

MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PASADA CIPRESILLOS

DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA DE UNIDADES GENERADORAS

Informe Técnico

N° de Documento:

EC22-EO-03-010

Fecha: 09 de marzo de 2022

1	Para revisión	J. C. Larenas	J. C. Larenas	F. Gutiérrez Ph.	08/03/2022
0	Elaboración	J. C. Larenas	J. C. Larenas	F. Gutiérrez Ph.	14/02/2022
Rev	Descripción	Preparó / Modificó	Revisó	Aprobó	Fecha

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVO.....	5
3. METODOLOGÍA.....	5
4. ANTECEDENTES TÉCNICOS	5
4.1. Turbina.....	5
4.2. Generador	6
4.3. Diagrama de Operación del Generador.....	8
4.4. Curva de eficiencia de la turbina	9
4.5. Curvas de Colina.....	10
4.6. Transformadores de Poder.....	11
5. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA.....	14
6. CONCLUSIONES.....	18
7. ANTECEDENTES TÉCNICOS DE RESPALDO.....	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 8 Resumen de medidas U1 y U2 a Plena Carga.....	4
Tabla 2 Datos Técnicos de Turbina Pelton.....	6
Tabla 3 Datos Técnico del Generador.....	7
Tabla 4 Datos Técnico del Transformador	12
Tabla 5: Potencia calculada en función del caudal disponible para generación.....	13
Tabla 6 Fecha y horarios de prueba.....	15
Tabla 7 Unidades N°1 y N°2 a Plena Carga	16
Tabla 8 Resumen de medidas U1 y U2 a Plena Carga.....	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama PQ de unidades generadoras	8
Figura 2 Curva de eficiencia de las turbinas.....	9
Figura 3 Curvas de colina para HPP Cipresillos, inyectores en operación.....	11
Figura 4 Esquema simplificado de la Mini Central Cipresillos.....	15

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Placa Características de las Turbinas Pelton Eje Horizontal	6
Fotografía 2 Placa Características de Generadores Indar	7
Fotografía 3 Placa Características de los Transformadores de Poder - ABB	12
Fotografía 4 Registro de consumos de servicios auxiliares para grupo 1	17
Fotografía 5 Registro de consumos de servicios auxiliares para grupo 2	17

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento entrega los antecedentes que respaldan el valor de Potencia Máxima de las unidades de la Mini Central Cipresillos, realizadas los días 28 de enero y 01 de febrero de 2022, conforme a lo establecido en el Anexo Técnico “Prueba de Potencia Máxima de Unidades Generadoras” de la NTSyCS, en su última versión, y a los antecedentes técnicos y de operación de la central.

La Mini Central Cipresillos consiste en una mini central hidroeléctrica de pasada, la cual está ubicada en la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins, Provincia del Cachapoal, Comuna de Machalí, a unos 50 kilómetros al sur-oriente de la ciudad de Rancagua, y se emplaza en la cuenca del estero Cipresillos y del río Cortaderal. La Central Cipresillos está compuesta por 2 turbinas Pelton de eje horizontal, con una potencia nominal de 5.940,9 kW a 600 rpm cada una, cuyo fabricante es Geppert Hydropower de Austria. La capacidad total instalada es de 12 MW para un caudal nominal por turbina de 1,95 m³/s. Los generadores tienen una potencia nominal 6.667 kVA, 6.600 Volts y factor de potencia de 0.9, cuyo fabricante es INDAR de España.

La Mini Central Cipresillos es una central cuya fuente es renovable no convencional y sin capacidad de regulación. Las aguas captadas tienen un régimen nivo-glacial.

A la fecha se cuenta con un importante número de horas de funcionamiento, las que aportan información suficiente y adecuada para la determinación del valor de Potencia Máxima, acorde a lo estipulado en el respectivo Anexo Técnico.

De acuerdo con la información recopilada, la Potencia Bruta Máxima de las unidades de la Central Cipresillos es la siguiente:

Tabla 1 Resumen de medidas U1 y U2 a Plena Carga		
	Unidad N°1	Unidad N°2
Potencia Neta Máxima (MW)	5,970	5,979
Servicios Auxiliares (kW)	14,61	14,58
Pérdidas Transformador de Poder (kW)	35,4	35,4
Potencia Bruta Máxima (MW)	6,020	6,029
Potencia Bruta Máxima de ambas unidades (MW)	12,049 ⁽¹⁾	

Nota 1: corresponde a la suma de las potencia brutas máximas de ambas unidades debido a que en el momento de las pruebas no se disponía de las condiciones hidrológicas nominales de operación para operar las unidades en conjunto.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente informe técnico es informar la Potencia Máxima de las unidades generadoras de la Mini Central Cipresillos, de acuerdo a los lineamientos del Anexo Técnico “Prueba de Potencia Máxima de Unidades Generadoras” de la NTSyCS, en su última versión, y a los antecedentes técnicos y de operación de la central.

3. METODOLOGÍA

Para la determinación de la Potencia Máxima de las unidades de la Mini Central Cipresillos se considera lo señalado en el artículo 39 del Anexo Técnico “Prueba de Potencia Máxima de Unidades Generadoras” de la NTSyCS, en el cual establece que para las unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional, sin capacidad de regulación y que inician su entrada en operación, el valor de potencia máxima se obtendrá en base a los registros de operación, en función de mediciones estadísticas de los recursos naturales que inciden en la capacidad para generar energía eléctrica y en las características de diseño de estas centrales.

Al respecto, el valor de Potencia Máxima de las unidades se determinará a partir de los registros de energía del equipo de medida (Pmt) cuya Clase es 0.2, y que cuenta con los respectivos certificados de verificación (Anexo 1). Este equipo de medida se encuentra aguas abajo de los transformadores de poder, por lo cual incluye los consumos de los servicios auxiliares y las pérdidas de los transformadores de poder. Esto se puede apreciar en la figura N°4 Diagrama unilineal simplificado de la Mini Central Cipresillos. Por lo tanto, la Potencia Máxima de las unidades generadoras será determinado en función de los registros de medida (Pmt), más las pérdidas del transformador de poder, y más el consumo de servicios auxiliares.

4. ANTECEDENTES TÉCNICOS

La Mini Central Cipresillos fue concebida para que su operación sea desatendida, por lo cual es supervisada y telecomandada en forma remota desde una sala de control fuera de las instalaciones.

4.1. Turbina

La Mini Central Cipresillos está compuesta por 2 turbinas Pelton de eje horizontal con 3 inyectores cada unidad.

El rodete está montado y acoplado directamente al eje del generador sincrónico trifásico. Todas las cargas provenientes por acción del rodete son absorbidas por los 2 cojinetes del generador.

El movimiento de los inyectores y deflectores en la turbinas son controladas por un sistema de regulación electrónico / digital.



Fotografía 1 Placa Características de las Turbinas Pelton Eje Horizontal

Tabla 2 Datos Técnicos de Turbina Pelton		
Ítem	Descripción	Información
a	Fabricante	GEPPERT HYDROPOWER, AUSTRIA
b	Tipo de turbina	Pelton de eje horizontal
c	Número de inyectores	3
d	Velocidad de Rotación	600 rpm
e	Salto Neto Hn	311,7 mts
f	Caudal de diseño	1950 l/s
g	Potencia Nominal	5940,9 kW
h	Año de Fabricación	2017

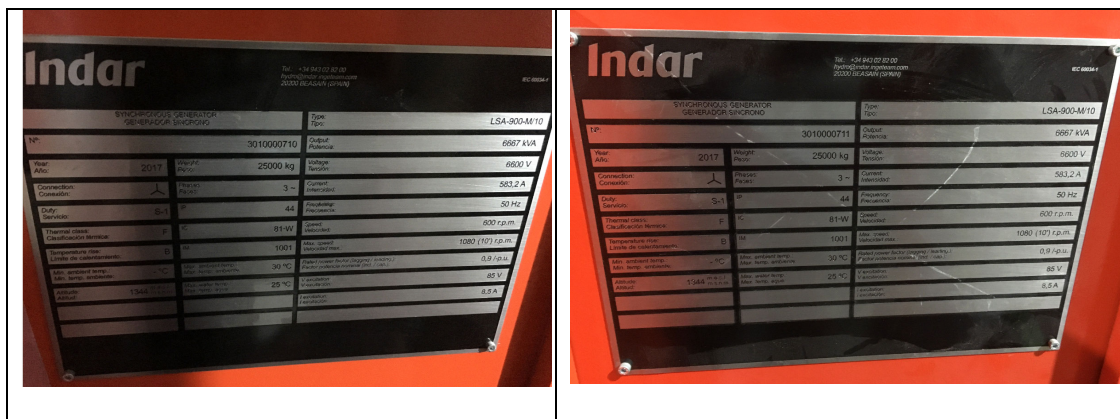
4.2. Generador

Corresponde a 2 Generadores sincrónicos del fabricante INDAR ELECTRIC, S.L., tipo LSA 900 M10, con una potencia nominal de 6.667 kVA y una tensión nominal de 6.600 Volts.

Los cojinetes en los descansos del generador son de tipo deslizantes lubricados con aceite; un cojinete en el lado del acoplamiento (L.A.) y un cojinete del lado opuesto al acoplamiento (L.O.A.). Los descansos son refrigerados a través de un intercambiador de calor agua/aceite. El enfriamiento del agua se realiza en los fosos de descarga de las turbinas a través de un intercambiador de calor agua/agua.

El frenado del rotor es a través de un freno de disco puesto en el lado de acoplamiento del eje del rotor.

Los generadores son refrigerados por aire enfriado a través de un intercambiador de calor aire/agua, tipo IC81W.



Fotografía 2 Placa Características de Generadores Indar

Tabla 3 Datos Técnico del Generador		
Ítem	Descripción	Información
a	Fabricante	INDAR ELECTRIC, S.L., ESPAÑA
b	Tipo	LSA 900 M10
c	Número de Series	3010000710 / 3010000711
d	Denominación	Generador Sincrónico Trifásico
e	Forma Constructiva	Eje Horizontal
f	Temperatura Ambiente Máxima	30 °C
g	Grado de Protección	IP 23
h	Refrigeración	IC81W
i	Conexión Estator	Estrella
j	Sentido de Giro	Sentido Horario, visto desde el lado de accionamiento
k	Potencia Nominal	6.667 kVA
l	Calentamiento	Clase B según CEI 34
m	Tensión Nominal	6.600 V
n	Factor de potencia	0,9

ñ	Frecuencia	50 Hz
o	Intensidad	583,21 A
p	Velocidad de Rotación	600 rpm
q	Velocidad de Embalamiento	1.080 rpm
r	Aislamiento	Clase F
s	Calentamiento	Clase B
t	Excitación	Brushless
u	Tipo	DECS-250
v	Vecc.	85 V
w	lecc.	8,5 A
x	Año de Fabricación	2017

4.3. Diagrama de Operación del Generador

En el siguiente gráfico se muestra el diagrama PQ de los generadores INDAR.

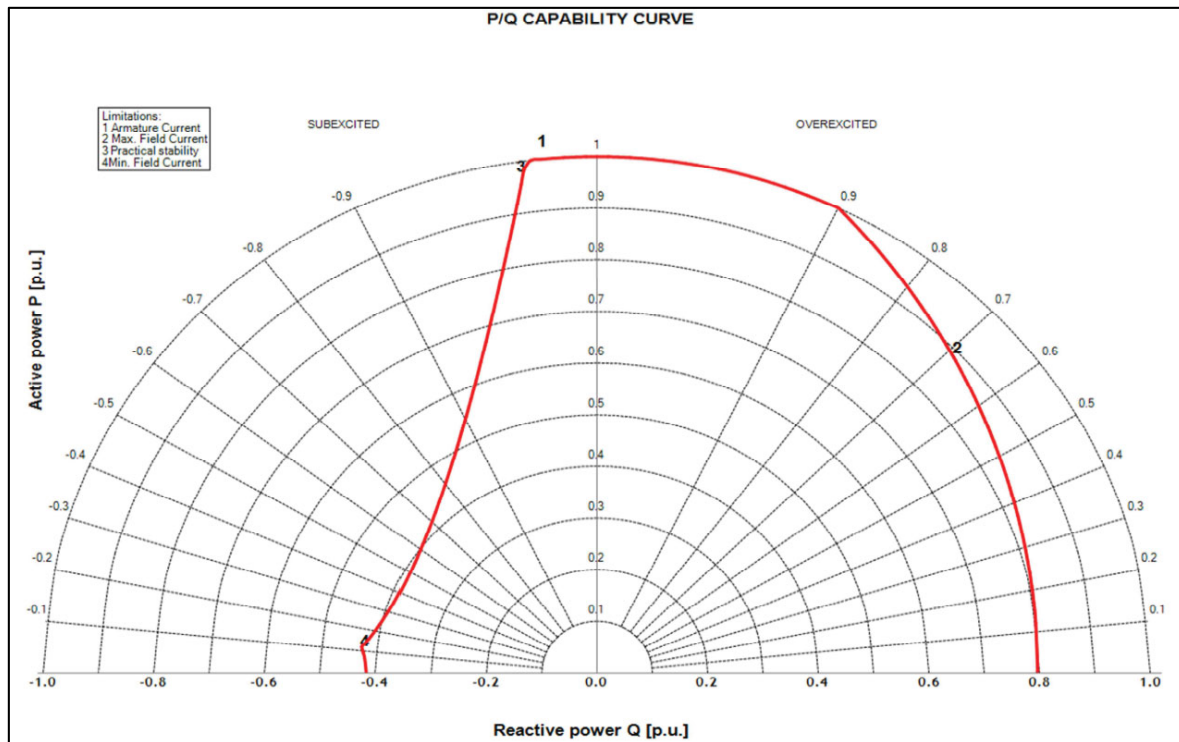


Figura 1 Diagrama PQ de unidades generadoras

4.4. Curva de eficiencia de la turbina

En el siguiente gráfico se muestra el caudal mínimo de operación, el rendimiento de las unidades y etapas de apertura de los 3 inyectores.

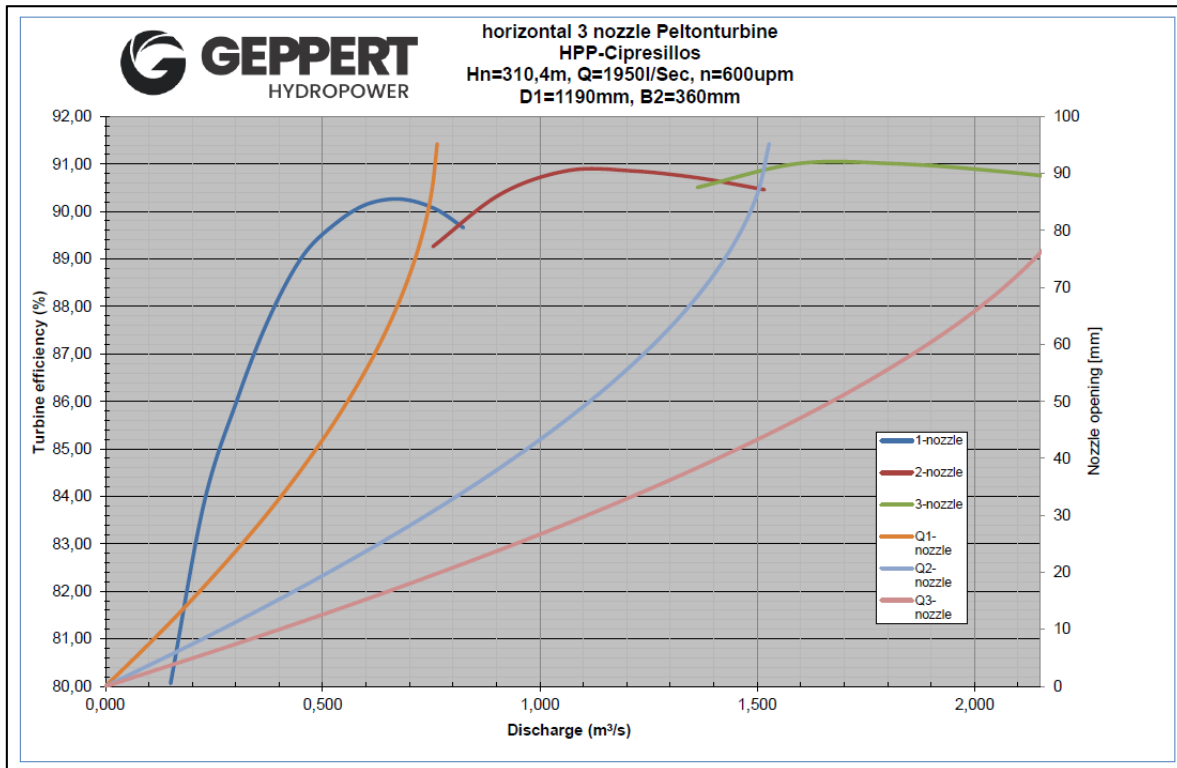
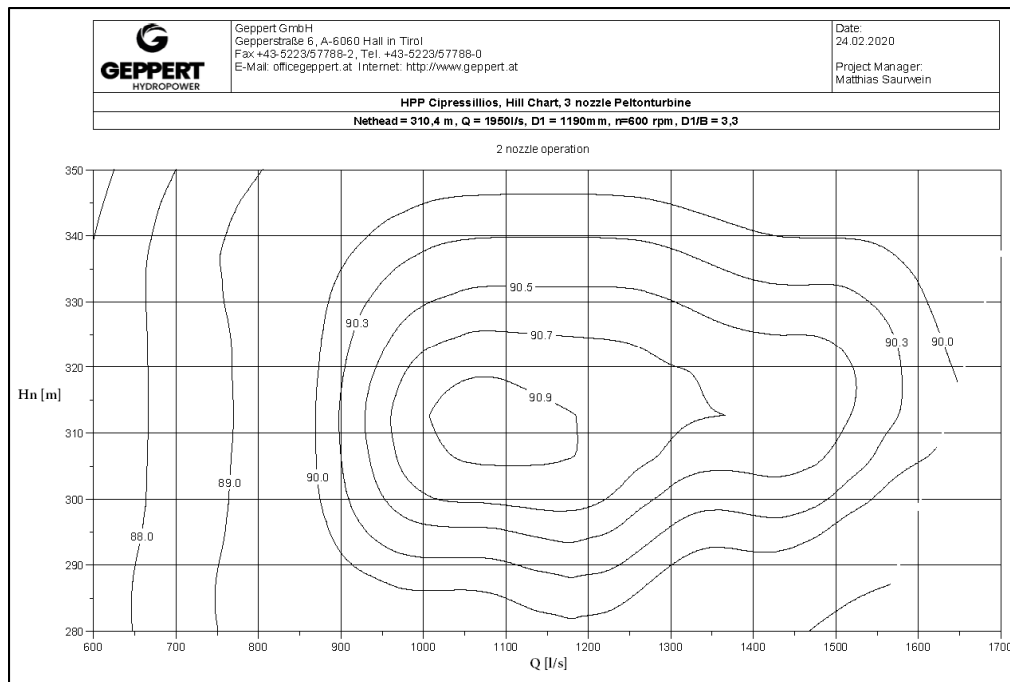
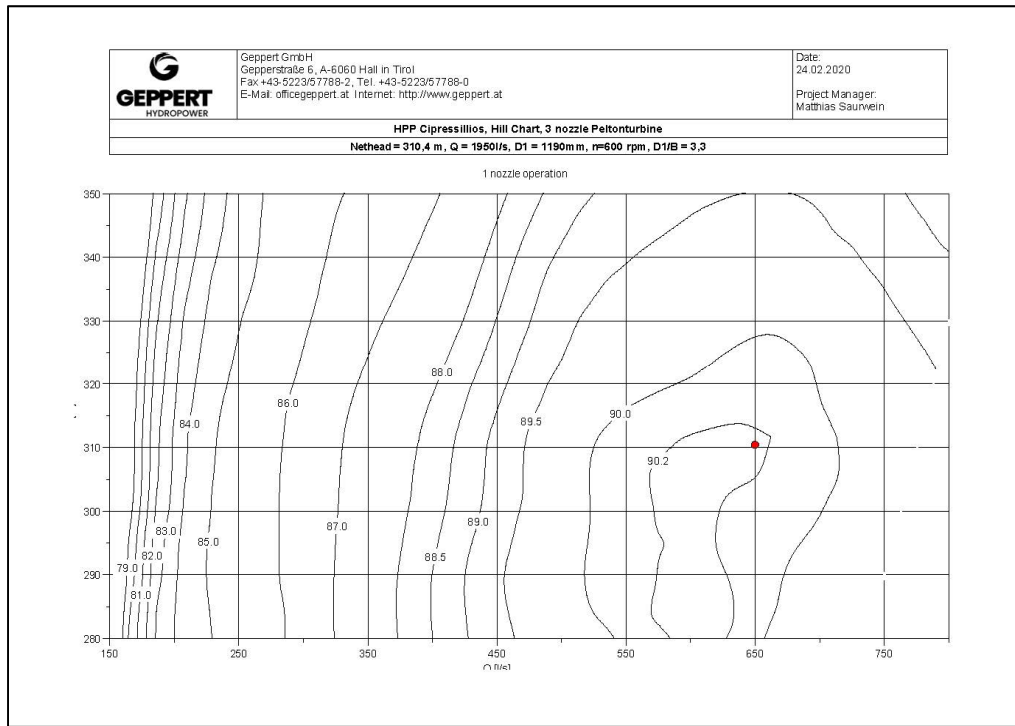


Figura 2 Curva de eficiencia de las turbinas

4.5. Curvas de Colina



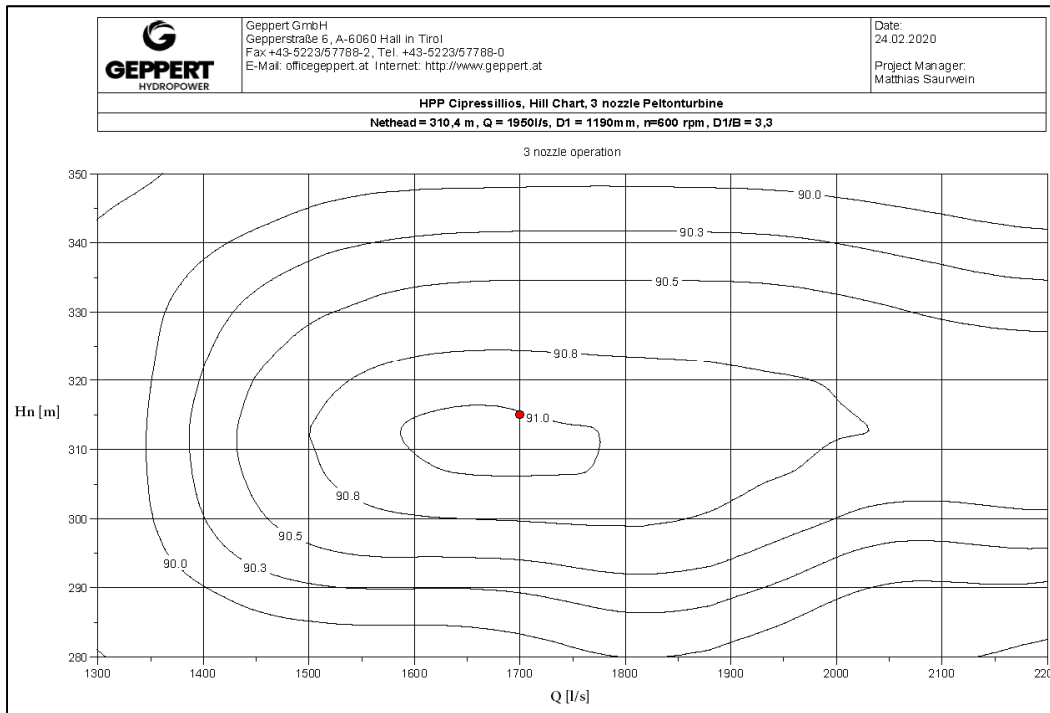


Figura 3 Curvas de colina para HPP Cipresillos, inyectores en operación.

4.6. Transformadores de Poder

Corresponde a 2 transformadores trifásicos seco, con una potencia nominal (AN) de 7000 kVA y con una tensión nominal de 23.000 Volts (A.T.) y 6.600 Volts (B.T.).



Fotografía 3 Placa Características de los Transformadores de Poder - ABB

Tabla 4 Datos Técnico del Transformador

Ítem	Descripción	Información
a	Fabricante	ABB ESPAÑA
b	Tipo	Trifásico Seco
c	Número Fabricación	1LES17000000480 / 1LES17000001825
d	Norma	ANSI C57.12.01
e	Potencia Nominal	7.000 kVA
f	Tipo de refrigeración	Natural
g	Tensión A.T.	23.000 V
h	Tensión B.T.	6.600 V
i	Intensidad A.T.	175,72 A
j	Intensidad B.T.	612,34 A
k	Impedancia	8,12%
l	Grupo de conexión	YNd11
m	Año de Fabricación	2017

4.7. Curvas de Potencia

La siguiente tabla muestra la potencia eléctrica teórica (kW) calculada de las unidades generadoras como función del caudal disponible para generación, la altura neta y las eficiencias garantizadas.

Generator: Indar						
Penstock			Turbine 1		Generator 1	
Q_av [l/s]	H_net [m]	H_loss [m]	Eta_t1 [%]	P_t1 [kW]	Eta_g1 [%]	P_g1 [kW]
1,950	329,5	6,2	91,06%	5.740	97,18%	5.578
1,900	329,8	5,9	91,08%	5.599	97,19%	5.442
1,850	330,1	5,6	91,10%	5.458	97,20%	5.305
1,800	330,4	5,3	91,11%	5.316	97,22%	5.168
1,750	330,7	5,0	91,11%	5.173	97,23%	5.030
1,700	331,0	4,7	91,11%	5.029	97,24%	4.891
1,650	331,3	4,4	91,10%	4.885	97,26%	4.751
1,600	331,5	4,2	91,09%	4.740	97,27%	4.611
1,550	331,8	3,9	91,08%	4.595	97,28%	4.470
1,500	332,0	3,7	91,07%	4.449	97,29%	4.328
1,450	332,3	3,4	91,05%	4.303	97,29%	4.187
1,400	332,5	3,2	91,02%	4.157	97,30%	4.044
1,350	332,7	3,0	91,00%	4.010	97,30%	3.901
1,300	332,9	2,8	90,97%	3.863	97,30%	3.758
1,250	333,1	2,6	90,94%	3.715	97,29%	3.615
1,200	333,3	2,4	90,91%	3.567	97,28%	3.470
1,150	333,5	2,2	90,88%	3.419	97,27%	3.326
1,100	333,7	2,0	90,84%	3.271	97,24%	3.181
1,050	333,9	1,8	90,80%	3.123	97,22%	3.036
1,000	334,0	1,7	90,76%	2.974	97,18%	2.890
0,950	334,2	1,5	90,71%	2.825	97,13%	2.744
0,900	334,4	1,3	90,66%	2.676	97,08%	2.598
0,850	334,5	1,2	90,61%	2.527	97,01%	2.452
0,800	334,6	1,1	90,54%	2.378	96,94%	2.305
0,750	334,8	0,9	90,48%	2.228	96,85%	2.158
0,700	334,9	0,8	90,40%	2.079	96,74%	2.011
0,650	335,0	0,7	90,32%	1.929	96,62%	1.864
0,600	335,1	0,6	90,22%	1.780	96,48%	1.717
0,550	335,2	0,5	90,12%	1.630	96,32%	1.570
0,500	335,3	0,4	90,01%	1.480	96,15%	1.423
0,450	335,4	0,3	89,88%	1.331	95,95%	1.277
0,400	335,4	0,3	89,75%	1.181	95,72%	1.131
0,350	335,5	0,2	89,59%	1.032	95,48%	985
0,300	335,5	0,2	89,42%	883	95,20%	841
0,250	335,6	0,1	89,24%	734	94,90%	697
0,200	335,6	0,1	89,03%	586	94,57%	554

Tabla 5: Potencia calculada en función del caudal disponible para generación

5. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

La prueba de Potencia Máxima consistió en registrar durante un periodo de 5 horas continuas, los valores de potencia máxima activa bruta inyectada por los generadores según los recursos naturales disponibles y capacidad de diseño de las unidades generadoras. Cabe señalar que a la fecha de realizada la prueba (enero y febrero 2022) no se contaba con condiciones hidrológicas para determinar la Potencia Máxima del conjunto por lo tanto este valor ha sido extrapolado de la información técnica entregada por el fabricante de los equipos, determinando una Potencia Máxima Teórica del conjunto.

El registro de la Potencia Máxima se llevó a cabo mediante un equipo de medida (Pmt), ubicado aguas abajo de los transformadores de poder, por lo cual incluye los consumos de los servicios auxiliares y las pérdidas de los transformadores de poder. Esto se puede apreciar en la figura 4 Diagrama unilineal simplificado de la Mini Central Cipresillos. Por lo tanto, la Potencia Máxima de las unidades generadoras será determinado en función de los registros del equipo de medida (Pmt), más las pérdidas del transformador de poder, y más el consumo de servicios auxiliares.

El equipo de medida (Pmt) registra la energía generada por la central en periodos de 15 minutos, por lo cual se han generado 20 registros consecutivos donde podemos observar los valores de Potencia Máxima Instantánea.

Respecto a las características de diseño aportadas por el fabricante, se verificará que la Potencia Máxima no compromete la integridad de la unidad, y que puede ser sostenida en forma estable y segura.

En la figura N°4 presentamos un esquema simplificado de la Mini Central donde mostramos los siguientes componentes:

G1	Generador grupo 1 de 6,6 kV
G2	Generador grupo 2 de 6,6 kV
TP1	Transformador de Poder del grupo 1, 7 MVA, 23/6,6 kV
TP2	Transformador de Poder del grupo 2, 7 MVA, 23/6,6 kV
TR.SS.AA.	Transformador de Servicios Auxiliares, 250 KVA, 23/0,4 kV
SS/AA	Servicios Auxiliares
LIN	Línea de Conexión de 15 km de largo
SE_ACA	Subestación Alto Cachapoal
TP3	Transformador de Poder SE_ACA, 15 MVA, 66/23 kV

PTO Punto de Conexión, 66 kV

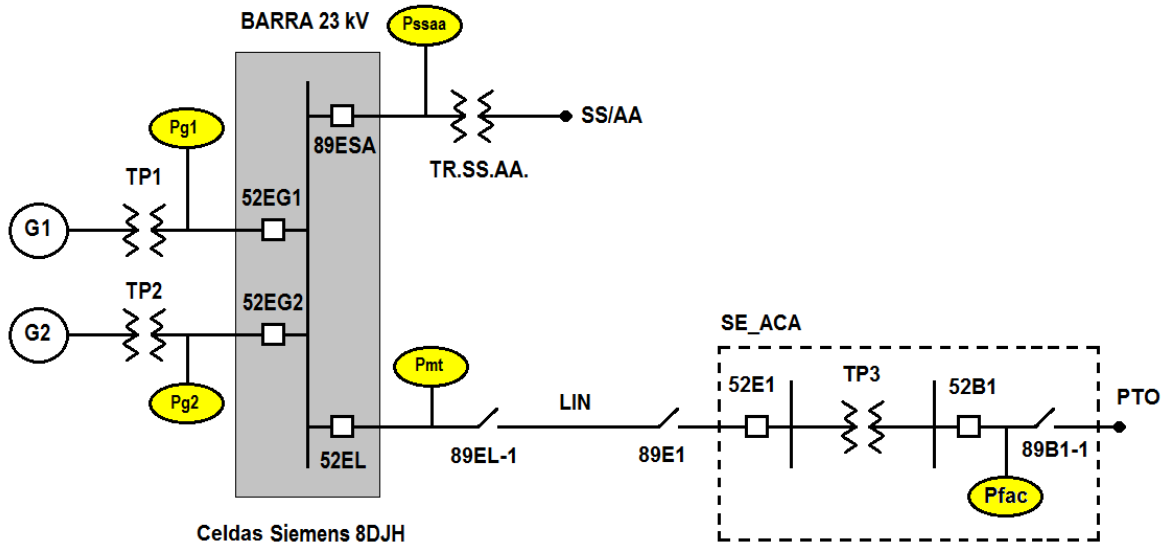


Figura 4 Esquema simplificado de la Mini Central Cipresillos

Y por su parte, los equipos de medición se identifican como:

- Pg1 Potencia activa neta Grupo 1, medida en los bushing de alta del transformador 1. Medidor Carlo Gavazzi, modelo WM40 96.
- Pg2 Potencia activa neta Grupo 2, medida en los bushing de alta del transformador 2. Medidor Carlo Gavazzi, modelo WM40 96.
- Pmt Potencia de salida de media tensión. Medidor SEL 735 (CIPESILO_023_E1_CSL)
- Pssaa Potencia en servicios auxiliares. Medidor Carlo Gavazzi, modelo WM40 96.
- Pfac Potencia activa neta, punto de facturación. Medidor SEL 735 (ALTCCHAP_066_B1_CSL).

La prueba de Potencia Máxima de las unidades N°1 y N°2 fueron realizadas los días 28 de enero y 01 de febrero de 2022 respectivamente.

Tabla 6 Fecha y horarios de prueba		
	Prueba Unidad N°1	Prueba Unidad N°2
Día	28 de enero 2022	01 de enero 2022
Hora de Estabilización	15:25	14:30
Inicio de Prueba	15:30	15:00

Fin de la Prueba	20:30	20:00
-------------------------	-------	-------

Durante la prueba de la Unidad N°1, se mantuvo la Unidad N°2 fuera de servicio, y durante la prueba de la Unidad N°2, la Unidad N°1 no operó. En ambas pruebas, las unidades operaron en carga estable dada la disponibilidad de agua para la fecha (periodo de deshielos).

El comportamiento de las unidades fue estable; las temperaturas y vibraciones de las máquinas se mantuvieron dentro de los rangos esperados durante todo el periodo de prueba.

En el Anexo 9 se encuentra los registros de medida extraídos del sistema de medidas del Coordinador Eléctrico Nacional.

A continuación presentamos el resumen de los registros obtenidos durante los ensayos:

Tabla 7 Unidades N°1 y N°2 a Plena Carga		
Potencia Activa Neta (MW)		
	Unidad N°1	Unidad N°2
Promedio	5,970	5,979
Máximo	5,975	5,983
Mínimo	5,960	5,973

Dado que estos valores incluyen las pérdidas del transformador y los consumos de los servicios auxiliares, para determinar la potencia bruta en los bornes del generador hay que sumar dichos valores.

De los protocolos de ensayos de los transformadores (Anexo 5 y 6) se tiene que las pérdidas totales a potencia nominal son 35,4 kW, con factor de potencia de las unidades igual a 1.

Respecto al consumo de los servicios auxiliares de la Central, se muestra el registro fotográfico obtenido desde el display de los medidores durante las pruebas de potencia máxima. El consumo considera el funcionamiento de ventiladores renovadores de aire para las salas donde están los transformadores debido a su característica, transformadores tipo seco (ver fotografía N°3).



Fotografía 4 Registro de consumos de servicios auxiliares para grupo 1



Fotografía 5 Registro de consumos de servicios auxiliares para grupo 2

En la tabla 8 se presenta el resumen de las mediciones. La potencia activa bruta máxima que será considerada corresponde al promedio de la potencia activa bruta registrada durante las 5 horas de medición.

Tabla 8 Resumen de medidas U1 y U2 a Plena Carga		
	Unidad N°1	Unidad N°2
Potencia Neta Máxima (MW)	5,970	5,979
Servicios Auxiliares (kW)	14,61	14,58
Pérdidas Transformador de Poder (kW)	35,4	35,4
Potencia Bruta Máxima (MW)	6,020	6,029
Potencia Bruta Máxima de ambas unidades (MW)	12,049 ⁽¹⁾	

Nota 1: corresponde a la suma de las potencia brutas máximas de ambas unidades debido a que en el momento de las pruebas no se disponía de las condiciones hidrológicas nominales de operación para operar las unidades en conjunto.

La potencia nominal de los generadores es de 6 MW por lo tanto los resultados de los ensayos confirman la capacidad de las unidades generadoras.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto en el presente informe, los parámetros de potencia máxima bruta para las unidades N°1 y N°2 de la Mini Central Cipresillos son 6,020 y 6,029 (MW) respectivamente, y para el funcionamiento en conjunto 12,049 MW.

7. ANTECEDENTES TÉCNICOS DE RESPALDO

Anexo 1	Certificado de verificación de medidores
Anexo 2	Diagrama PQ de generadores Indar
Anexo 3	Curva de eficiencia de turbinas
Anexo 4	Curva de Colina
Anexo 5	Protocolo ensayos rutina trafo1
Anexo 6	Protocolo ensayos rutina trafo 2
Anexo 7	Nota técnica Geppert; apertura de inyectores
Anexo 8	Unilineales Central Cipresillos
Anexo 9	Registros Sistema de Medida del CEN

Fin del documento