

INDICE GENERAL

1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	4
2	OBJETIVO	6
3	ALCANCE	6
3.1	<i>BASE TOPOGRÁFICA</i>	6
3.2	<i>GEOLOGÍA</i>	7
3.3	<i>CAUDALES DE DISEÑO</i>	8
3.4	<i>CAUDALES MÁXIMOS</i>	9
3.4.1	<i>Hidrogramas de crecida</i>	10
3.4.2	<i>Niveles de Agua</i>	11
3.4.3	<i>Curva cota – área - volumen</i>	11
3.5	<i>Caudal Ecológico</i>	12
3.6	<i>SEDIMENTOS</i>	12
3.6.1	<i>Método Directo</i>	12
3.6.2	<i>Métodos indirectos</i>	13
3.6.3	<i>Valores recomendados</i>	13
4	DEFINICIÓN DEL TIPO DE PRESA.....	14
4.1	ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA	14
4.1.1	<i>Presas vertedero de concreto</i>	14
4.1.2	<i>Presa de enrocados con cara de enrocado</i>	15
5	DISEÑO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS.....	15
5.1	DISEÑO SISTEMA DE DESVÍO	16
5.1.1	<i>Conducción</i>	17
5.1.2	<i>Ataguía</i>	19
5.1.3	<i>Presa</i>	20
5.1.4	<i>Vertedor de excesos</i>	21
5.2	OBRA DE CAPTACIÓN	24
5.2.1	<i>Configuración y Rejillas</i>	25
5.3	<i>Obra caudal ecológico</i>	26
5.4	<i>Obra de conducción</i>	27
5.5	<i>Casa de Máquinas</i>	28
5.5.1	<i>Selección de turbinas y Número de equipo turbogenerador</i>	28

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO CHEPETE	4
TABLA 2.	CAUDALES CARACTERÍSTICOS EN LOS SITIOS DE APROVECHAMIENTO DEL RÍO BENI – TRAMO MEDIO (1967-2014)	9
TABLA 3.	ÁREAS EN LOS SITIOS DE INTERÉS	9
TABLA 4.	CAUDALES MÁXIMOS CON PERÍODO DE RETORNO DE LOS SITIOS DE APROVECHAMIENTO (M ³ /S)	10
TABLA 5.	HIDROGRAMAS DE CRECIDA DEL RÍO BENI EN ANGOSTO CHEPETE	10
TABLA 6.	NIVELES DE LÁMINA DE AGUA PARA CAUDALES CON PERÍODO DE RETORNO	11
TABLA 7.	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SECCIONES ESPECÍFICAS DEL RÍO BENI	13
TABLA 8.	CALCULO DEL PERÍODO DE RETORNO PARA LAS DIFERENTES ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN ...	17
TABLA 9.	CÁLCULO DE CALADO AL INGRESO POR CADA TÚNEL.....	18
TABLA 10.	DETALLE DE LAS PRE ATAGUÍAS Y ATAGUÍAS	19
TABLA 11.	CURVA DE DESCARGA VERTEDOR LIBRE.....	24

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	MODELO GEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL ANGOSTO CHEPETE.....	8
FIGURA 2.	HIDROGRAMAS DE CRECIDA PARA CADA PERÍODO DE RETORNO	11
FIGURA 3.	CURVA COTA ÁREA VOLUMEN.....	12
FIGURA 4.	ESQUEMA CON TIRANTE AGUAS ABAJO – TODO EL CONDUCTO SE ENCUENTRA AHOGADO	18
FIGURA 5.	IMPLANTACIÓN DEL CIERRE EN EL ANGOSTO CHEPETE	20
FIGURA 6.	ESQUEMA CORTE TRANSVERSAL DE LA PRESA CHEPETE.....	21
FIGURA 7.	ELEMENTOS DE UN PERFIL DE UN VERTEDOR.....	22
FIGURA 8.	COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN PARA PILARES CON DIFERENTES TIPOLOGÍAS.....	23
FIGURA 9.	CURVA DE DESCARGA VERTEDOR LIBRE L=265M.....	24
FIGURA 10.	TIPO DE TOMA POR CENTRAL	26
FIGURA 11.	PLANTA DEL PROYECTO CHEPETE.....	27
FIGURA 12.	SECCIONES HERRADURA EN EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN PROYECTO CHEPETE	28
FIGURA 13.	RANGO DE APLICACIÓN DE LOS VARIOS EQUIPOS TURBOGENERADORES	29
FIGURA 14.	CORTE TRANSVERSAL DE LA CASA DE MÁQUINA MARGEN DERECHA.....	29

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1.	ANGOSTO CHEPETE VISTA DESDE EL VALLE.....	7
---------------	---	---

INFORME PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHEPETE 400

1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto hidroeléctrico Chepete, se concibe bajo la idea de acumular la mayor cantidad de agua en un embalse establecido por el nivel máximo posible de inundación, que no genere afectaciones a los proyectos aguas arriba.

Bajo este concepto y teniendo en cuenta las limitantes de la zona tanto en su topografía como en su hidrología, aspectos geológicos y ambientales, el proyecto toma la forma que se describe a continuación.

Esta alternativa tiene la particularidad de que los caudales por rebose podrían ser aprovechados por una central paralela a la principal para la obtención de mayor energía a la pensada, y tomando en consideración que existen túneles desarrollados en la etapa de desvío, se ve la posibilidad de colocar una casa de máquina de similares condiciones a la primera que aprovechen estas estructuras.

El proyecto constituye una central con embalse conformado por una presa a gravedad de hormigón rodillado que tiene su cresta en la cota 403m.s.n.m., con el fin de darle a la central la posibilidad de regulación y/o almacenamiento, además de incrementar altura de carga para la producción de energía.

La cantidad de agua que se requiere desviar durante la etapa de construcción, requiere la realización de 5 túneles de 15.5m de diámetro, los mismos que serán utilizados posteriormente como sistemas de carga y descarga, cambiando su tipología de circular a herradura y ensanchándose su diámetro de 15.5m a 20m o a 18.5m conforme la necesidad.

Las bocatomas son sistemas sumergidos que su solera se localiza en la cota 298.85 m.s.n.m., que toman una forma determinada por aspectos topográficos. Para la rejilla se considera una separación entre barrotes de 0.10m.

Luego del paso por la rejilla el sistema de conducción inicia en un pozo de 15.5m de diámetro para luego conectarse en un túnel del mismo diámetro en sección herradura, hasta llegar a la casa de máquinas equipada con 8 turbinas tipo Francis de eje vertical ubicadas en la cota 231.87 m.s.n.m.

El sistema de descarga lo adopta uno de los túneles de desvío ensanchado a 20m en sección herradura hasta el punto de entrega de la última turbina, luego se unen dos túneles para dividir el caudal total y tratar de disminuir la velocidad de entrega a valores inferiores a 3m/s.

En la Tabla 1 se recopila algunas de las características del proyecto, las cuales se desarrollan más adelante en base a la técnica de los proyectos hidroeléctricos.

Tabla 1. Características del proyecto Chepete

ALTERNATIVA CHEPETE			
Nombre del río			Beni
Área de aportación de la cuenca hasta captación	A	km ²	54940
Caudal medio hasta el punto de captación	Qm	m ³ /s	1604.7
Caudal de diseño total	Q	m ³ /s	1294.00

ALTERNATIVA CHEPETE			
Aceleración de la gravedad	g	m/s ²	9.78
Nivel máximo de operación		m s.n.m.	390.00
Nivel mínimo de operación		m s.n.m.	323.87
BOCATOMA			
Tipo de Bocatoma Izquierda			Sumergida
Geometría de la Bocatoma			Caja
Nivel bocatoma		m s.n.m.	298.85
Velocidad de entrada	Vr	m/s	0.85
Base	B	m	10.00
Altura	H	m	7.00
Número de niveles		#	2
Espesor de los barrotes	t	mm	9.50
Separación entre barras	e	mm	100
Área neta	An	m ²	1522
Sumergencia	h	m	25.02
Tipo de Bocatoma Derecha			Sumergida
Geometría de la Bocatoma			Hexagonal
Nivel bocatoma		m s.n.m.	298.85
Velocidad de entrada	Vr	m/s	0.50
Base	B	m	20.00
Altura	H	m	24.00
Número de niveles		#	8
Espesor de los barrotes	t	mm	9.50
Separación entre barras	e	mm	100
Área neta	An	m ²	2588
Sumergencia	h	m	25.02
TÚNEL DE CARGA			
Número de túneles de carga		#	1
Diámetro	D	m	15.5
Coeficiente de Manning	n		0.016
Longitud	L	m	930.00
Pendiente	s	%	0.25
Velocidad túnel	Vt	m/s	6.86
Número de Froude	Fr		0.56
TURBINAS CASA DE MÁQUINAS			
Número de turbinas		#	8
Caudal de diseño por turbina	Qm	m ³ /s	161.75
Nivel eje de las turbinas		m s.n.m.	231.87
Nivel de descarga		m s.n.m.	241.87
Tipo de turbinas			Francis
Carga neta	Hd	m	148.13
Eficiencia de diseño	hd		0.94
Potencia por turbina	Pdm	MW	220.50
Potencia por central	Pd	MW	1764.03
Velocidad específica	ns		172.17
Frecuencia	f	Hz	60.00
Número de polos		#	38
Velocidad de rotación	n	RPM	189.47
Diámetro de salida de la turbina	D3	m	3.48
Sumergencia recomendada	Z	m	0.00

ALTERNATIVA CHEPETE			
Geometría de la Turbina	B	m	4.00
SISTEMA DE DESVÍO			
Número de etapas de desvío		#	2.00
Riesgo hidrológico	R	%	15.00
Tiempo etapa 1	t1	año	0.5
Tiempo etapa 2	t2	año	1.5
Periodo de retorno etapa 1	TR1	años	5.00
Periodo de retorno etapa 2	Tr2	años	10.00
Caudal de diseño etapa 1	QTR1	m³/s	13288
Caudal de diseño etapa 2	QTR2	m³/s	16050
Sistema de desvíos			Túneles
Número de túneles de desvío		#	5
Caudal de diseño etapa 1 por túnel	QdTR1	m³/s	2658
Caudal de diseño etapa 2 por túnel	QdTR2	m³/s	3210

2 OBJETIVO

Establecer la disposición general del proyecto hidroeléctrico Chepete, y las características que lo representan:

- Determinar las estructuras hidráulicas necesarias para la generación de energía en el sitio del Angosto Chepete.
- Optimizar el tipo de estructuras con el fin de tener una obra eficiente y eficaz, procurando establecer elementos óptimos y económicamente rentables.
- Verificar aquellas estructuras necesarias para la etapa de construcción.
- Analizar las ventajas y desventajas de realizar un sobre equipamiento dentro de la alternativa Chepete 400.

3 ALCANCE

Diseño de las estructuras hidráulicas que conforman la alternativa Chepete 400, enmarcadas en la zona del angosto Chepete a través de las consideraciones técnicas utilizadas en proyectos hidroeléctricos de las mismas características, y reflejando las limitaciones del caso.

Diseño de las obras de desvío del río en la zona de construcción, diseño de las obras de cierre del río en el sitio de captación, diseño de estructuras de control de crecidas, diseño de obras de captación, sistema de conducción, elementos generadores, obras de descarga, entre otros.

Estimar las características hidráulicas del Proyecto Chepete 400, bajo las condiciones de un sobre equipamiento.

3.1 BASE TOPOGRÁFICA

Para una escala a detalle en los posibles lugares de presas hidráulicas se utilizó la base topográfica LiDAR realizada entre agosto del 2010 y abril del 2011. Esta topografía LiDAR está unificada con las batimetrías del año 2010.

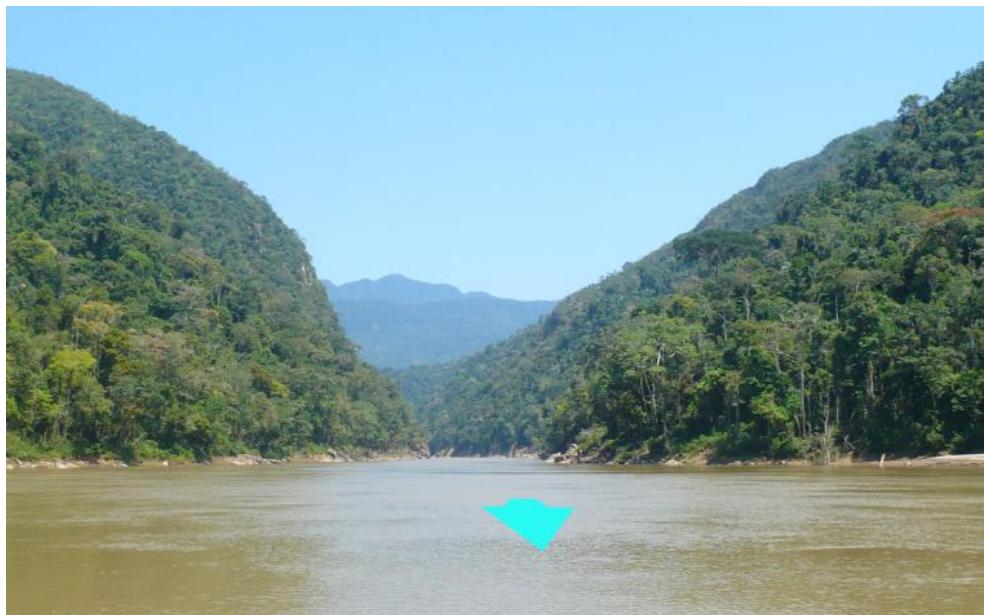
Sin embargo para no contar con dos modelos de elevación digital, que posiblemente crean confusión, se ha unificado en el área de los cuatro angostos, este producto se ha unificado sobre el SRTM corregido para contar con una sola topografía.

Para el informe topográfico, se han realizado mapas que contienen curvas de nivel cada 10 metros proveniente del DEM unificado para cada angosto. Para el mapa general de toda el área se han extraído curvas de nivel cada 100 metros del SRTM unificado.

Se realizará la complementación de la topografía LiDAR con base en las secciones batimétricas tomadas en el presente año, esto se realizará una vez ENDE (20 secciones) y nuestro sub contratista (20 secciones) entregue la correspondiente información. Asimismo se podrá contar con nuevos puntos de control topográfico.

3.2 GEOLOGÍA

En el sector central del angosto se encuentran acantilados que llegan a los 200 m de altura. Aguas abajo de este, se desarrolla un sector caracterizado por colinas suaves, visible en la Fotografía 1.



Fotografía 1. Angosto Chepete vista desde el valle

Fuente: Geodata, 2015

El área de influencia de las posibles obras de aprovechamiento hidroeléctrico se caracteriza por la presencia de una capa delgada de depósitos cuaternarios en los taludes, depósitos fluviales y por tres formaciones geológicas del basamento rocoso.

La capa eluvio coluvial, de espesor limitado a 1-2 m, está presente en todas las áreas de la serranía y relieves adyacentes a la misma, con excepción de los taludes más escarpados. Una intensa vegetación tropical cubre toda el área. En el angosto, a nivel del río o ligeramente por encima, se encuentran depósitos fluviales

antiguos y recientes, organizados en terrazas aluviales estrechas, discontinuas, apoyadas en las dos márgenes del río Beni.

Inmediatamente aguas arriba de la entrada al angosto, se encuentra la Formación Bala, caracterizada por areniscas con intercalaciones de lutitas y arcillitas. Las rocas de esta Formación se encuentran muy fracturadas. En este sector la morfología es de colinas y zonas de llanura.

En este sector hay una serie de fallas paralelas a la estratificación que separan los bancos masivos de areniscas. En la margen derecha, el angosto se caracteriza por paredes verticales con alturas superiores a 100 m, mientras que la margen izquierda presenta taludes escarpados, pero sin formar paredes de considerable tamaño.

Los taludes más pronunciados de los bancos de arenisca, especialmente expuestos al ENE, son susceptible a la caída de bloques y rocas. En la base de estas áreas y a veces sobre los mismos taludes, hay potentes depósitos de rocas y bloques.

El contacto entre la Formación Tequeje y Beu es tectónico, marcado por un cabalgamiento pre-cretácico que pone las dos unidades en una relación de discordancia. En la parte centro septentrional del angosto se encuentra una escama tectónica de la Formación Tequeje dentro de la Formación Beu, con buzamiento paralelo al cabalgamiento principal y a la estratificación. En este sector final, en las dos márgenes del río, se encuentran dos pequeños deslizamientos superficiales: espesor estimado de 0-2 m y longitud 150 m.

En la siguiente figura se representa el modelo geológico conceptual.

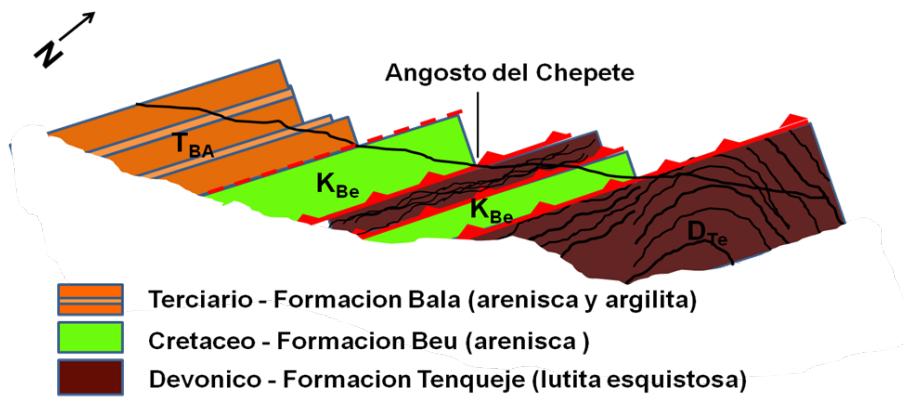


Figura 1. Modelo geológico conceptual del angosto Chepete

Fuente: Geodata, 2015

3.3 CAUDALES DE DISEÑO

Para generar los caudales mensuales para los sitios río Beni - Angosto Chepete se utilizó los registros de las estaciones hidrológicas río Kaka y río Alto Beni (noviembre de 2010 – octubre de 2013), los caudales medios mensuales de Chepete (noviembre de 2013 - septiembre de 2014), junto con los registros de la estación río Beni en Rurrenabaque y aforos simultáneos; la ecuación de regresión obtenida, con coeficiente de determinación $R^2 = 0.92$, permitió completar la serie para la sección río Beni en el angosto Chepete.

Como punto de comparación se puede indicar que el valor de caudal medio del río Beni en Rurrenabaque es igual a $2121.10\text{m}^3/\text{s}$.

Los caudales medios y mínimos establecidos para el sitio de aprovechamiento del presente informe son los siguientes:

Tabla 2. Caudales característicos en los sitios de aprovechamiento del río Beni – tramo medio (1967-2014)

Probabilidad de excedencia (%)	Caudal Angosto del Chepete (m^3/s)
5	4111.8
10	3497.9
15	2979.4
20	2662.7
25	2371.8
30	2072.9
35	1851.8
40	1521.4
45	1309.7
50	1155.5
55	1015.4
60	864.5
65	780.7
70	686
75	605
80	537.7
85	462.8
90	390.3
95	301.1
Qmed	1604.7

Una vez realizada la valoración de la capacidad del embalse y la disponibilidad del agua hasta la captación en el angosto Chepete, se ha previsto realizar una extracción de $1294\text{m}^3/\text{s}$, lo cual corresponde a 44.5% de probabilidad de excedencia de la curva de descarga natural.

3.4 CAUDALES MÁXIMOS

Para la determinación de los caudales máximos con período de retorno se aplicó el método estadístico – probabilístico, bajo una distribución de valores extremos tipo 1 de Gumbel.

Los caudales máximos (m^3/s) para los sitios de proyecto se establecieron a partir de los caudales máximos estimados en el río Beni – Rurrenabaque, siempre en función del período de retorno, y afectando por la relación de áreas de drenaje, siendo éstas últimas las que se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Áreas en los sitios de interés

Sitio	Área (km^2)
Chepete	54940.95
Rurrenabaque	69952.50

Con las áreas respectivas se obtiene un factor de traspaso igual a 0.7854, el mismo que ha sido utilizado para determinar los caudales que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Caudales máximos con período de retorno de los sitios de aprovechamiento (m³/s)

Periodo de Retorno (años)	Caudal Máximo (m ³ /s)
5	13288
10	16050
25	19540
50	22129
100	24699
200	27260
500	30638
1000	33192
2000	35744
5000	39117
10000	41669

3.4.1 Hidrogramas de crecida

El análisis preliminar de los hidrogramas de crecida se sustenta en los registros diarios y horarios disponibles para la sección río Beni en Rurrenabaque, del período 1967 - 2015.

Se presentan a continuación los hidrogramas con período de retorno asociado para el río Beni en Angosto Chepete.

Tabla 5. Hidrogramas de crecida del río Beni en Angosto Chepete

Tiempo (horas)	Caudal con período de retorno(m ³ /s)										
	10000	5000	2000	1000	500	200	100	50	25	10	5
0	8956	8546	7995	7568	7132	6538	6072	5586	5077	4347	3728
1	9774	9311	8689	8209	7720	7056	6537	6000	5438	4640	3967
2	10592	10075	9382	8849	8308	7574	7003	6414	5800	4933	4206
3	14251	13494	12486	11715	10937	9892	9086	8264	7418	6242	5276
4	23037	21706	19940	18598	17251	15458	14090	12707	11303	9385	7843
5	41669	39117	35744	33192	30638	27260	24699	22129	19540	16050	13288
6	21829	20576	18914	17651	16382	14692	13402	12096	10768	8952	7490
7	14918	14119	13053	12239	11417	10315	9467	8602	7713	6480	5471
8	12513	11871	11012	10354	9688	8791	8097	7385	6649	5620	4768
9	10834	10301	9588	9039	8482	7727	7141	6536	5907	5019	4277
10	9937	9463	8827	8337	7837	7160	6630	6083	5510	4699	4015
11	8956	8546	7995	7568	7132	6538	6072	5586	5077	4347	3728
30	3706	3623	3507	3414	3316	3176	3061	2934	2794	2577	2373

En la Figura 2 se muestra la distribución de los hidrogramas de crecida para cada periodo de retorno.

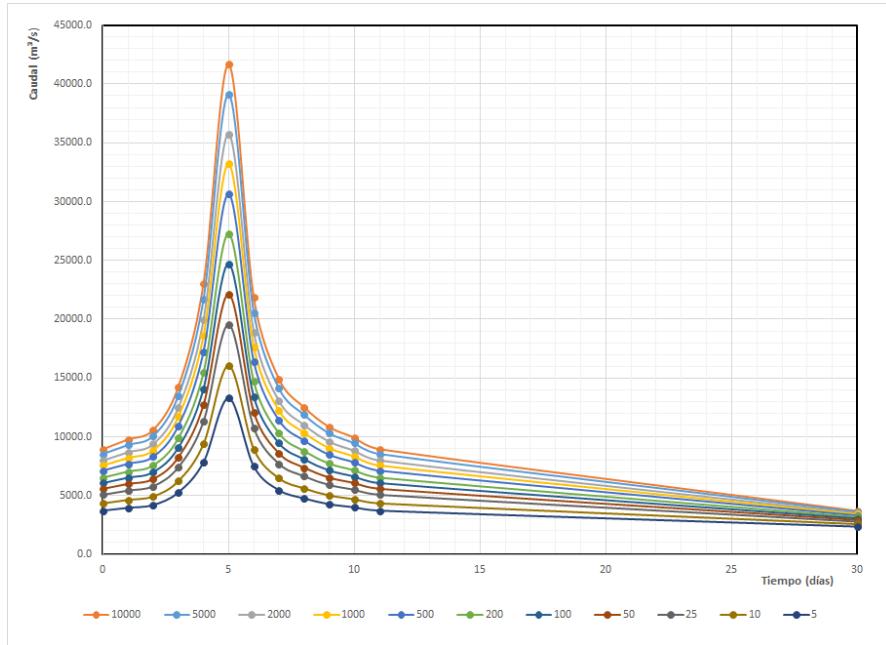


Figura 2. Hidrogramas de crecida para cada período de retorno

3.4.2 Niveles de Agua

Los niveles de agua han sido determinados en base a las curvas de descarga en la sección transversal más próxima a la zona del proyecto. En la Tabla 6 se muestra los niveles de superficie de agua para los caudales de interés del proyecto. El fondo del río se ubica en la cota 230m.s.n.m.

Tabla 6. Niveles de lámina de agua para caudales con periodo de retorno

Niveles Chepete (m.s.n.m)		
TR años	Q (m ³ /s)	Chepete
5	13288	256.05
10	16050	257.69
100	24699	261.83
1000	33192	265.08
10000	41669	267.88
Q diseño	1294	241.86
Q diseño 2	2588	246.01

3.4.3 Curva cota – área - volumen

Con el fin de establecer la capacidad del embalse a los diferentes niveles, se obtiene a través de la topografía, la curva cota área volumen (ver Figura 3), la cual nos permite establecer el área de inundación y el volumen de agua que se acumula a dicha cota.

Para el proyecto Chepete se ha establecido que la cota máxima de inundación es la 400msnm, cota que no llega a afectar a las poblaciones aguas arriba del proyecto.

Al proyectar la cota 400msnm sobre la figura, podemos obtener que el área de inundación será igual a 677km² y se tendrá un volumen de agua igual a 37.78km³.

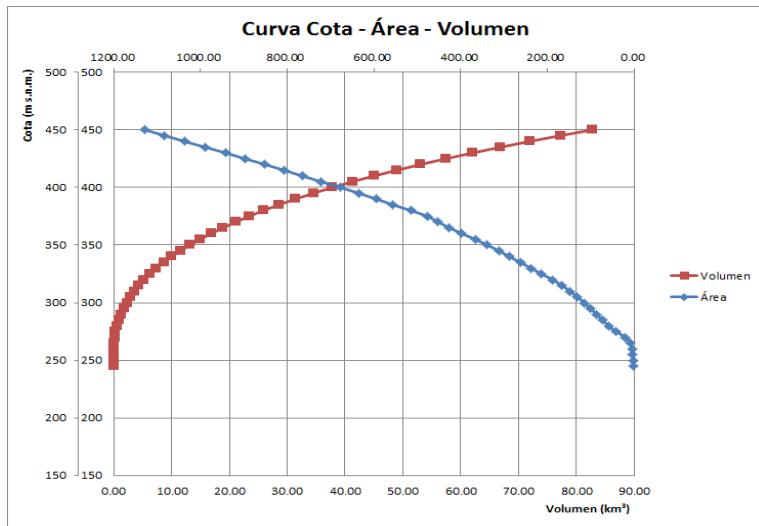


Figura 3. Curva Cota área volumen

3.5 Caudal Ecológico

La carencia de una normativa en la legislación boliviana referente a la determinación y/o regulación del caudal ecológico en presas hidroeléctricas, incide a replicar experiencias de otros proyectos similares establecidos en el país.

Como antecedentes en Bolivia en la determinación y utilización del caudal ecológico en los proyectos hidroeléctricos Misicuni y San José con la metodología del cálculo del 10% del caudal medio anual, se replica esta experiencia para la determinación del caudal ecológico en el Proyecto Hidroeléctrico El Bala Componente 1 Angosto Chepete 400.

Para el efecto, se determinó por caudales históricos registrados basándose en el cálculo del 10% del caudal medio anual, donde el caudal ecológico para el Componente Angosto Chepete 400 corresponde a 160.4 m³/s, asegurando el caudal sobre todo durante el periodo de aguas bajas entre el transcurso de los meses junio a septiembre considerado como temporada de estiaje en la región.

3.6 SEDIMENTOS

Durante la fase de Identificación del Proyecto Hidroeléctrico El Bala, se estimó la carga total de sedimentos que llegarán hasta el sitio del futuro embalse de Chepete, sobre el río Beni. Dicho estimativo se realizó por medio de dos métodos, los cuales se presentan a continuación:

3.6.1 Método Directo

La metodología para evaluar el transporte de sedimentos por el método directo se sustenta en el siguiente procedimiento:

- evaluar la carga de sedimentos en base a registros de carga sólida en suspensión, y la distribución de frecuencia de los caudales (duración general de caudales diarios); para el efecto se genera la relación carga sólida vs. carga líquida, en base a aforos sólidos y líquidos. Se contó con 12 aforos de caudal sólido y caudal líquido, realizados entre julio 2012 y abril de 2015 en el angosto Chepete,
- Estimación de la carga de fondo en base a información secundaria y recomendaciones bibliográficas; y,
- Evaluación de la carga total de sedimentos.

Un resumen de los resultados se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Transporte de sedimentos en secciones específicas del río Beni

Río	Carga en suspensión (ton/año* 10^6)	Carga de fondo (10 % en suspensión) (ton/año* 10^6)	Carga total (ton/año* 10^6)	Carga Total (ton/año/km ²)
Río Beni (Angosto del Chepete)	101	10.1	111.1	2022

Teniendo en cuenta que el área de la cuenca del río Beni hasta el sitio del Angosto Chepete es de 54941km², se tendría una carga total de sedimentos 2022ton/año/km².

Este último índice se compara con los valores obtenidos por los métodos indirectos.

3.6.2 Métodos indirectos

Con el fin de evaluar, de una manera indirecta la producción y el transporte de sedimentos en la cuenca del río Beni, se ha adoptado tres métodos:

- los resultados de estudios anteriores realizados en el río Beni, y en otros ríos amazónicos similares. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta los resultados del trasnporte de sedimentos de otros ríos del mundo, con áreas de la cuenca similar a las del río Beni, incluyendo el río Magdalena en Colombia.
- mediante la aplicación del método empírico “Rusle- Sateec”, en inglés Revised Uniform Soil Losses Equation, el cual fue implementado por Geodata en un sistema SATEEC/SIG.
- método del Berilio, este isótopo radiogénico fue utilizado por Millmann para calcular las tasas anuales medias de erosión en la cuenca del río Beni.

Sobre la base del análisis por el modelo RUSLE-SATEEC y por el cálculo obtenido por isótopos de ¹⁰Be, en la cuenca del Chepete la tasa de producción de sedimentos estaría entre 800 y 1000 t/km²-año.

3.6.3 Valores recomendados

Con base en los resultados recomendados del aporte de sedimentos de los métodos directos e indirectos, Geodata recomienda en esta fase de los estudios, adoptar una tasa de producción de sedimentos de 1000 a 1300t/km²-año. Si se considera una densidad de los sedimentos de 1.4 a 1.8t/m³ estas tasas corresponden a volúmenes comprendidos entre 40 y 50 millones de m³ de sedimentos que se depositarían anualmente en el embalse del Chepete.

Estos valores promedios anuales deberán ser verificados con aforos sólidos en el río en los sitios Chepete y Bala, en periodos lluviosos y de estajae.

4 DEFINICIÓN DEL TIPO DE PRESA

4.1 ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

En consideración a que los proyectos hidroeléctricos del proyecto El Bala, con embalse, se van desarrollar dentro de los angostos del río Beni, con el fin de aprovechar las condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas, favorables en las mencionadas gargantas, se analizó el mejor tipo de presa, para el angosto Chepete, la cual puede ser aplicable para los demás angostos, aunque existen algunas medianas diferencias, entre ellos, principalmente debidas al desmejoramiento de la calidad de la roca en los angostos de El Bala y Susi.

De acuerdo con las características geológicas y geotécnicas, los angostos están constituidos por areniscas de media resistencia de 70 a 90 MPa, con diaclasamiento moderado, las cuales permiten la cimentación de presas de gravedad.

Las alternativas factibles que se pueden plantear en Chepete son las presas de gravedad de concreto o de enrocados.

4.1.1 Presas vertedero de concreto

Las presas de hormigón tienen una ventaja importante, sobre otro tipo de presas construida con agregados (enrocados o tierra), es la de poder ubicar el vertedero de excedencia sobre el mismo cuerpo de la presa ($18.000\ m^3/s$), evitando la construcción de grandes vertederos que requieren excavaciones y estabilización de taludes importantes, o de túneles de grandes dimensiones en las laderas del río.

Este tipo de presas inicialmente se construían en concreto convencional, con altos contenidos de cemento, siendo dispendiosa y lenta su construcción porque es necesario realizarlas por módulos y con controles especiales de refrigeración del agua de mezclado para minimizar la fisuración de la estructura, producida por el calor de hidratación de la reacción química del cemento con el agua.

Las presas altas de concreto convencional se reemplazaron por presas en CCR (concreto compactado con rodillo), donde los contenidos de cementos son bajos y su construcción es rápida porque el sistema de colocación y compactación del hormigón se realiza con bandas transportadoras, bulldóceres y rodillos compactadores que agilizan la construcción en forma continua.

La presa Chepete de 180 m de altura en CCR, con talud aguas abajo de 0,75:1 de 0,20:1 el de aguas arriba, de es de $2'491.630\ m^3$. El volumen de excavación de los túneles de desviación y cavernas de casa de máquinas de Chepete 1 suman $1'526.640\ m^3$, adicionalmente, si se construye en forma simultánea Chepete 2, se tendrían $234.610\ m^3$ que se utilizarían como agregados para la presa. Por lo tanto, se necesita extraer de la cantera aproximadamente $730.380\ m^3$ de roca (29%). La cantidad de cemento que se emplearía para la construcción de la presa es de aproximadamente 375.000 toneladas.

El tiempo de construcción de la presa en CCR sería de aproximadamente 2,5 años.

4.1.2 Presa de enrocados con cara de enrocado

Las presas de agregados, de tierra o enrocados, requieren obligatoriamente la construcción de vertederos ($18.000 \text{ m}^3/\text{s}$) excavados a cielo abierto o de 4 túneles de 15,50 m de diámetro en las laderas del río.

Un vertedero excavado por la margen izquierda (de menor pendiente que la derecha) tendría 4 compuertas radiales de 15 m de ancho y 20 m de alto con un cimacio en la cota 380 msnm, con el fin de permitir una descarga del orden de los $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Las excavaciones serían de aproximadamente $4'220.000 \text{ m}^3$ y los concretos del canal del orden de los 200.000 m^3 .

En los angostos y riberas del río Beni no existen grandes depósitos arcillosos que permitan la construcción de una presa de tierra homogénea o de enrocado con núcleo central en material impermeable, por lo tanto, la presa de agregados que se podría construir en Chepete sería de enrocados con cara de concreto.

El volumen de la presa Chepete de 180 m de altura en enrocado con cara de concreto, con ambos taludes en 1,50:1 (H:V), es de $7.570.190 \text{ m}^3$. El volumen de excavación de los túneles de desviación y cavernas de casa de máquinas de Chepete 1 suman $1'526.640 \text{ m}^3$, si se construye en forma simultánea Chepete 2, se tendrían 234.610 m^3 . Adicionalmente se podrá utilizar aproximadamente el 60% del material excavado del vertedero del orden de $2'532.000 \text{ m}^3$, llegando a un volumen aprovechable de excavaciones de $4'293.250 \text{ m}^3$. Por lo tanto, se necesitaría extraer de la cantera aproximadamente $3'276.940 \text{ m}^3$ de roca (43%).

El tiempo de construcción de la presa y vertedero de exceso sería de aproximadamente 3,5 años.

Para la selección del tipo de presa se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Condiciones hidrológicas: Caudales máximos de crecientes para períodos de retorno de 10, 100, 1.000 y 10.000 años.
- Características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso del angosto
- Longitud y diámetro de los túneles de desviación
- Disponibilidad de materiales de construcción
- Caudal rebosado sobre el vertedero después de ser laminada la creciente en el embalse.
- Volumen de la presa considerada
- Volumen de excavación del vertedero
- Estimación de costos del vertedero
- Tiempo de construcción de la presa RCC 2,5 años, CFRD 3,5 años
- Tiempo total de construcción del proyecto
- Capex del proyecto
- Costos de la energía: US\$/MW.

5 DISEÑO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS

En el presente acápite se describe el diseño hidráulico de las estructuras que conforman el proyecto hidroeléctrico Chepete 400, como son:

- Obras de desvío
- Cierre del río en el angosto
- Obras de captación
- Obra de vertido

- Obras de caudal ecológico
- Bocatoma
- Sistema de conducción
- Casa de máquinas
- Obra de descarga

El proyecto Chepete ha sido concebido como una central con embalse para regulaciones, bocatoma sumergida, conducciones de aproximadamente 1 km y una casa de máquinas que consta de 8 turbinas tipo Francis.

La alternativa Chepete presenta la opción de utilizar los reboses por el vertedor de excesos en ciertas épocas del año, lo cual involucra instalar una segunda central de las mismas características de la primera como sobre equipamiento de dicha alternativa.

A continuación, se presenta en detalle el diseño de cada uno de los elementos descritos anteriormente, y aquellas estructuras que se creen necesarias para el buen funcionamiento de toda la central.

Dentro del presente informe se hablará de Central 1 para mencionar el sistema principal y Central 2 para el sistema de sobre equipamiento.

5.1 DISEÑO SISTEMA DE DESVÍO

Cuando se habla de desvío, se asocia el tiempo que se requiere desviar el agua de su cauce natural para la construcción de una estructura y la probabilidad de que ocurran eventos extraordinarios de magnitud determinada durante ese tiempo.

El diseño de la obra de desvío del Proyecto Chepete, contempla la construcción de pre ataguías, ataguías tanto aguas arriba, como aguas abajo y túneles de conducción que permitan desviar el flujo en el área de influencia.

Posteriormente los túneles serán utilizados como sistemas de carga y descarga para la central.

Con el fin de optimizar los tiempos de construcción y los recursos, se ha establecido que los desvíos sean realizados en dos etapas, siendo la primera en un tiempo de 6 meses y la segunda dentro de un año más.

Para establecer la magnitud de los caudales que se asocian a las obras de desvío se utiliza el concepto de riesgo hidrológico, el cual vincula la probabilidad de ocurrencia de un evento dentro de un tiempo determinado.

El periodo de retorno para el diseño del desvío se define a través del riesgo hidrológico como sigue:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^N$$

Donde:

R	riesgo hidrológico entendido como probabilidad de no superación se adopta igual a 15%
TR	periodo de retorno de referencia del evento en fase de operación definitiva (años);
N	tiempo de construcción (años)

En la Tabla 8 se muestra que para la etapa 1 el periodo de retorno recomendado es 3.60 años equivalente a 5 años y para la etapa 2 es 9.74 años equivalente a 10 años, lo que corresponde a $13288 \text{ m}^3/\text{s}$ y $16050 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Adicionalmente en esta misma tabla se indica los niveles asociados a estos caudales, valores que utilizaremos más adelante para determinar la altura de las pre-ataguías y las ataguías.

Tabla 8. Calculo del periodo de retorno para las diferentes etapas de construcción

Riesgo hidrológico	R	%	15.00	
Años de construcción etapa 1	N1	meses	6	
Años de construcción etapa 2	N2	meses	18	
Período de retorno etapa 1	TR1	años	3.60	5
Período de retorno etapa 2	TR2	años	9.74	10
Caudal TR 5 años	Q5	m^3/s	13288	
Caudal TR 10 años	Q10	m^3/s	16050	
Nivel TR 5 años		msnm	256.05	
Nivel TR 10 años		msnm	257.69	

5.1.1 Conducción

Hablar de un desvío a través de túneles, se entiende que se está tratando con zonas topográficas muy estrechas. Si bien el utilizar túneles como estructuras de desvío es menos conveniente que canales, se debe analizar los usos posteriores que se puede dar, pues los costos serán prorrteados para las utilidades que se logren.

Para establecer la ubicación de los túneles se tuvo en cuenta consideraciones topográficas, geológicas, hidrológicas, de constructibilidad y de operación.

Con el fin de garantizar la estabilidad de los túneles durante su construcción y operación, se estableció que el techo mínimo y la cobertura horizontal entre túneles será de 2 veces el diámetro.

Una vez que se ha determinado el trazado de los túneles, se conoce la longitud de los mismos, quedando por determinar el resto de características como sección, diámetro, pendiente y rugosidad.

La pendiente seleccionada tiene relación con la pendiente del río en el tramo de intervención, la rugosidad tendrá que ver con el terminado del túnel; el tipo de sección y su diámetro están en relación a la cantidad de túneles que se adopten y las velocidades dentro de los mismos.

Como se mencionó anteriormente, se debe calcular la capacidad de los túneles tanto para el caudal de 5 años como para el de 10 años para las diferentes etapas de construcción.

Revisando las condicionantes topográficas y las coberturas mínimas tanto en vertical como en horizontal, se determina que se puede ubicar como máximo 5 túneles en esta zona, 2 en la margen izquierda y 3 en la margen derecha.

Para determinar el perfil hidráulico en túneles de desvío se utiliza los criterios del Manual de Diseño de Obras Civiles – Obras de Desvío de la Comisión Federal de Electricidad, donde se presenta cinco condiciones de flujo, siendo nuestro caso particular la quinta condición.

A continuación, se muestra el ecuacionamiento determinado para el quinto caso y en la Figura 4 se muestra el esquema de estudio.

$$h + \frac{Q^2}{2gA_r^2} = Y + Ké \frac{Q^2}{2gA_t^2} + \left(\frac{V_t n}{R_t^{2/3}} \right)^2 L + \left(\frac{1}{A_t} - \frac{1}{A'_r} \right)^2 \frac{Q^2}{2g} - SoL$$

Donde:

Q (m^3/s)	caudal de diseño
g (m/s^2)	aceleración de la gravedad
A_r (m^2)	área hidráulica del río en la sección de entrada
A_t (m^2)	área hidráulica para tubo lleno
A'_r (m^2)	área hidráulica del río en la descarga del túnel
R_t (m)	radio hidráulico para tubo lleno
V_t (m/s)	velocidad para tubo lleno
Y (m)	tirante a la salida del túnel
h (m)	tirante del río al ingreso del túnel
L (m)	longitud del túnel
So (m/m)	pendiente de la solera del túnel
n	rugosidad de Manning
$Ké$	coeficiente por embocadura 0.5 para aristas vivas

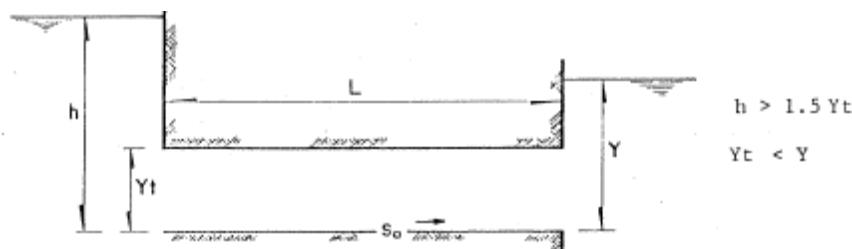


Figura 4. Esquema con tirante aguas abajo – todo el conducto se encuentra ahogado

Fuente: (Comisión Federal de Electricidad - Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1983)

En la Tabla 9 se muestra los resultados de la modelación para los cinco túneles que forman parte del sistema de desvío.

Tabla 9. Cálculo de calado al ingreso por cada túnel

Aceleración de la gravedad	g	m/s^2	9.78
Caudal de diseño 5 años	Q_5	m^3/s	2658
Caudal de diseño 10 años	Q_{10}	m^3/s	3210
Diámetro	D	m	15.5
Área	A	m^2	188.69
Perímetro	P	m	48.69
Radio Hidráulico	RH	m	3.88

Rugosidad manning	n		0.016				
Pendiente	S	m/m	0.0025				
Coeficiente ingreso	ke'		0.50				
Área del río ingreso	Ar	m ²	220.00				
Área del río descarga	Ar'	m ²	250.00				
Túnel			desc izq	carga izq	desc der	Carga der	desvío
Longitud	L	m	1212.39	930.18	1403.05	1205.89	1057.81
Cota de ingreso, solera		msnm	232.89	232.19	239.19	232.70	232.23
Cota de salida, solera		msnm	228.62	228.62	228.62	228.62	228.62
Desvío Etapa 1							
Velocidad 5 años	V 5	m/s	14.08	14.08	14.08	14.08	14.08
Calado ingreso 5 años	h 5	m	31.28	29.64	32.40	31.25	30.38
Desvío Etapa 2							
Velocidad 10 años	V 10	m/s	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01
Calado ingreso 10 años	h 10	m	36.80	34.07	38.64	36.74	35.31

En la tabla anterior se puede observar que la velocidad de agua para la etapa 1 es igual a 14.08m/s y 17.01m/s para la etapa 2. Sobre los niveles de agua sabemos que la mayor altura al ingreso de las conducciones será de 32.40m para la etapa 1 y 38.64 para la etapa 2.

5.1.2 Ataguía

Las ataguías son aquellas estructuras que se apoyan en las márgenes del cauce y en el lecho del río, permiten desviar los caudales el río a través de los conductos de desvío, dejando en sevo el sitio de la presa.

Los taludes de las caras de las ataguías, dependerán del material que se utilice para su construcción y éste a su vez de la altura que se requiera.

Para determinar la altura de cada ataguía se debe utilizar los niveles de agua del perfil hidráulico del punto anterior, tanto aguas arriba como aguas abajo y sumar un bordo libre con el fin de evitar posibles reboses por sobre las ataguías. La litera recomienda un bordo libre entre 1.5 y 3 m.

En la Tabla 10 se muestra las alturas de las pre-ataguías y ataguías tanto aguas arriba como aguas abajo.

Tabla 10. Detalle de las pre ataguías y ataguías

Altura pre ataguía AA*	m	35
Cota cresta pre ataguía AA	msnm	265.00
Altura ataguía AA	m	41
Cota cresta ataguía AA	msnm	271
Altura pre ataguía aa*	m	28
Cota cresta pre ataguía aa	msnm	258.00
Altura ataguía aa	m	15.5
Cota cresta ataguía aa	msnm	245.50

*AA aguas arriba
Aa aguas abajo

5.1.3 Presa

Dentro de la técnica, se considera a la presa uno de los elementos más importantes en los proyectos hidroeléctricos, su gran tamaño requiere que diferentes especialidades se conjuguen para obtener la estabilidad de la misma.

La evolución de la tecnología ha permitido que se desarrollen diferentes tipologías, las mismas que se han adecuado a la utilidad que se deseé obtener, a las características topográficas, y a la geología del sitio y el tipo de materiales disponibles en la zona.

La tipología seleccionada para el proyecto Chepete es una presa a gravedad en hormigón rodillado o RCC por sus siglas. Este tipo de presas es adecuado para la geología del Angosto Chepete y presenta algunas ventajas sobre otros tipos, tales como menor tiempo de construcción y tener el vertedor de excedencias incorporado al cuerpo principal de la presa. En la Figura 6 se presenta un corte desde aguas arriba en el sentido transversal al río.

La presa Chepete tiene una altura libre de 173 m que se eleva desde la cota 230msnm hasta la 403msnm. Las coordenadas del eje son:

- N 8352659 m E 641710 m
- N 8352392 m E 641900 m

En la Figura 5 se observa la implantación del cierre en la zona del Angosto y en la Figura 6 se muestra la sección transversal de la presa, aquí se puede observar la altura de esta estructura y la disposición del vertedor de exceso, además de los desagüe de fondo proyectados.

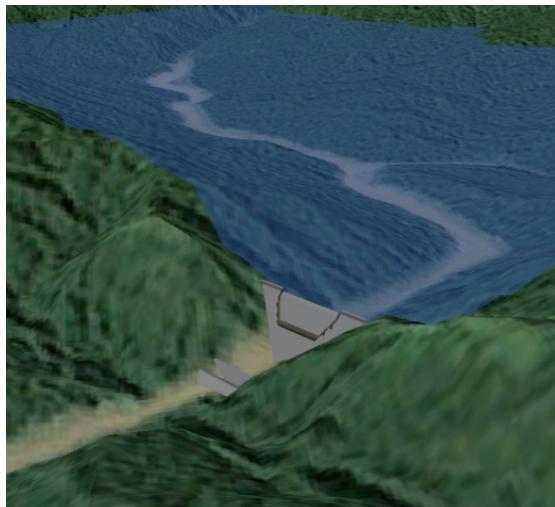


Figura 5. *Implantación del cierre en el angosto Chepete*

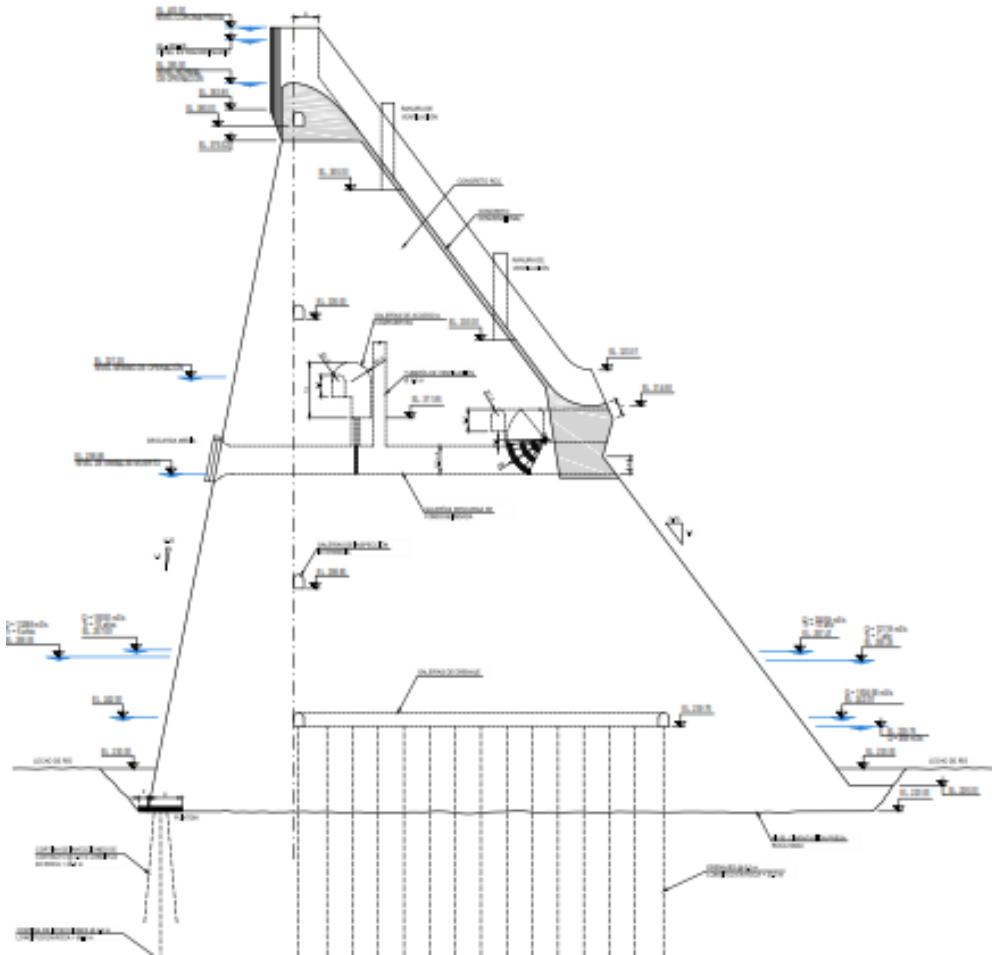


Figura 6. Esquema corte transversal de la presa Chepete

Fuente: Geodata (2016)

5.1.4 Vertedor de excesos

Un vertedor de exceso tiene como finalidad evacuar la cantidad de agua de las crecientes que no puede ser absorbido por el vaso del embalse.

El vertedor del Proyecto Chepete se proyectó como una estructura en canal abierto, incorporado al cuerpo de la presa de RCC, compuesto por una estructura del control sin compuertas un canal de descarga de ancho variable y un deflector cilíndrico. La geometría de la estructura de control se determinó de acuerdo con la metodología de las crestas vertedoras del “Design of Small Dams” (Bureau of Reclamation, 1987), buscando la mayor eficiencia hidráulica de la misma. El vertedor se proyectó para manejar en forma segura la crecida de los 10000 años ($41669\text{m}^3/\text{s}$) y que una vez transmitida por el embalse produce una caudal de $17956\text{m}^3/\text{s}$. El ancho del vertedor varía desde 265m en la cresta hasta 160m en el deflector.

El diseño que se logre dar a la estructura tendrá relación con la estabilidad de la presa, ya que cualquier desborde puede llegar a causar roturas de las presas, lo que ocasionará graves problemas aguas abajo de la

zona del proyecto. Un buen dimensionamiento del vertedor se deberá revisar tanto la forma de la cresta, las altas velocidades en la rampa, la salida que disipe la energía y el colchón que reciba el impacto del chorro.

En el proyecto Chepete se ha establecido un vertedor libre de 265m de longitud en el centro de la presa, el cual se verifica hidráulicamente a continuación:

Para conocer el caudal de descarga a través de un vertedero libre se utiliza la siguiente ecuación

$$Q = CLeH_o^{3/2}$$

Donde:

Q (m^3/s) caudal descargado

Le (m) longitud efectiva del vertedor libre

C coeficiente de descarga igual a 2.0

H_o altura de la lámina de vertido

En la Figura 7 se detallan los componentes del vertedero tipo Creager.

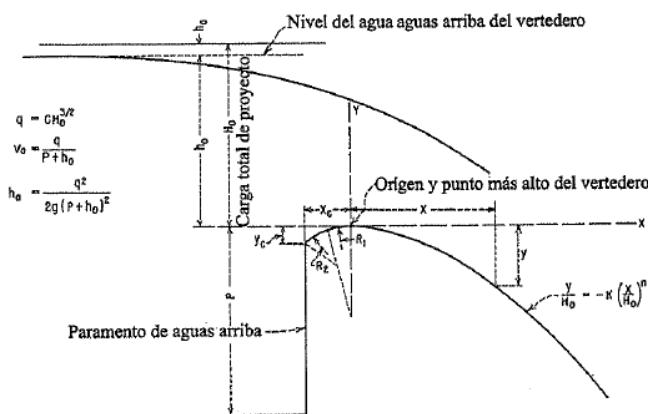


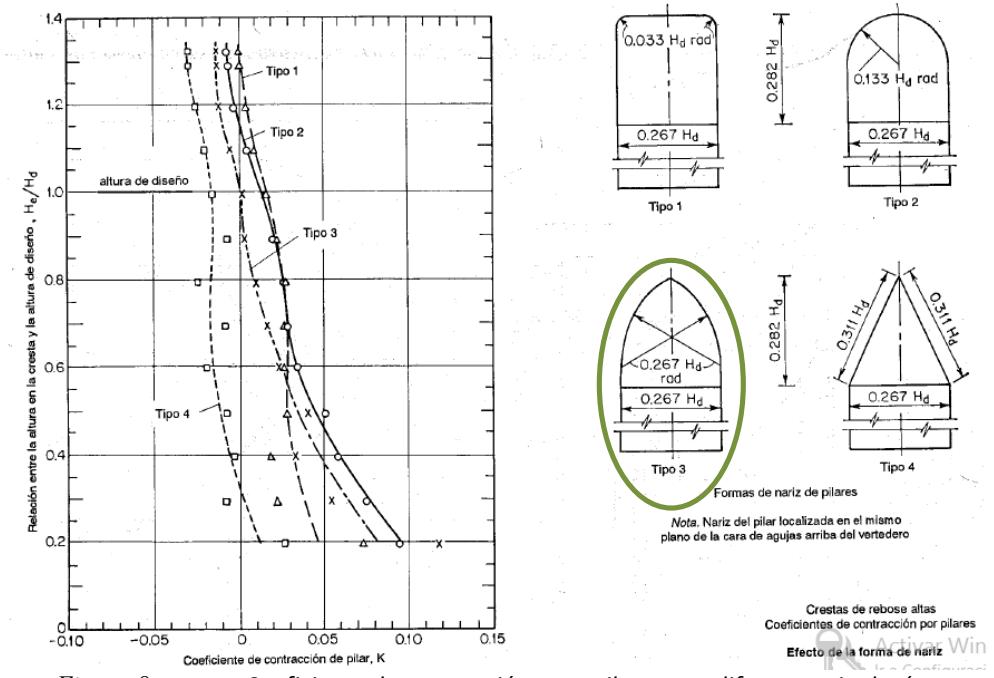
Figura 7. Elementos de un perfil de un vertedor

Fuente: (Bureau of Reclamation)

Es necesario que se coloquen pilares en el vertedor de excesos con el fin de proteger los sistemas de aireación de los desagües de fondo, más adelante se realiza este análisis, pero en esta sección se verifica la influencia de dichos pilares en la longitud efectiva del vertedor.

Con el fin de conocer la influencia de los estribos y muros a lo largo del vertedor, se debe establecer coeficientes de contracción, valor que modifica la longitud total del vertedor, dando como resultado una longitud efectiva.

Para conocer el coeficiente de contracción, es necesario determinar la tipología de los pilares que se colocará en el vertedor. En el libro Hidráulica de canales abiertos (Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, 1994) se muestra los coeficientes de 4 tipologías, las que se puede observar en la Figura 8



Fuente: (Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, 1994)

Una vez que se ha seleccionado el tipo de pilares y estribos, para el cálculo de la longitud efectiva se utiliza la siguiente ecuación:

$$Le = L - KNH_o$$

Donde:

Le (m)	longitud efectiva
L (m)	longitud real del vertedor
K	coeficiente de contracción
N	número de contracciones laterales
Ho(m)	altura de la lámina de vertido

Para el proyecto Chepete se ha establecido que los pilares que conformen los pilares y estribos serán del Tipo 3 y su coeficiente será igual a 0 conforme la Figura 8, pues se considera que la carga total más la carga de velocidad son iguales a la carga de diseño, quedando la longitud efectiva igual a la longitud real del vertedor.

Realizado los cálculos se obtiene la curva de descarga del vertedor la misma que se muestra en la Figura 9.

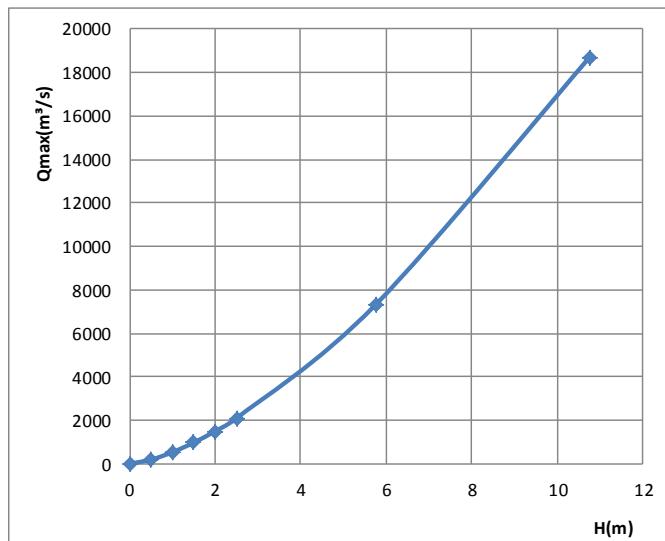


Figura 9. Curva de descarga vertedor libre $L=265m$

En la Tabla 11 se muestra las coordenadas de la curva de descarga; tanto en esta tabla como en el gráfico anterior se puede observar que para valores menores a 10m de altura de carga se puede descargar valores menores a $20000m^3/s$ de agua.

Tabla 11. Curva de descarga vertedor Libre

Altura (m)	Caudal diseño (m^3/s)
0	0.00
0.5	187.38
1.0	530.00
1.5	973.67
2.0	1499.07
2.5	2095.01
5.8	7307.65
10.8	18680.50

5.2 OBRA DE CAPTACIÓN

Como su mismo nombre lo indica una obra de captación es aquella estructura que permite captar de un río, o de un embalse o cualquier otro sistema hídrico una cantidad determinada de agua en los lapsos de tiempo deseados.

Para que una captación u obra de toma cumpla con el objetivo deseado deben contemplar los siguientes aspectos (Comisión Federal de Electricidad - Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1983):

- Regular la captación del caudal deseado,
- Presentar pérdidas pequeñas; y,
- Contener el ingreso de basuras, material flotante o sedimentos perjudiciales para el sistema.

Dependiendo de las características de las obras de toma se las clasifica por la carga o por su disposición, en el caso particular del proyecto Chepete se habla de una toma con galería a presión la cual debe constar de los siguientes elementos:

- Embalse,
- Bocatoma con rejilla,
- Mecanismos de control; y,
- Galería a presión.

La capacidad del embalse estará dada por la topografía del lugar y la tipología de la presa, este tema se lo ha mencionado en acápite anteriores.

Sobre la bocatoma es importante conocer que la entrada debe ubicarse a una cota adecuada que evite el ingreso de sedimentos; y para el caso de bocatomas sumergidas ubicarse a una altura tal que se evite el ingreso de aire en el sistema de conducción, es decir que la bocatoma debe estar entre el nivel muerto del embalse y el nivel mínimo de operación.

La bibliografía recomienda que en proyectos que presentan desagües de fondo, como el caso del proyecto Chepete, la bocatoma deba estar cerca a la descarga del desagüe con el fin de evitar la presencia de sedimentos.

La forma y dimensiones de la bocatoma están limitadas por el área efectiva para el ingreso del caudal requerido y por la configuración de la topografía en la cota de nivel establecida.

Refiriéndose a las dos centrales, cada una de ellas tendrá diferente configuración, cada una en diferentes márgenes.

5.2.1 Configuración y Rejillas

Como se mencionó anteriormente la configuración de la bocatoma se sujeta tanto al área efectiva que se requiere para el paso del caudal como la cota de la solera de la bocatoma.

El nivel mínimo de operación del embalse se encuentra en la cota 321.35 msnm, y utilizando las recomendaciones de sumergencia la solera de la bocatoma se ubica en el nivel 298.85 msnm, tanto para la central 1 como para la 2. Realizando una verificación de la topografía se observa que la central en la margen izquierda es más recomendable tener una toma rectangular y la central derecha es recomendable tener una toma de forma hexagonal.

En la Figura 10 se muestra la configuración de las dos tomas y su ubicación con respecto al desarrollo de los túneles de carga.

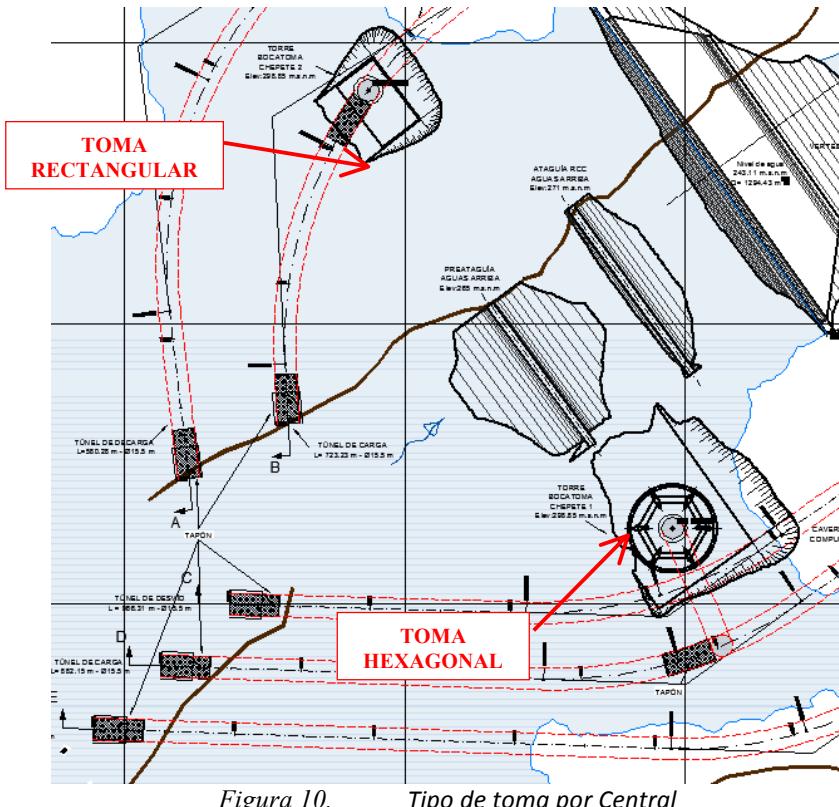


Figura 10. Tipo de toma por Central

El USBR recomienda que la velocidad de paso del agua por la rejilla no sea mayor a 1m/s en razón de que cualquier elemento que pueda generar daño a las turbinas no sea absorbido por el flujo y éste se quede retenido por la rejilla y pueda caer al pie de la toma.

Para determinar la configuración de la rejilla es necesario conocer el tipo de turbina a utilizar, para establecer el diámetro máximo permisible de partículas a pasar entre las rejillas, el mismo que será el diámetro existente entre alabes.

Para turbinas tipo Francis se ha generado el ábaco que se muestra en la **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el cual ha sido desarrollado en base a prototipos para determinar el diámetro máximo de partículas a aceptar en las turbinas (Suárez Villar, 1982). Este ábaco se encuentra en función de la velocidad específica de la turbina (ver **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y del diámetro de salida de la turbina.

Es importante mencionar que el valor de separación entre barrotes no será mayor a 0.15m.

5.3 Obra caudal ecológico

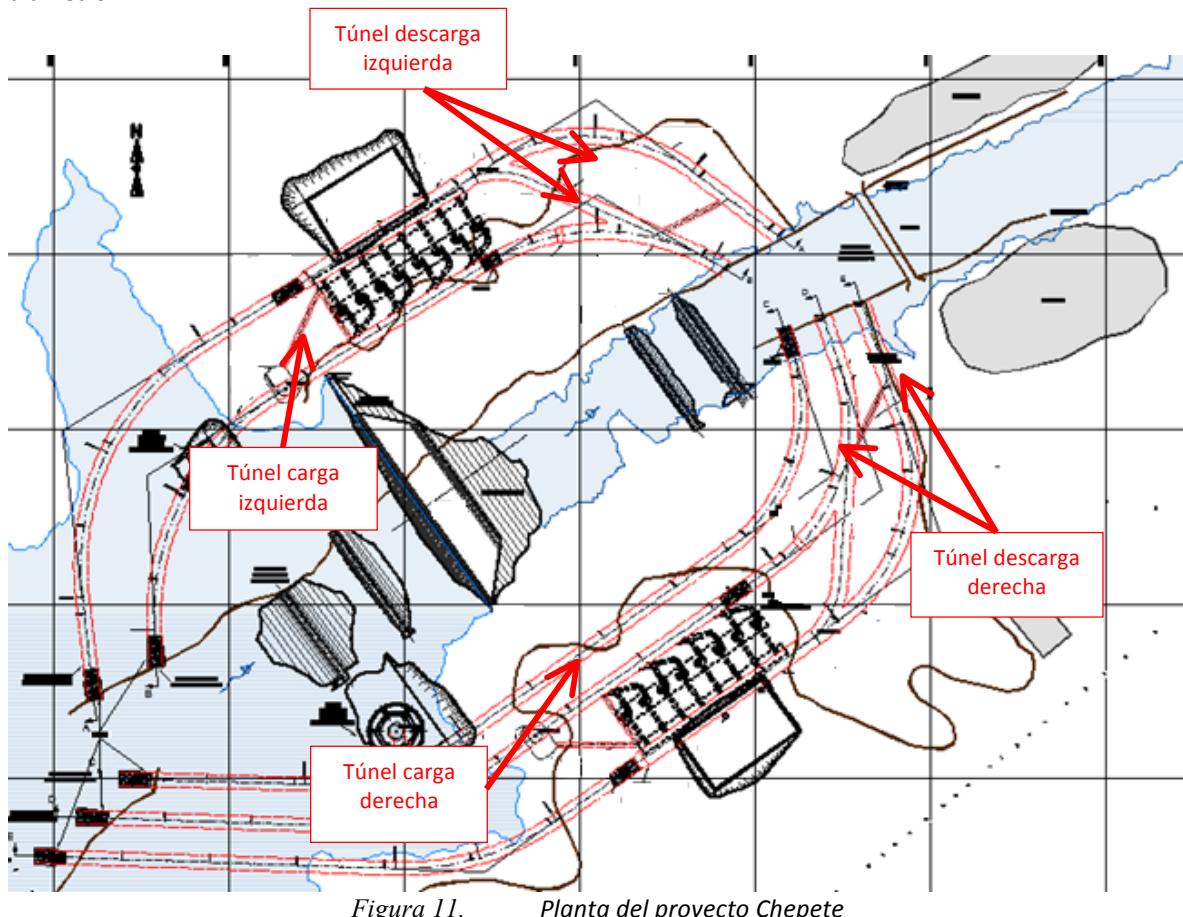
Con la finalidad de que la hidrología del cauce en el tramo intervenido no sufra variaciones, se ha previsto que en aquellas épocas de estiaje se deje transitar por una de las turbinas un caudal igual al 10% del caudal medio natural, correspondiente $160.4\text{m}^3/\text{s}$.

Para aquellas etapas en las que se prevea llenado o abatimiento del embalse, se ha previsto utilizar el túnel de desvío equipado con una válvula Howell Burger como desagüe de fondo, con el fin de dejar transitar un caudal mínimo en momentos en que está limitado el paso por una tubería.

5.4 Obra de conducción

En el acápite 5.1.1 se habla sobre el sistema de conducción en la etapa de desvío, donde se menciona la construcción de 5 túneles de diámetro 15.5 m, mismos túneles que serán utilizados como sistemas de carga y descarga en operación.

En la Figura 11 se muestra la distribución de los sistemas de carga y de descarga. Para cada una de las centrales se utilizan los túneles más cercanos al río como túneles de carga y los lejanos como descarga, pero con el fin de disminuir la velocidad de descarga, se ensancha la sección y se unen luego de la casa de máquinas los dos pares de túneles tanto del lado izquierdo como el del lado derecho y se modifica la sección a un diámetro de 18.5 m y en la zona frente a las respectivas casas de máquinas una sección de 20m de diámetro.



En la Figura 12 se muestra las secciones en herradura que se establecerán en el sistema de conducción, aquí se muestran los diámetros y las configuraciones de cada tramo.

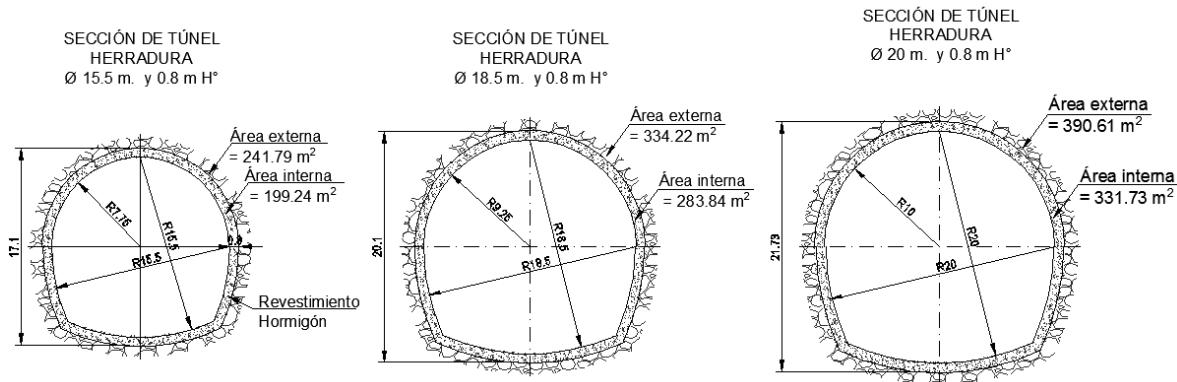


Figura 12. Secciones herradura en el sistema de conducción proyecto Chepete

5.5 Casa de Máquinas

La casa de máquinas tiene como finalidad albergar el equipo turbo generador, y todos aquellos componentes necesarios para transformar la energía potencial en eléctrica.

El tamaño de la casa de máquinas estará en relación con el número y tamaño de unidades que se prevean utilizar para la producción de energía, además de considerar aspectos tales como:

- Condiciones climáticas de la zona,
- Materiales de construcción,
- Facilidad de acceso,
- Ubicación de la casa de máquinas con respecto al río
- Comportamiento del río y del cauce
- Estabilidad de la zona
- Equipamiento adicional; y,
- Sistemas auxiliares.

En el presente capítulo se hablará del pre dimensionamiento de las unidades para conocer el área de dicha estructura.

5.5.1 Selección de turbinas y Número de equipo turbogenerador

Dentro de la industria hidroeléctrica se han desarrollado diferentes tipos de turbinas, equipos que trabajan con mayor eficiencia bajo determinada carga y rango de caudales.

Muchos fabricantes han desarrollado su carta de selección de turbinas que ayudan a establecer el tipo de turbina para un proyecto determinado.

A continuación, se muestra la carta de selección de turbinas, en este gráfico se puede observar que para una caída de 146m y un caudal de diseño mayor a 1000m³/s, el proyecto se localiza en la zona de las Francis de flujo normal.

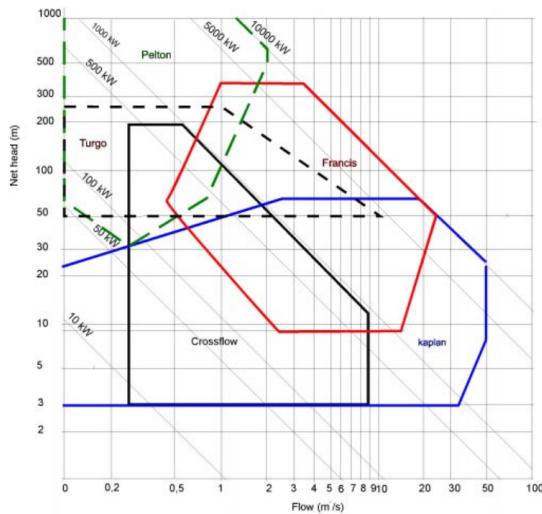


Figura 13. Rango de aplicación de los varios equipos turbogeneradores

Como pre dimensionamiento se ha seleccionado un número total de 8 turbinas tanto para la central 1 como para la central 2, del tipo Francis de eje vertical.

En la Figura 14 se puede observar la distribución de elementos en la casa de máquinas de la central derecha, aquí se puede observar que luego de la bifurcación se localizará una válvula de control, y luego se conectará con la turbina y está en vertical se unirá con el generador.

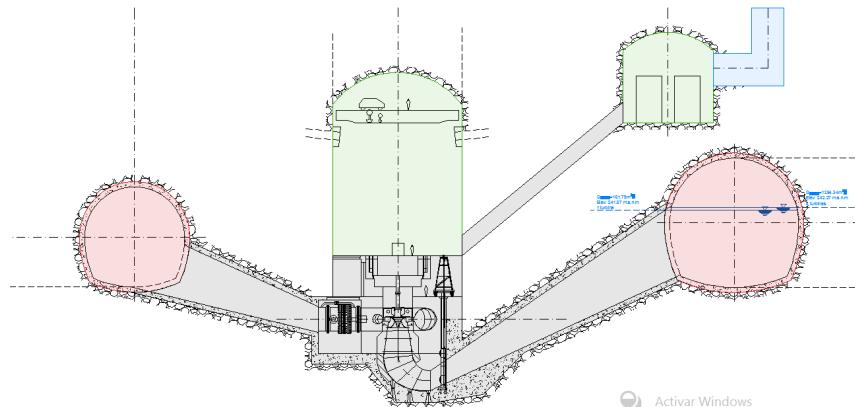


Figura 14. Corte transversal de la casa de máquina margen derecho

