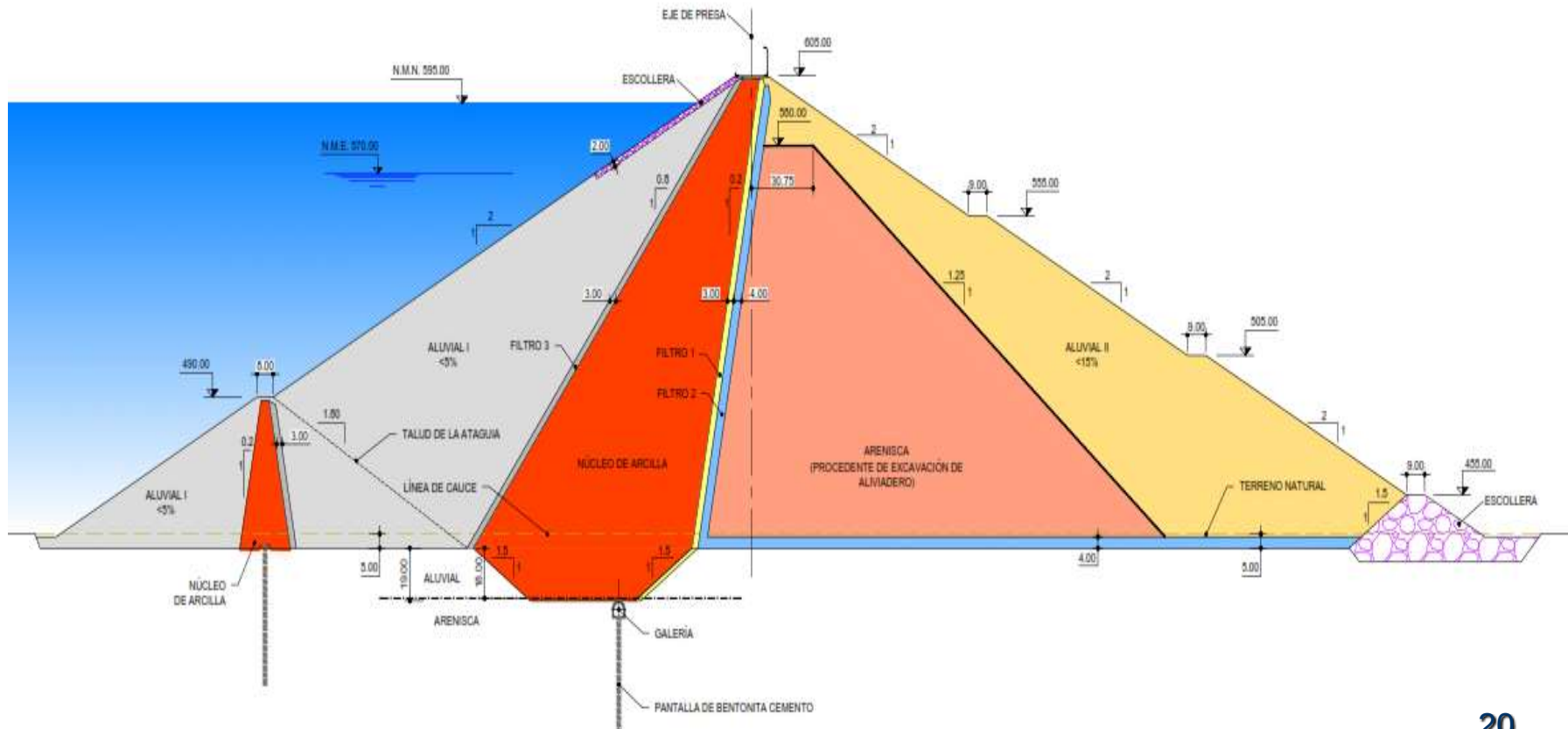


Planta General de las Obras – Descripción General



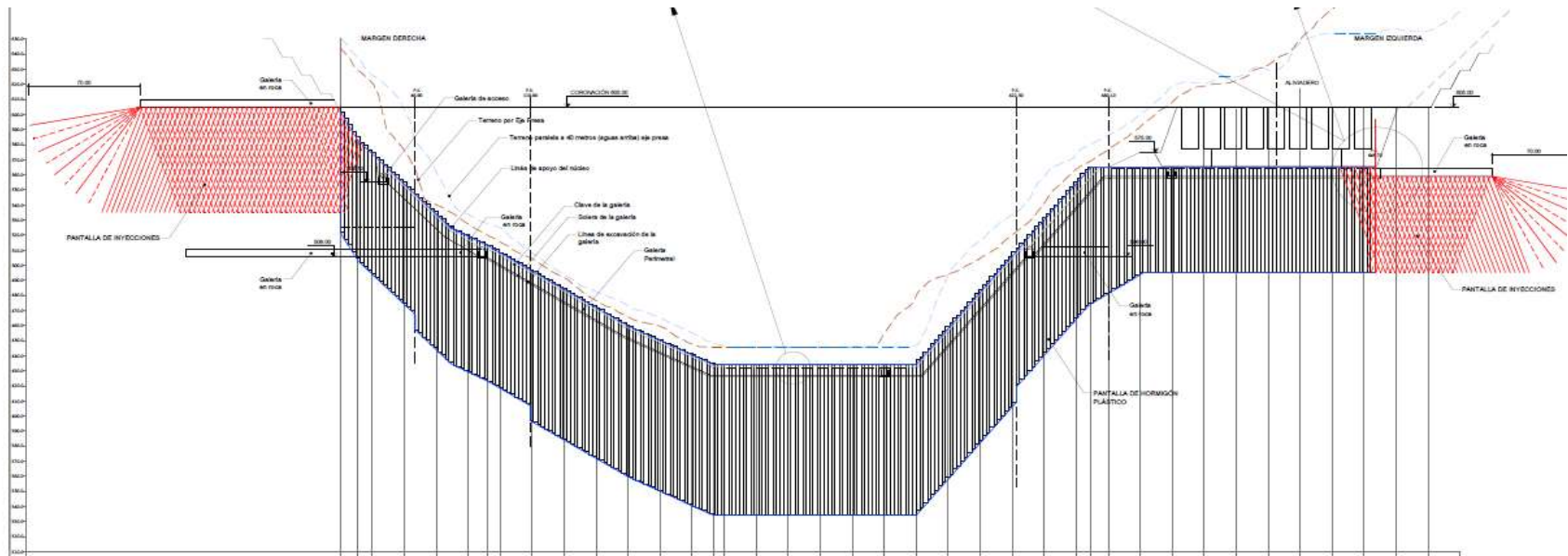
Presa de tierra con núcleo de arcilla

- **Tipo de presa:** Relleno de tierra con núcleo de arcilla; el núcleo de arcilla se dispone ligeramente inclinado hacia aguas arriba.
- **Nivel de coronación:** 605,00 msnm
- **Altura de presa:** 171,00 m (sobre cimientos)
- **Altura de presa:** 162,00 m (sobre el cauce)
- **Longitud de coronación:** 540,00 m
- **Taludes:** 2H/1V y en el paramento de aguas abajo se han incorporado dos bermas de 9,00 de ancho
- **Volumen de relleno:** 15.312.788,00 m³



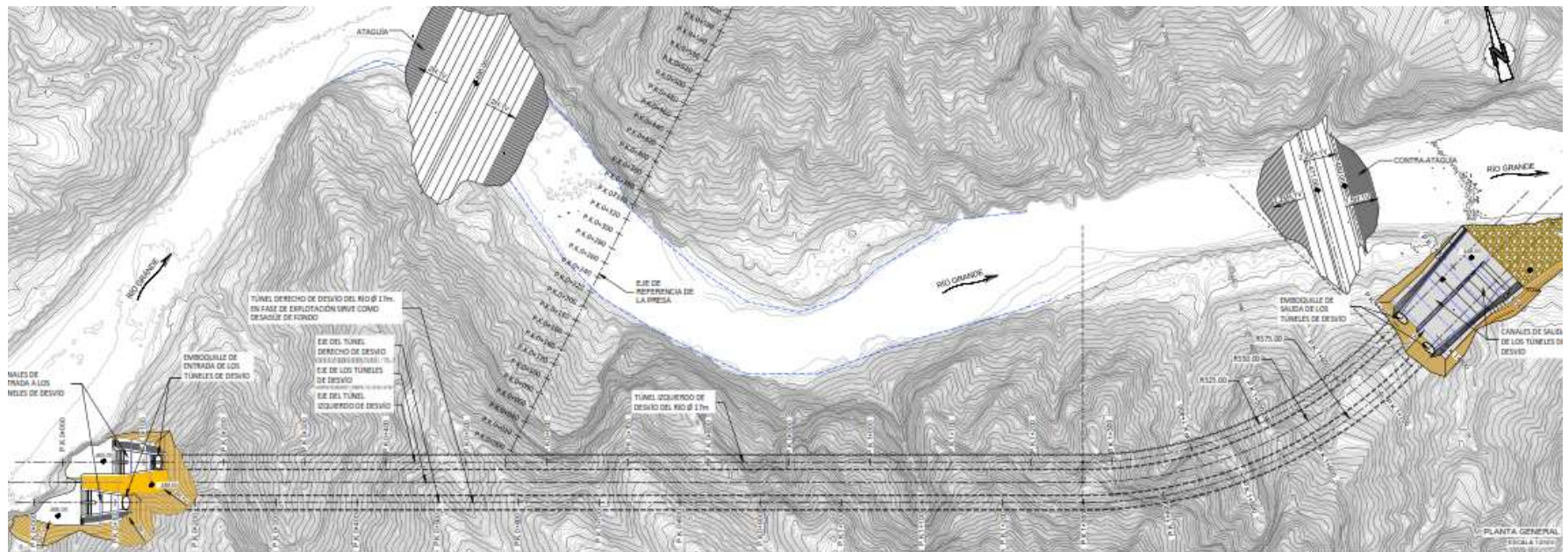
Presa de tierra con núcleo de arcilla

- **Materiales:**
 - Espaldón de aguas arriba: formado por aluvial del río con menos de un 5% de finos
 - Espaldón de aguas abajo:
 - Zona de sombra con las areniscas excavadas del aliviadero
 - Parte exterior formada por material aluvial del río con menos de un 15% de finos
 - Tacón de escollera drenante
- **Dos pantallas impermeables de hormigón plástico** (una bajo el núcleo de la ataguía y la otro bajo el núcleo del cuerpo de presa) de altura variable y con un máximo de 100



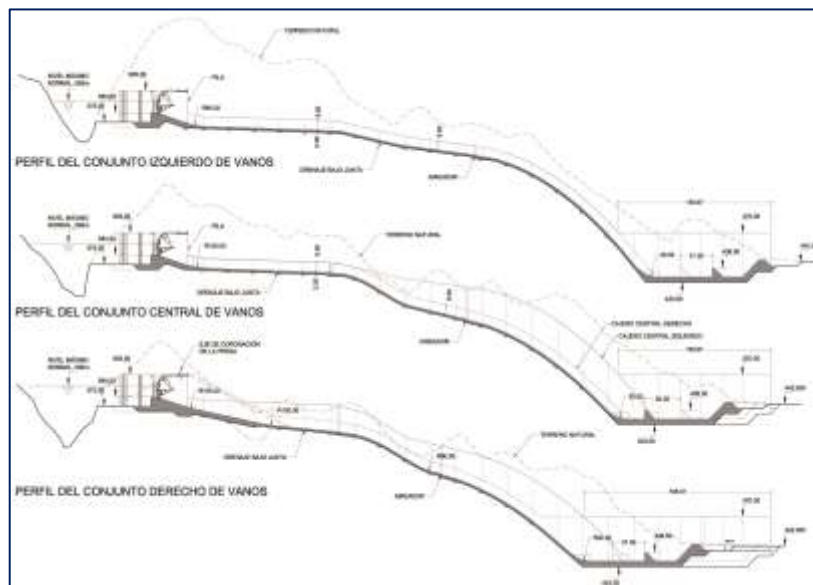
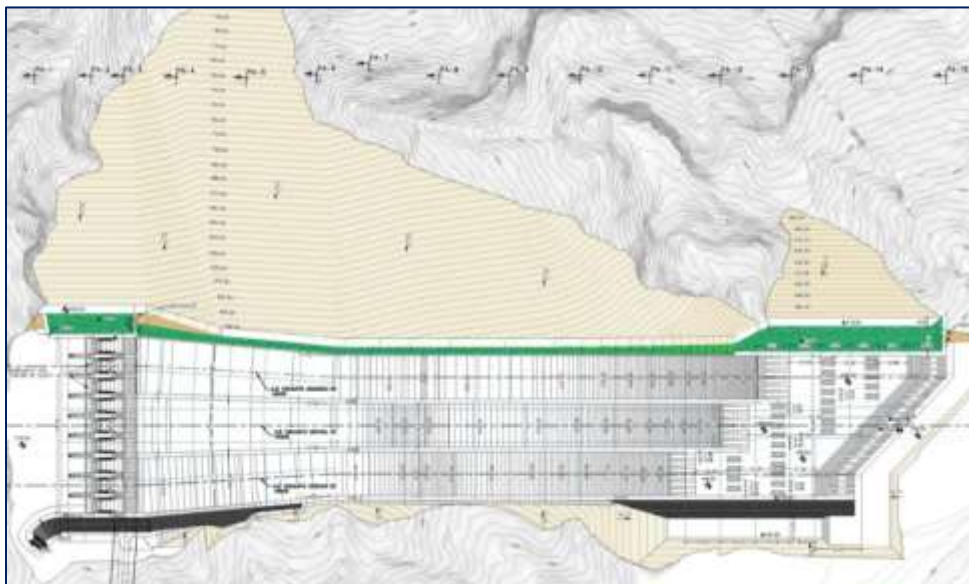
Túneles de desvío del río

- **Caudal de diseño:** 6.380, 00 m³/s (T=25 años)
- **Tipo:** 2 túneles de 17,0 m de diámetro
- **Funcionamiento:** en lámina libre (a presión pueden alcanzarse hasta los 7.600 m³/s)
- **Longitud túnel izquierdo:** 1.591,59 m
- **Longitud túnel derecho:** 1.668,62 m
- Se complementan con una ataguía y una contraataguía para posibilitar el desvío



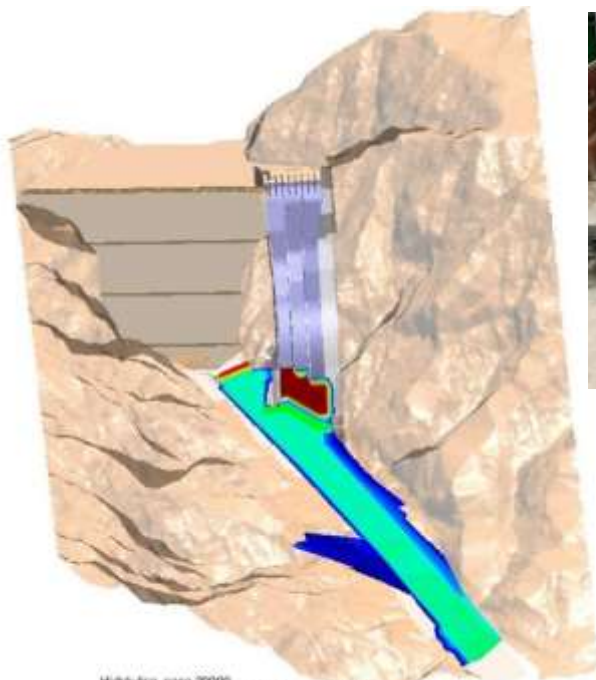
Vertedero de superficie

- **Tipo:** en canal y a cielo abierto, situado sobre el estribo izquierdo y regulado por compuertas
- **Caudal de diseño:** 11.995,63 m³/s (T=10.000 años atenuada)
- **Caudal de comprobación:** 12.265,21 m³/s (PMF)
- **Número de compuertas:** 9 (Taintor de 10,5 m de ancho x 11m de altura)
- Para minimizar las excavaciones a realizar, **la descarga se divide en tres canales de descarga con rasantes independientes.**
- **Volumen de excavación:** 6.116.875 m³
- **Volumen hormigón estructural:** 566.449 m³



Vertedero de superficie

- **OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL ALIVIADERO:**
 - Se ha utilizado el **FLOW-3D**, un software de cálculo CFD (Computational Fluid Dynamics)
 - Modelo numérico **IBER** con el fin de verificar si el funcionamiento de los desagües de fondo provoca afecciones en el funcionamiento del aliviadero, cuenco de resalto, etc.
- **VERIFICACIÓN:** construcción de un **modelo físico a escala reducida (1/100)** en los laboratorios del CEDEX.



Hidráulica, paso 20000
Reflejo coloreado suave (Medio) de calidad (m).
Deformación (x1.2) Vector Calidad de Hidráulica, step 20000.

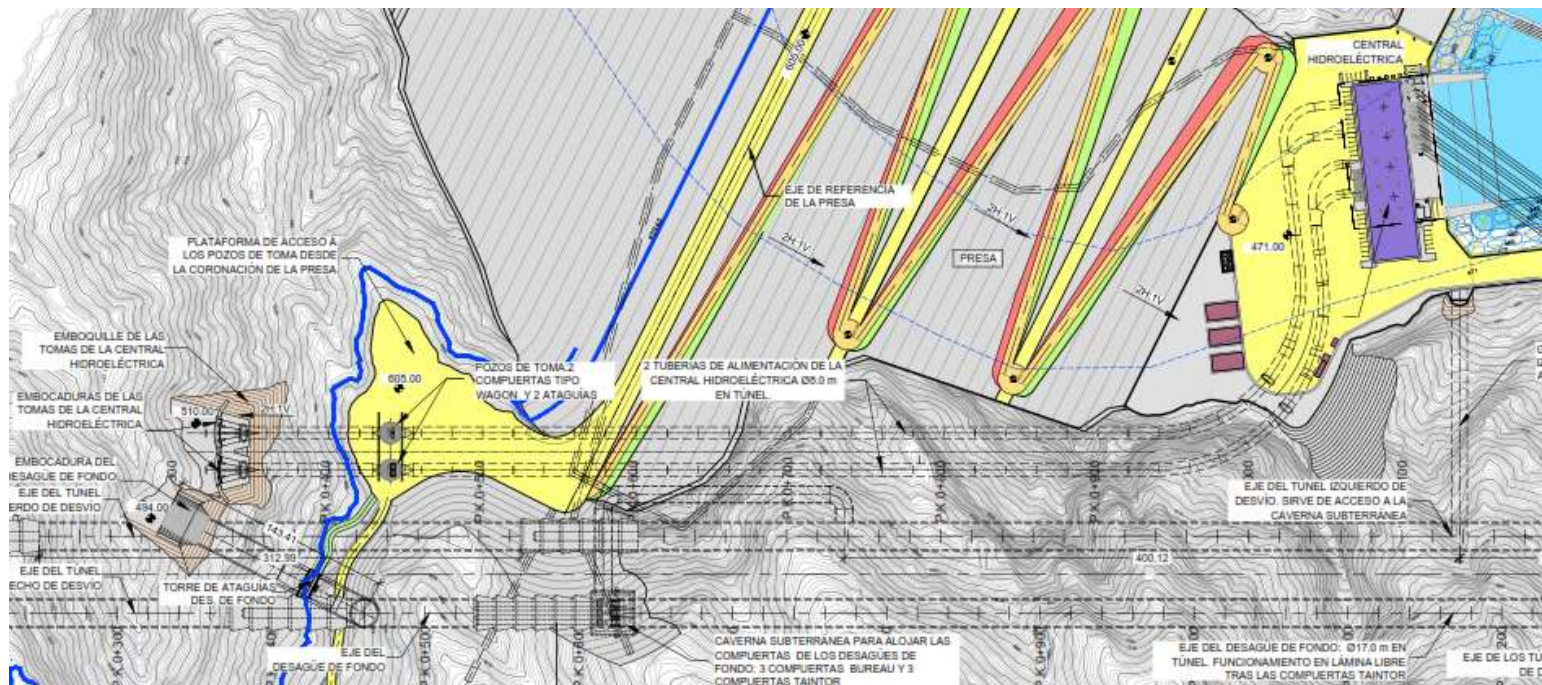


calidad (m)
19.776
17.579
15.383
13.186
10.99
8.7943
6.5983
4.4022
2.2061
0.010066



Toma de agua alimentación Central y circuito hidráulico

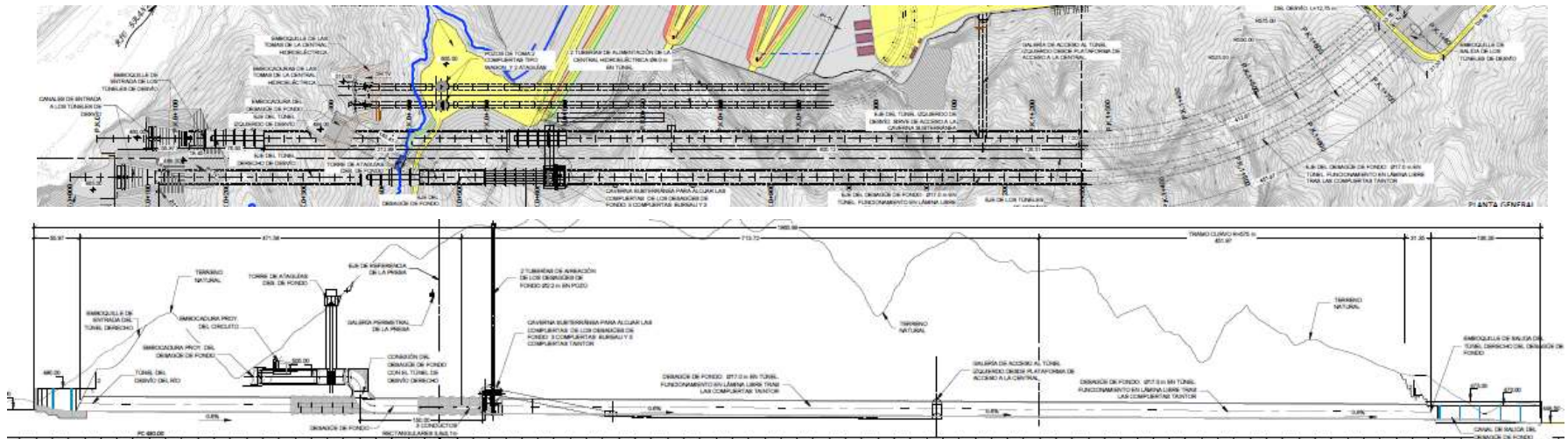
- **Ubicación:** Margen derecha
- **Caudal de diseño:** 440 m³/s
- **N° conductos y tipo:** 2 túneles blindados de 8 metros de diámetro con tomas independientes
- **Cota de la embocadura:** 510,0 msnm
- **Longitud de los túneles:** 700,0 m y 720,0 m
- **Cierre de la toma:** 2 compuertas Wagon 6,20 x 8,00 y 2 ataguías



PROYECTO HIDROELÉCTRICO ROSITAS

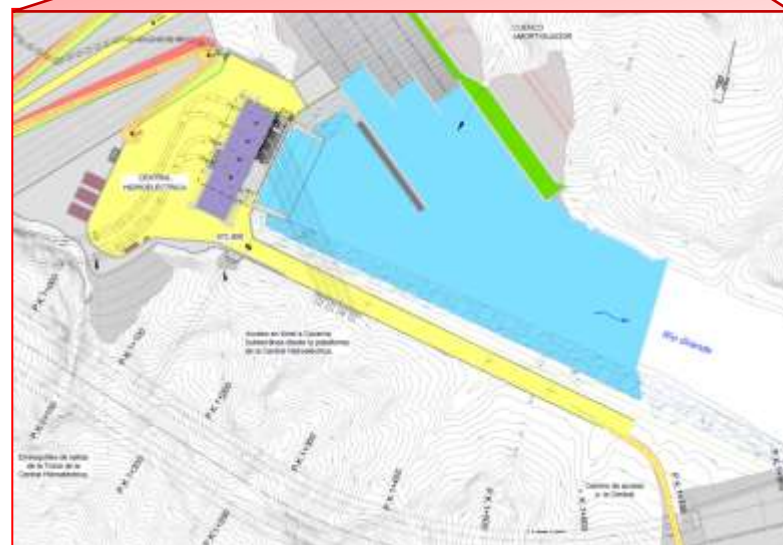
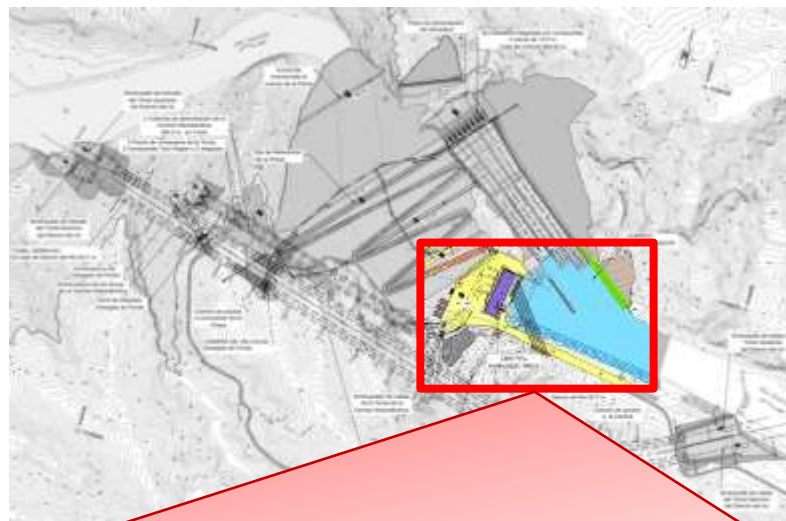
Desagües de fondo

- **Ubicación:** Margen derecha
- **Utilidad:** vaciado de embalse en situaciones extraordinarias, purga de sedimentos y descarga de caudales ecológicos
- **Toma independiente** que, después de un tramo inicial, **conecta con el túnel derecho del desvío del río**
- **Nº conductos y dimensiones:** 3 conductos de sección rectangular de 3,10x3,80m equipados con una válvula de regulación tipo Taintor y con una compuerta de guarda tipo Bureau
- **La descarga es en lámina libre** por la salida del túnel derecho del desvío del río
- Todos los mecanismos de control y control se centralizan en una única **cámara de mecanismos**



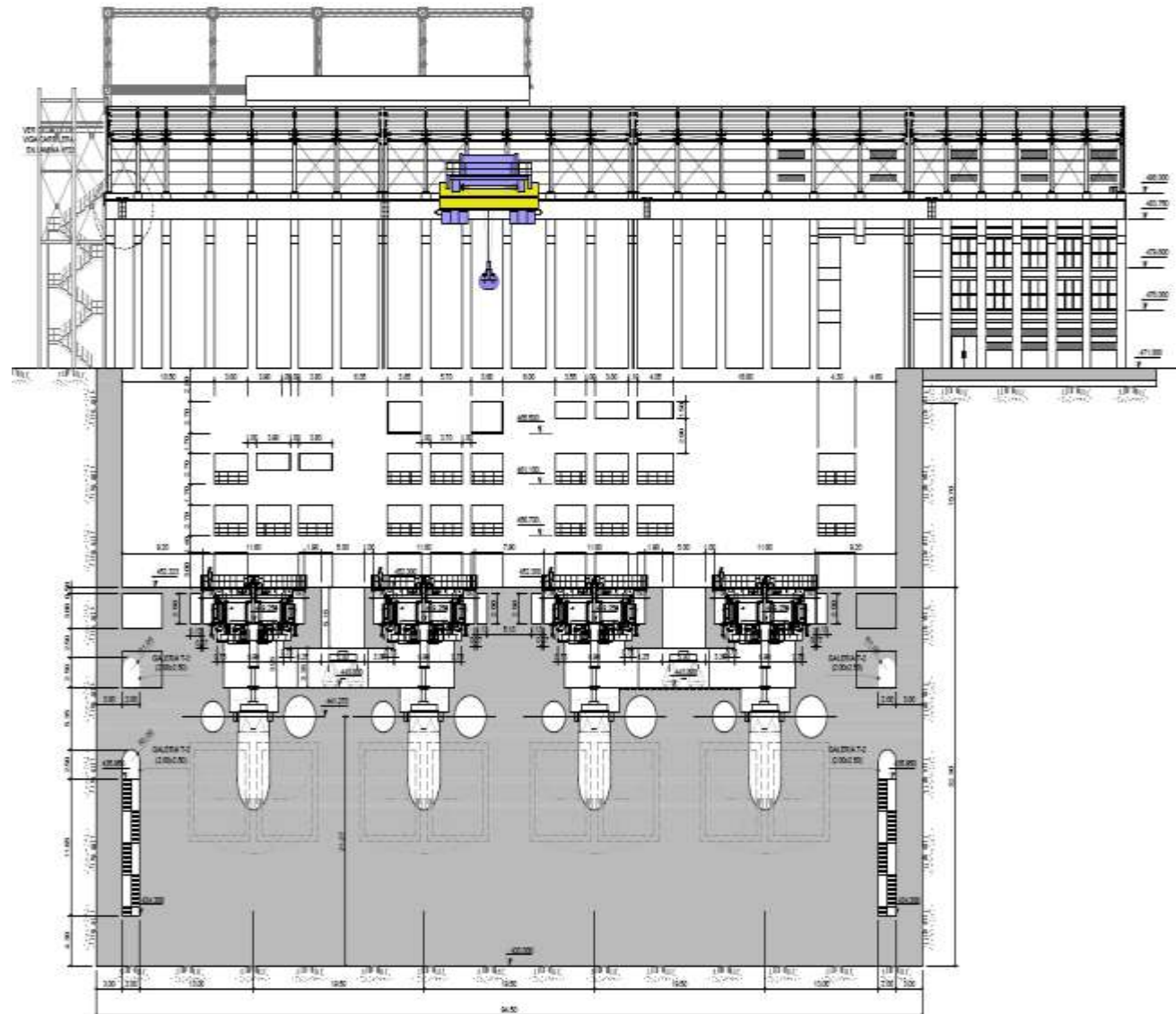
Central Hidroeléctrica

- Central de pie de presa situada en la zona central del valle
- **Potencia instalada:** 600 MW
- **Producción media anual:** 3.064,63 GWh/año
- **Potencia Garantizada:** 513,64 MW
- **Tipo de turbinas:** Francis de eje vertical
- **Núm. Unidades:** 4 x 150 MW
- **Caudal de diseño:** 4 x 114,50 m³/s
- **Salto bruto máximo:** 152,00m
- **Salto bruto mínimo:** 93,00m
- **Cota eje turbinas:** 441,27 msnm
- **Cota de restitución:** 443,00 msnm
- **Cota de acceso:** 471,00 msnm



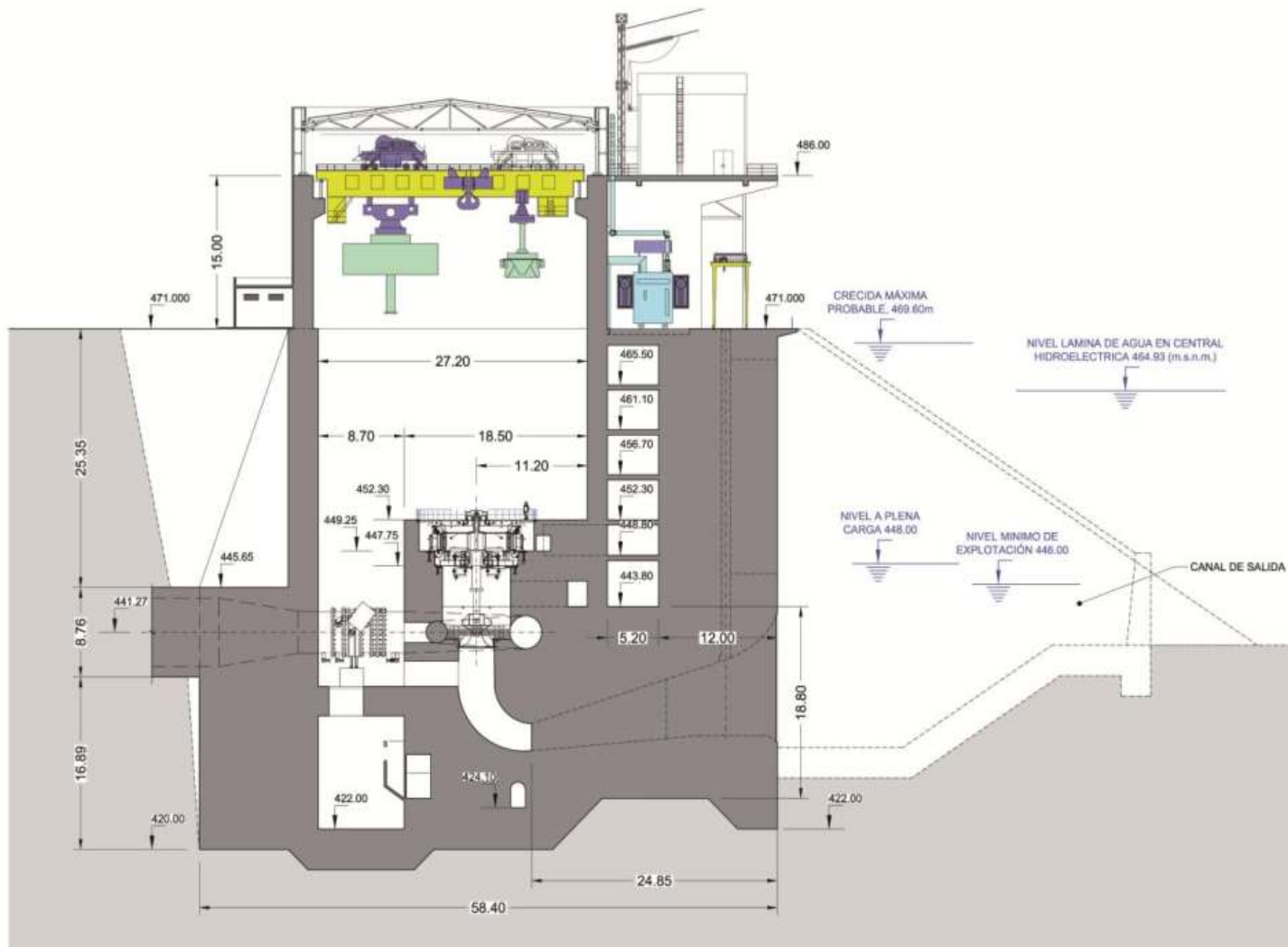
Central Hidroeléctrica

- La central se cimenta a la cota 420,00 m.s.n.m, bajando a la cota 418,00 m.s.n.m en la zona de pozos de drenaje.
- A la cota 443,80 m.s.n.m, se disponen dos zonas destinadas a desmontar los rodetes de las turbinas sin necesidad de tener que transportarlas a la playa de montaje principal; estas zonas están situadas entre los grupos 1 y 2 y entre los grupos 3 y 4.
- La planta de alternadores se encuentra a cota 448,80 m.s.n.m y la planta de operación se encuentra a la cota 452,30 m.s.n.m.



Central Hidroeléctrica

- La planta de acceso está situada a la cota 471,00 m.s.n.m y en ella, además de los diferentes accesos a la central, se encuentra la playa de montaje.
- Por encima de este nivel, a la cota 486,00 se encuentra la subestación GIS.
- Los transformadores elevadores seleccionados son trifásicos y la subestación eléctrica será tipo GIS y contemplará 3 líneas de salida de 230 kV,



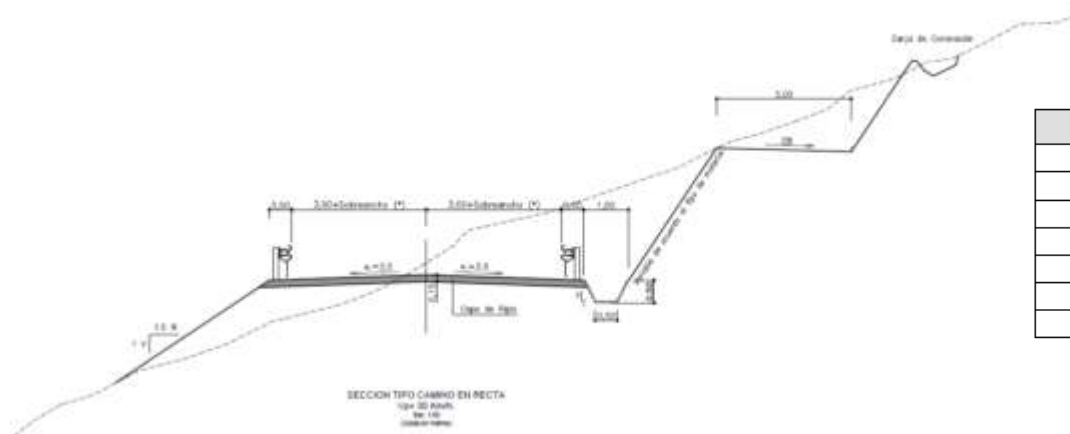
Caminos de acceso definitivos

- **Camino de acceso a coronación de la presa:** 22,31 km, partiendo de la Ruta Interdepartamental n°9 en Abapó.
- **Camino de acceso a central:** 7,14 km de longitud, partiendo del anterior en el PK 15+024



Caminos de acceso definitivos

- **Caminos bidireccionales** formados por dos carriles (uno por sentido) con **un ancho de 3,00m cada uno** y sobre ancho en aquellas curvas que lo requieran
- Han sido proyectados como Caminos de Desarrollo con **velocidad de proyecto de 30 km/h.**
- Se **disponen bermas de 0,50m** de anchura a ambos lados para poder instalar barreras metálicas de seguridad.
- Se disponen **cunetas trapezoidales** de 1,00 m de anchura en la parte superior, 0,50 m en la parte inferior y 0,50 m de altura, con taludes 1H:2V



Parámetro	Valor
Radio mínimo en planta	25,00 m
Peralte mínimo	3,50 %
Peralte máximo	3,50 %
Pendiente máxima	10-12 %
Pendiente mínima	0,50 %
Acuerdo cóncavo mínimo	400
Acuerdo convexo mínimo	300

Instalaciones auxiliares permanentes

- Se ubican entre el PK 12+100 y PK 12+700 del camino de acceso a la coronación de la presa.
- Cuentan con todas las instalaciones necesarias para albergar a 48 personas.
- Tiene forma irregular y una superficie aproximada de 13.000 m², de los que unos 7.000 m² se urbanizan.



Áreas de Instalaciones Auxiliares Permanentes

No.	Descripción	Identificación	Personal	Área m ²
1.	Edificios residenciales	-	48	1.808,50
2.	Garita de entrada	1	4	26,50
3.	Viviendas gerencia (2)	2	2	320,00
4.	Viviendas Ingenieros (4)	3	4	130,00
5.	Vivienda técnicos especializados (2)	4	16	250,00
6.	Módulo atención médica	5	-	111,00
7.	Vivienda médicos (68 m ²)	-	2	-
8.	Módulo sanitario (43 m ²)	-	-	-
9.	Vivienda auxiliares (cap. 20 personas)	6	20	295,00
10.	Servicios (cocinas, comedores, almacenes, etc.)	7	-	340,00
11.	Espacio multideportivo (gimnasio, sauna, aseos, vestidores)	8	-	-
12.	Cancha de raquet	9	-	96,00

Periodo Estimado de Ejecución de Obras

El tiempo estimado de construcción de la Presa y Obras Anexas del Proyecto Hidroeléctrico Rositas es de **6 años**.

N°	NOMBRE TAREA		2018					2019					2020					2021					2022					2023				
		T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4						
1	TRABAJOS PREVIOS																															
2	CAMINOS DEFINITIVOS DE ACCESO																															
3	DESVÍO DEL RÍO																															
4	ATAGUÍA (C-490 m)																															
5	CONTRAATAGUÍA (C-470 m)																															
6	CUERPO DE PRESA																															
7	ALIVIADERO																															
8	DESAGÜE DE FONDO Y CIERRE TÚNNEL IZQ.																															
9	CIRCUITO HIDRÁULICO Y OBRA DE TOMA																															
10	CENTRAL Y SUBESTACIÓN																															
11	INSTALACIONES AUXILIARES DEFINITIVAS																															
12	FIN OBRA CIVIL Y MONTAJE DE EQUIPOS (1 DÍA)																															
13	LLENADO DE EMBALSE																															

Fuente: Informe Final Diseño Final de la Central Hidroeléctrica Rositas (Consultora EPTISA S.L.)

Nota: El presente cronograma de ejecución de obras será ajustado a la finalización de la gestión de cláusulas suspensivas



GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Juan Ortas

jortas@eptisa.com