



**PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA
UNIDADES CH DIGUA**

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	1 de 32

**PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES
DE CH LOS DIGUA**

	Elabora / Modifica	Revisa	Aprueba
Nombre	Francisco Escudero	Nicolás Tamblay	Jonathan Cárdenas
Cargo	Planificador OYM	Jefe de Operaciones	Jefe de Mercado Eléctrico
Fecha	19-10-2021	20-10-2021	26-10-2021
Firma			



**PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA
UNIDADES CH DIGUA**

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	2 de 32

INDICE.


1	Introducción y Objetivos.....	4
1.1	Introducción.....	4
1.2	Objetivos.....	4
2	Descripción General de la Central Digua.....	5
3	Descripción de cada uno de los Componentes.....	6
3.1	Turbina.....	6
3.2	Descripción de las partes de la Turbina.....	6
3.2.1	Rodete Francis Operación Principal (Alta Altura).....	6
3.2.2	Rodete Francis Operación Secundaria (Baja Altura).....	6
3.2.3	Sellos de eje de la Turbina.....	7
3.2.4	Cámara Espiral (Pre- Distribuidor).....	7
3.2.5	Tapa del Distribuidor Lado Generador.....	7
3.2.6	Tapa del Distribuidor Lado Descarga.....	7
3.2.7	Distribuidor de Alabes Directrices.....	8
3.2.8	Codo de Descarga.....	8
3.2.9	Válvula Mariposa.....	8
3.2.10	Datos Técnicos.....	9
3.3	Generador.....	9
3.3.1	Sistema de Refrigeración del Generador.....	10
3.3.2	Cojinetes o Descansos.....	10
3.3.3	Conjunto Estator.....	10
3.3.4	Conjunto Rotor.....	10
3.3.5	Datos Técnicos.....	11
4	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....	12
4.1	Método del Ensayo.....	12



**PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA
UNIDADES CH DIGUA**

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	3 de 32

4.2	Instrumentación Adicional.....	14
4.3	Variables Controladas.....	16
4.3.1	Unidad 1.....	16
4.3.2	Unidad 2.....	17
4.3.3	Ajustes de los Valores Alarmas/Disparos.....	18
4.3.4	Variables Comunes.....	19
5	Resultados de los Ensayos.....	19
5.1	Condiciones Operacionales.....	19
5.2	Ensayos Realizados.....	20
6	Referencias.....	23
7	Conclusiones.....	24
8	Anexo N°1 “Datos U1 y U2 extraídos desde SCADA”.....	26
9	Anexo N°2 “Datos descargados Medidores U1 y U2”.....	26
10	Anexo N°3 “Consumos de los Servicios Auxiliares”.....	26
11	Anexo N°4 “Diagrama Colina Rodete Altura Baja y Curva Eficiencia Turbina”.....	27
12	Anexo N°5 “Diagrama Colina Rodete Altura Alta y Curva Eficiencia Turbina”.....	29
13	Anexo N°6 “Diagrama PQ del Generador y Curva Eficiencia del Generador”.....	31

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	4 de 32

1 Introducción y Objetivos.

1.1 Introducción.

Conforme a lo Establecido en el Anexo Técnico Pruebas de Potencia Máxima de Unidades Generadoras, donde se indica que se debe realizar un documento para representar e informar al Coordinador Eléctrico Nacional el valor de la Potencia máxima de la Unidades de Ch Digua, el que por ende será representativo dentro de las características técnicas y dentro de la información técnica propias de las unidades.

Es debido a lo anterior que se realiza este informe técnico con la descripción de la Unidad, los antecedentes de diseño, los antecedentes de operación y toda la información disponible que respalde el valor informado.

La Central Hidroeléctrica Digua tiene una capacidad instalada de 10,5 [MW] por cada una de las unidades, para un caudal nominal de 15 [m^3/s] por cada una de las turbinas.

La Central se ubica a los pies del Embalse Digua, la cual usa sus aguas que son exclusivamente para riego, por esto se instaló la Central a la descarga de estas aguas con el fin de aprovechar su uso en la generación eléctrica.

El Embalse Digua es alimentado a través del Canal Alimentador Digua que capta sus aguas a través de una Bocatoma construida en la rivera del Río Longaví.

1.2 Objetivos.

Entregar los antecedentes disponibles y valor final de Potencia máxima que mantienen cada una de las unidades generadoras de la Central Digua.

Dar cumplimiento a lo indicado en el Anexo Técnico Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras.


2 Descripción General de la Central Digua.

La Central Hidroeléctrica Digua, se encuentra en la Ruta L-125 S/N Lote N°17, que corresponde a la cuenca del Río Cato, ubicado entre las comunas de Retiro y Parral en la Provincia de Linares, Región del Maule. Como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación de CH Digua.

La Central está diseñada para captar un caudal máximo total de $32 [m^3/s]$, el que se capta a través de una tubería en presión de 2,8 [m] de diámetro instalada a la salida de las válvulas de seguridad existentes del Embalse Digua, conduciendo el agua hasta las turbinas de la propia Central.

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	6 de 32

3 Descripción de cada uno de los Componentes.

3.1 Turbina.

La Central Digua contiene en su interior, dos Turbinas Francis de eje horizontal prevista de acoplamiento directo y rígido a un generador sincrónico trifásico, con un sistema de regulación electrónico-digital para los alabes directrices, con válvula mariposa de seguridad a la entrada de la cámara espiral. Características generales en Tabla 1.

Características Generales de Operación Turbinas Francis Eje Horizontal		
Ítem	Descripción	Información
1.1	Unidades Instaladas :	2 Unidades
1.2	Salto Neto Hn:	71,43 [m]
1.3	Caudal Nominal Qnom:	15,00 [m ³ /s]
1.4	Caudal Máximo Qmax:	17,43 [m ³ /s]
1.5	Velocidad Rotación:	428 [rpm]

Tabla 1. Características Generales de Operación Turbinas Francis Eje Horizontal.


3.2 Descripción de las partes de la Turbina.

3.2.1 Rodete Francis Operación Principal (Alta Altura).

Fabricado en acero inoxidable forjado, del tipo DIN G-X5CrNi 13 4 (ASTM A 743CA 6NM) y maquinado completamente mediante máquina CNC en las superficies externas e internas según perfil hidráulico entregado por diseño en 3D, balanceado estáticamente, según norma ISO 1940/1 G6.3, el cual será instalado en el extremo del eje del generador. Provisto en el centro del rodete de un ojiva de acero inoxidable mecanizada según perfil hidráulico.

3.2.2 Rodete Francis Operación Secundaria (Baja Altura).

Fabricado en acero inoxidable forjado, del tipo DIN G-X5CrNi 13 4 (ASTM A 743CA 6NM) y maquinado completamente mediante máquina CNC en las superficies externas e internas según perfil hidráulico entregado por diseño en 3D, balanceado estáticamente, según norma ISO 1940/1 G6.3, el cual será instalado en el extremo del eje del generador. Provisto en el centro del rodete de un ojiva de acero inoxidable mecanizada según perfil

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	7 de 32

hidráulico. Este rodete está construido para cubrir el rango de variación de caídas de baja altura.

3.2.3 Sellos de eje de la Turbina.

El Sellos de Eje de la Turbina está construido en dos mitades, bajo el nivel de agua del canal de descarga, se incluye un sello de mantenimiento que se aplicará o hinchará mediante la inyección de aire desde un compresor de aire.

3.2.4 Cámara Espiral (Pre- Distribuidor).

Fabricado en planchas de acero al carbono tipo S355J2+N en versión soldada, con alabes fijos del ante- distribuidor con apoyos, planchas y partes para su fundación, con cámara de registros y tomas de presión. En la parte anterior aguas arriba será equipada con una brida fija y una brida móvil para permitir el desmontaje de la válvula mariposa.

3.2.5 Tapa del Distribuidor Lado Generador.

Fabricado en acero al carbono tipo S355j2+N será parte integral de la caja espiral con alojamiento de los bujes auto lubricados de los alabes directrices móviles.

La tapa está compuesta de;


- ✓ Contra anillo laberintico fijo fabricado de acero inoxidable forjado tipo DIN G-X4CrNI 13 4 (ASTM A 182 F 6NM), en correlación con el anillo laberintico móvil del rodete.
- ✓ Placa de desgaste de acero inoxidable laminado tipo DIN G-X3CrNI 13 4, en correlación con el área de trabajo de los alabes directrices.

3.2.6 Tapa del Distribuidor Lado Descarga.

Fabricado en acero al carbono del tipo S355J2+N será parte integral de la caja espiral con alojamiento de los bujes auto lubricados de los alabes directrices móviles y asiento para el codo de descarga.

La tapa está compuesta de:

- ✓ Contra anillo laberintico fijo fabricado de acero inoxidable forjado tipo DIN G-X4CrNI 13 4 (ASTM A 182 F 6NM), en correlación con el anillo laberintico móvil del rodete.

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	8 de 32

- ✓ Placa de desgaste de acero inoxidable laminado tipo DIN G-X3CrNI 13 4, en correlación con el área de trabajo de los alabes directrices.

3.2.7 Distribuidor de Alabes Directrices.

Los alabes directrices son fabricados en acero inoxidable tipo DIN G-X4CrNI 13-4, con muñones para la regulación externa a través del anillo de conjunto, además contiene bujes auto lubricados, con el propio anillo de regulación.

Incluye una serie de bujes como guía de los muñones de los alabes, fabricados en material autolubricante.

Incluye una serie de bielas de regulación en acero al carbono S275JR, para el mando de los alabes directrices móviles con bujes autolubricantes.

3.2.8 Codo de Descarga.

Fabricado de acero al carbono del tipo S275JR con los flanges o bridas de unión tanto a la tapa como al cono difusor, este último se encarga de vaciar el agua hacia el Canal de Restitución.

3.2.9 Válvula Mariposa.

Las Válvulas Mariposa DN1800 PN11, instaladas en la entrada de la cámara espiral están diseñadas para poder garantizar el cierre en condiciones de escurrimiento bajo el máximo caudal, la apertura será garantizada por un servomotor oleohidráulico alimentado por la unidad oleohidráulica de mando de la turbina mientras que el cierre será mediante un contrapeso.

Cuerpo de acero al carbono tipo S355j2G3 en ejecución soldada con asientos de los sellos de estanquidad en acero inoxidable tipo X20CR13. La lenteja de cierre es de acero al carbono tipo S355J2G3 con sellos de estanquidad en goma de neopreno NBR 80° Shore con tratamiento anti-vejez montada con pernos de acero inoxidable clase A4.

3.2.10 Datos Técnicos.

DATOS TECNICOS TURBINA		
Ítem	Descripción	Información
1.-	Turbina Francis Horizontal.	
1.1	Fabricante	ANDRITZ HYDRO - SCHIO, ITALIA
1.2	Numero de Series	
1.3	Tipo	Turbina Francis
1.4	Denominación	Turbina Francis Horizontal
1.5	Forma Constructiva	Eje Horizontal
1.6	Altura Neta	71,43 [m]
1.7	Potencia Nominal	10,5 [MW]
1.8	Caudal Nominal	15,0 [m ³ /s]
1.9	Diámetro Rodete	1540 mm
2.0	Sentido Rotación	Horario
2.1	Velocidad	428,60 [RPM]
2.2	Año de Fabricación	2019


Tabla 2. Datos Técnicos Turbina

3.3 Generador.

El Generador para la turbina es de eje horizontal del tipo PW 1600-I7D14 con función de generador caracterizado por excitación del tipo Brushless.

La línea del eje del alternador es sostenida por un cojinete del lado acoplamiento con la turbina del tipo combinado (guía y empuje) y por un cojinete del lado opuesto al acoplamiento de tipo guía ambos con baño de aceite. Posee un sistema de inyección exterior adecuado para garantizar la presión hidrostática necesaria para el desacoplamiento del rotor desde ambos descansos (jacking oil system).

El frenado del rotor es a través de un freno de disco puesto en la extremidad del lado opuesto al acoplamiento (L.O.A) del eje rotor que puede ser activado de forma automática por el sistema de control de la Maquina a partir del 25% (107 rpm) de los giros nominales del alternador, El principio de funcionamiento del freno es del tipo con presión de aceite con caliper, comandado desde la Unidad de Mando de Aceite de la turbina.

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	10 de 32

El alternador es auto-ventilado con ciclo cerrado y es enfriado con agua circulante en dos refrigerantes directamente montados sobre la caja estática e insertados en el circuito de ventilación.

3.3.1 Sistema de Refrigeración del Generador.

Consiste de dos intercambiadores de calor Aire/agua montados sobre ventadas realizadas sobre en la pared exterior de la carcasa y provistos de una caja de cierre con el fin de tener un sistema cerrado. El aire de refrigeración circula por dos ventiladores axiales fijados sobre ambos lados de la corona retórica, estos pasan por la caja interpolar a través de las bobinas del rotor y finalmente atraviesan el estator por los canales de ventilación.

3.3.2 Cojinetes o Descansos.

El generador cuenta con dos cojinetes idóneos para soportar el peso del rotor y además permitir el giro del mismo, un cojinete en lado de acoplamiento (L.A.) del tipo combinado de guía y empuje lubricado con aceite y un cojinete del lado opuesto al acoplamiento (L.O.A) de soporte de guía, cuentan con una lubricación autónoma por baño de aceite tipo iso vg 48.

3.3.3 Conjunto Estator.

La caja del estator está hecho de acero al carbono de ejecución soldada y el paquete magnético fabricado de bobinas de cobre aislado en impregnado al vacío (VPIS – Vacuum Pressure Impregnation System).

3.3.4 Conjunto Rotor.


El rotor contiene un eje el cual se encuentra adaptado para el montaje del rodete de la turbina y el montaje del dispositivo centrífugo se encuentra en el lado posterior del mismo eje. (Lado opuesto a la turbina), construido con paquete magnético con bobinas de cobre y aislamiento impregnado al vacío VPIS.

3.3.5 Datos Técnicos.

Los datos técnicos del generador se identifican en la Tabla 3.

DATOS TECNICOS GENERADOR		
Ítem	Descripción	Información
1.-	Generador Síncrono Trifásico.	
1.1	Fabricante	SIEMENS-GAMESA
1.2	Numero de Series	61012371 / 61012372
1.3	Tipo	PW 1600-I7D14
1.4	Denominación	Generador síncrono trifásico
1.5	Forma Constructiva	Eje Horizontal
1.6	Temperatura ambiente admisible	40 °C.
1.7	Grado de Protección	IP 44
1.8	Refrigeración	IC81W
1.9	Conexión Estator	Estrella
1.10	Servicio	S1
1.11	Sentido de Giro	Sentido horario
1.12	Números de Polos	14
1.13	Potencia Nominal	12500 [kVA]
1.14	Tensión	6600 V (+/- 5%)
1.15	Conexión	Estrella
1.16	Corriente al 100% de la carga (A)	1093.5 (A)
1.17	Frecuencia	50 Hz
1.18	Cos	0,9
1.19	Torque Nominal	250.65 [kNm]
1.20	Tipo de Rotor	Polos Salientes
1.21	Velocidad Nominal	428,60 [RPM]
1.22	Velocidad de Embalamiento	920 [RPM]
1.23	Aislamiento	Clase F
1.24	Calentamiento	Clase B
1.25	Excitaciones	Brushless
1.26	Tipo	ECBR-53100-94-16
1.27	Vecc. (V)	83
1.28	lecc. (A)	750

Tabla 3. Datos Técnicos Generador

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	12 de 32

4 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.

4.1 Método del Ensayo.

La metodología empleada para la realización de los ensayos descritos en el presente informe, se basan en la información disponible en Anexo Técnico “Pruebas de Potencia Máxima de Unidades Generadoras” de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. (NTSyCS).

Previo a la realización de las pruebas de potencia máxima, las unidades entran en servicio el sábado 25 de septiembre, generando los primeros tres días una potencia promedio de 5,819 [MW] para la Unidad 1 y de 4,622 [MW] para la Unidad 2, estos registros de potencias se desarrollaron con el caudal disponible en ese momento de 33,0 [m^3/s] y una cota del Embalse Digua de 408,65 [m.s.n.m.].

En conjunto para la ejecución de la prueba de potencia máxima se ha realizado lo siguiente:

Para la medición de la altura bruta se ha instalado un sensor de nivel al interior del Embalse y se ha referenciado la medición con la cota disponible del proyecto, a su vez, también se considera referenciada la altura de nivel y volumen del embalse según monolitos existentes por la curva de llenado del Embalse Digua, esta información fue entregada por la Administración del Embalse. Hacia el lado de la descarga, se ha instalado un sensor de Nivel en el Canal de restitución o de devolución de la Central Digua, también se ha referenciado con la cota de proyecto, por la tanto, la diferencia entre ambas mediciones otorga el valor de Altura Bruta.

Se ha instalado un sensor para la medición de caudal directa en la tubería en presión para cada unidad, este valor se ha contrastado con la medición de caudal en la estación de aforo que existe aguas abajo de la Central, a través de su medición indirecta por medición de nivel y su respectiva curva de gasto, esta curva de gasto fue proporcionada por la Administración del Embalse, dado que la estación de aforo es parte de las instalaciones del Embalse Digua.

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	13 de 32

Además, se han obtenido los valores de las variables medidas, las cuales han sido contrastadas con los valores de ajustes de Alarma y/o Disparo de cada una de ellas; donde estas fueron definidas y recomendadas por el fabricante de cada equipo. Por lo tanto, cada una de estas variables no debe sobrepasar el valor indicado durante los tiempos de comprobación realizados, se muestra que estas variables se encuentran muy por debajo de los valores recomendados por el fabricante según se indica en su manual técnico, ver capítulo de Referencias.

Se han realizado recorridos alrededor del conjunto generador turbina durante el funcionamiento de las unidades a bajas potencias de manera de inspeccionar visualmente y detectar cualquier alteración que pudiese provocar algún mal funcionamiento de las unidades. Véase Figura 2, donde se identifican los instrumentos de medición de nivel.



Figura 2. Imagen Satelital con indicación de los puntos donde se instalaron los instrumentos de Nivel y de Caudal.

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	14 de 32

4.2 Instrumentación Adicional.

Sensores de Nivel.

La determinación de los niveles fue realizada a través de los sensores de presión integrados TD-DIVER DI801 y Baro Driver DI800, de la marca Van Essen Instruments. La altura de la columna de agua situada por encima del sensor se determina en función de un diferencial de presiones, esto es entre la presión absoluta y la presión barométrica.

Las sondas miden la presión absoluta, lo que significa que el sensor de presión no solo mide la presión del agua, sino que también la presión que el aire ejerce sobre la superficie. Si la presión del aire varía, la presión medida también variará, pero no así el nivel del agua.

En la figura 3, se muestra las características técnicas de las sondas de nivel.

Característica	DI801 (TD)	DI800 (Baro)	Unidad
Rango de medición	10	1,5	m H ₂ O
Precisión (típica)	± 0,5	± 0,5	cm H ₂ O
Presión de sobrecarga	15	15	m H ₂ O



Figura 3. Características técnicas de las sondas de nivel.

Medición de Caudal.

La determinación del caudal fue realizada con sensor flujómetro ultrasónico, TUF-2000H, el cual está diseñado para medir la velocidad de un líquido en un conducto cerrado, mediante el principio de tiempo en tránsito.

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	15 de 32

Para el tiempo en tránsito el flujómetro utiliza dos transductores que funcionan como transmisores y receptores. Los transductores pueden ser montados en el método en V donde el sonido pasa dos veces por la tubería, o el método W donde el sonido pasa cuatro veces por la tubería, o en el método Z donde los sensores son montados en lados opuestos de la tubería y el sonido cruzará la tubería una vez. Esta selección del método del montaje depende de las características de la tubería donde se instalan los sensores y del líquido al cual se quiere medir el caudal.

El flujómetro funciona por la transmisión y recepción de una onda sonora entre dos transductores y la medición del tiempo que toma viajar entre ellos. La diferencia en el tiempo de tránsito medido es directa y exacta en la relación con la velocidad del líquido en la tubería.

En la Figura 4, siguiente se muestra las características técnicas del Medidor de Caudal.

Característica	Valor
Precisión	$\pm 1\%$
Velocidad	$\pm 32\text{ m/s}$
Tamaño tubería	15 mm - 6000 mm



Figura 4. Características técnicas del Medidor de Caudal

4.3 Variables Controladas.

Dentro de las variables incluidas en el Sistema de Adquisición de datos SCADA, para la ejecución de la comprobación de la Potencia Máxima de ambas unidades se consideraron los registros de las siguientes variables.

4.3.1 Unidad 1.

VARIABLES UNIDAD 1		
Ítem	Variable de Proceso	Descripción del Tag
1	6.1.CF101.CE301.ZQ01 [MW]	Potencia Activa MW Total Unidad
2	6.1.CF101.CE302.ZQ01 [MVAR]	Potencia Reactiva MVAR Total Unidad
3	6.1.CF101.CE111.XQ01	Corriente generador Promedio
4	6.1.CF101.CE211.XQ01	Tensión del generador kV
5	6.1.MKD10.CY001.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso
6	6.1.MKD10.CY002.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso
7	6.1.MKD10.CY003.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración axial descanso
8	6.1.MKD20.CY001.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso (L.O.A)
9	6.1.MKD20.CY002.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso (L.O.A)
10	6.1.MKA20.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador U01
11	6.1.MKA20.CT002.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador U02
12	6.1.MKA20.CT003.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador V01
13	6.1.MKA20.CT004.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador V02
14	6.1.MKA20.CT005.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador W01
15	6.1.MKA20.CT006.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador W02
16	6.1.MKA20.CT007.XQ01 [°C]	Temperatura hierro estator generador U
17	6.1.MKA20.CT008.XQ01 [°C]	Temperatura hierro estator generador V
18	6.1.MKA20.CT009.XQ01 [°C]	Temperatura hierro estator generador W
19	6.1.MKD30.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.A TB1
20	6.1.MKD30.CT002.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.A TB2
21	6.1.MKD30.CT003.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.A TB3
22	6.1.MKD30.CT004.XQ01 [°C]	Temperatura Aceite del Cojinete L.A TB4
23	6.1.MKD20.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.O.A TB1
24	6.1.MKD20.CT002.XQ01 [°C]	Temperatura aceite del Cojinete L.O.A TB3
25	6.1.MKA81.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura intercambiador salida aire caliente H01
26	6.1.MKA82.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura intercambiador entrada aire frío H02

Tabla 4. Variables Unidad 1.

4.3.2 Unidad 2.

VARIABLES UNIDAD 2		
Ítem	Variable de Proceso	Descripción del Tag
1	6.2.CF101.CE301.ZQ01 [MW]	Potencia Activa MW Total Unidad
2	6.2.CF101.CE302.ZQ01 [MVAR]	Potencia Reactiva MVAR Total Unidad
3	6.2.CF101.CE1111.XQ01	Corriente generador Promedio
4	6.2.CF101.CE211.XQ01	Tensión del generador kV
5	6.2.MKD10.CY001.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso
6	6.2.MKD10.CY002.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso
7	6.2.MKD10.CY003.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración axial descanso
8	6.2.MKD20.CY001.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso (L.O.A)
9	6.2.MKD20.CY002.XQ01 [mm/s]	Sonda de vibración radial descanso (L.O.A)
10	6.2.MKA20.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador U01
11	6.2.MKA20.CT002.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador U02
12	6.2.MKA20.CT003.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador V01
13	6.2.MKA20.CT004.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador V02
14	6.2.MKA20.CT005.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador W01
15	6.2.MKA20.CT006.XQ01 [°C]	Temperatura cobre estator generador W02
16	6.2.MKA20.CT007.XQ01 [°C]	Temperatura hierro estator generador U
17	6.2.MKA20.CT008.XQ01 [°C]	Temperatura hierro estator generador V
18	6.2.MKA20.CT009.XQ01 [°C]	Temperatura hierro estator generador W
19	6.2.MKD30.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.A TB1
20	6.2.MKD30.CT002.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.A TB2
21	6.2.MKD30.CT003.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.A TB3
22	6.2.MKD30.CT004.XQ01 [°C]	Temperatura Aceite del Cojinete L.A TB4
23	6.2.MKD20.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura Cojinete L.O.A TB1
24	6.2.MKD20.CT002.XQ01 [°C]	Temperatura aceite del Cojinete L.O.A TB3
25	6.2.MKA81.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura intercambiador salida aire caliente H01
26	6.2.MKA82.CT001.XQ01 [°C]	Temperatura intercambiador entrada aire frío H02


Tabla 5. Variables Unidad 2.

4.3.3 Ajustes de los Valores Alarmas/Disparos.

Los Valores de Ajustes del Generador son los siguientes;

Generador Tipo	PW 1600 - I7D14
N° de Serie	Unidad 1 y Unidad 2
1.-	Termorresistencias Tipo Pt-100 En núcleo del Estator
Alarma	140°C
Disparo	145°C
2.-	Termorresistencias Tipo Pt-100 En Descansos.
Alarma	80°C
Disparo	90°C
3.-	Termorresistencias Tipo Pt-100 Aceite Descansos.
Alarma	70°C
Disparo	80°C
4.-	Termorresistencias Tipo Pt-100 Salida Aire Frio .
Alarma	62°C
Disparo	65°C
5.-	Termorresistencias Tipo Pt-100 Entrada Aire Caliente.
Alarma	65°C
Disparo	75°C
6.-	Sensores de Vibración de los Descansos o Cojinetes
Alarma	< a 2,5 mm/s
Disparo	< a 4,0 mm/s tiempo 5 seg
7.-	Termorresistencias Tipo Pt-100 hierro estator generador
Alarma	140°C
Disparo	145°C
7.-	Termorresistencias Tipo Pt-100 Unidad de Lubricación
Alarma	45°C
Disparo	50°C

Tabla 6. Ajustes Valores Alarmas/Disparos

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	19 de 32

4.3.4 Variables Comunes.

VARIABLES COMUNES		
Ítem	Variable de Proceso	Descripción del Tag
1	6.0.CE120.CE301.ZQ01	Potencia Activa SSAA kW
2	6.0.CE120.CE302.ZQ01	Potencia Reactiva SSAA kVAR
3	6.0.CE120.CE211.ZQ01	Voltaje Promedio SSAA
4	6.0.CE120.CE111.ZQ01	Corriente Promedio SSAA
5	6.0.CE120.CE401.ZQ01	Factor de Potencia SSAA
6	6.0.CE120.CE501.ZQ01	Frecuencia de Potencia SSAA

Tabla 7. Variables Comunes.

5 Resultados de los Ensayos.

5.1 Condiciones Operacionales.

El día 25 de septiembre el embalse Digua alcanzo su cota máxima de 408,75 [m.s.n.m.], correspondiente a un volumen de 225,020 [MMm³]. Desde el punto de vista operacional la Ch Digua al momento de realizar la prueba de potencia máxima disponía de todas las condiciones necesarias para alcanzar su máxima potencia eléctrica.

A continuación, se detallan las condiciones para la realización de las Pruebas.

- Ambas unidades se encontraban con el rodete de alta altura instalado.
- Al día 28 de septiembre para el inicio de las pruebas el embalse disponía una altura bruta medida de 74,12 [m] y un caudal disponible para cada unidad de 16,62 [m³/s].
- El comportamiento de las unidades fue estable durante todo el periodo de prueba, no se apreciaron ruidos de cavitación durante las zonas normales de operación.
- Las temperaturas, vibraciones y variables significativas de las máquinas se mantuvieron dentro de los rangos permitidos de operación sin generar una condición de alarma.

Debido a lo anterior las unidades pueden operar en conjunto y por separadas bajo las condiciones impuestas durante las pruebas de potencia máxima.

CH DIGUA									
PRUEBA DE POTENCIA MAXIMA [MW]									
Condición Operacional	Temperatura 1 devanado estator fase U	Temperatura 1 devanado estator fase V	Temperatura 1 devanado estator fase W	Temperatura 1 paquete estator	Temperatura patin radial cojinete L.O.A.	Temperatura aceite cojinete L.O.A.	Temperatura patin radial cojinete L.A.	Temperatura 1 patin axial cojinete L.A.	Temperatura aceite cojinete L.A.
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Unidad 1	85,59	89,18	85,75	63,24	42,60	39,11	46,84	42,66	41,58
Unidad 2	89,54	96,79	95,35	63,24	45,73	41,81	47,26	45,90	44,27
Ambas Unidades (U1)	82,51	85,72	82,83	61,98	43,78	40,07	46,06	48,19	42,80
Ambas Unidades (U2)	82,19	88,94	87,03	66,48	44,02	40,05	45,63	43,67	42,52

Tabla 8. Temperaturas Generadores.

5.2 Ensayos Realizados.

Se realiza el registro de datos para las condiciones de pruebas de potencia máxima según lo siguiente;

- Unidad U1 ensayada el 29 de septiembre del 2021 a las 06:00 [hrs] hasta las 11:00 [hrs] del 29 de septiembre. Unidad 2 se encontraba fuera de servicio en el periodo de la prueba de la U1.
- Unidad U2 ensayada el 28 de septiembre del 2021 a las 13:30 [hrs] hasta las 18:30 [hrs] del 28 de septiembre. Unidad 1 se encontraba fuera de servicio en el periodo de la prueba de la U2.
- Ambas Unidades ensayada el 29 de septiembre del 2021 a las 16:15 [hrs] hasta las 21:15 [hrs] .
- Se instala medidores de caudal externo en la tubería en presión para medir el caudal que se encuentra pasando por las máquinas, durante las distintas pruebas.
- Se instala medidores de nivel en el canal de descarga de la Central más medidor de nivel en el Embalse para medir la altura de agua existente.



**PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA
UNIDADES CH DIGUA**

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	21 de 32

En el Anexo N°1 “Datos U1 y U2 extraídos desde SCADA”, se encuentra todos los datos extraídos desde el SCADA. También se incluye los datos de caudales y niveles que se instalaron externamente.

En las tablas 9, 10 y 11, se entrega un resumen de las variables eléctricas obtenidas durante los ensayos.

CH DIGUA UNIDAD 1 (Unidad 2 fuera de servicio)																
Mínimo Técnico Potencia [MW]																
Descripción	kWh del int	kVARh del int	kWh rec int	kVARh rec int	VII ab mean [V]	VII bc mean [V]	VII ca mean [V]	I a mean [A]	I b mean [A]	I c mean [A]	VII avg mean [V]	I avg mean [V]	Factor de Potencia PF Mean [-]	Freq Mean [Hz]	Potencia Activa [W]	Potencia Reactiva [VAR]
Suma	60.344,64	38,59	-	295,39												
Promedio	2.873,55	1,84	-	14,07	6.679,98	6.664,09	6.661,86	986,23	1.004,20	995,41	6.668,65	995,28	0,9994	50,04	11.494,17	7,25
Máximo	2.874,33	3,69	-	23,76	6.752,60	6.742,46	6.728,85	994,23	1.012,63	1.000,65	6.741,30	1.002,04	0,9996	50,13	11.496,23	10,25
Mínimo	2.872,89	0,37	-	5,02	6.635,87	6.616,79	6.620,72	973,28	990,57	990,07	6.624,46	984,64	0,9991	49,96	11.492,87	4,29

Potencia Indicada por Medidor Durante el 11,494 MW

Nota: Los Pulsos del Medidor se encuentran cada 15 minutos, según normativa.

Tabla 9. Variables Eléctricas U1.

CH DIGUA UNIDAD 2 (Unidad 1 Fuera de servicio)																
Potencia Máxima [MW]																
Descripción	kWh del int	kVARh del int	kWh rec int	kVARh rec int	VII ab mean [V]	VII bc mean [V]	VII ca mean [V]	I a mean [A]	I b mean [A]	I c mean [A]	VII avg mean [V]	I avg mean [V]	Factor de Potencia PF Mean [-]	Freq Mean [Hz]	Potencia Activa [W]	Potencia Reactiva [VAR]
Suma	60.458,36	-	-	9.733,77												
Promedio	2.878,97	-	-	463,51	6.675,64	6.660,32	6.654,47	1.000,58	1.018,94	1.013,36	6.663,48	1.010,96	0,9871	50,04	11.515,04	-
Máximo	2.883,81	-	-	588,44	6.704,35	6.690,66	6.682,04	1.003,68	1.022,56	1.017,98	6.692,35	1.014,74	0,9913	50,14	11.521,84	-
Mínimo	2.877,55	-	-	381,81	6.665,12	6.647,33	6.644,46	998,29	1.016,55	1.009,46	6.652,30	1.008,15	0,9797	49,94	11.512,47	-

Potencia Indicada por Medidor Durante el 11,515 MW

Nota: Los Pulsos del Medidor se encuentran cada 15 minutos, según normativa.

Tabla 10. Variables Eléctricas Unidad 2.

CH DIGUA UNIDAD 1 - UNIDAD 2 EN OPERACIÓN A PLENA CARGA																	
Potencia Máxima [MW]																	
Descripción	kWh del int	kVARh del int	kWh rec int	kVARh rec int	VII ab mean [V]	VII bc mean [V]	VII ca mean [V]	I a mean [A]	I b mean [A]	I c mean [A]	VII avg mean [V]	I avg mean [V]	Factor de Potencia PF Mean [-]	Freq Mean [Hz]	Potencia Activa [W]	Potencia Reactiva [VAR]	
UNIDAD 1	Suma	58.035,21	27,50	-	347,49												
	Promedio	2.763,58	1,31	-	16,55	6.707,29	6.695,16	6.692,28	945,38	960,07	953,23	6.698,25	952,89	0,9995	50,00	11.054,33	5,48
	Máximo	2.764,92	3,68	-	27,50	6.724,68	6.715,34	6.707,27	948,51	963,32	955,62	6.715,56	955,10	0,9998	50,06	11.058,33	9,82
	Mínimo	2.762,45	-	-	4,15	6.690,26	6.675,97	6.677,31	941,79	956,17	950,71	6.681,18	950,51	0,9991	49,87	11.050,88	2,10
UNIDAD 2	Suma	58.314,30	211,32	-	1.930,70												
	Promedio	2.776,87	10,06	-	91,94	6.709,47	6.693,94	6.695,30	950,81	965,66	958,58	6.699,57	958,35	0,9963	50,00	11.107,89	28,46
	Máximo	2.778,08	84,13	-	234,77	6.726,60	6.713,90	6.710,08	953,37	968,19	960,95	6.716,64	960,09	0,9998	50,06	11.110,70	108,25
	Mínimo	2.775,25	-	-	-	6.692,34	6.674,66	6.680,22	949,18	962,59	955,06	6.682,41	957,25	0,9833	49,87	11.105,19	-

Potencia Indicada por Medidor Unidad 1	11,054	MW
Potencia Indicada por Medidor Unidad 2	11,108	MW

Nota: Los Pulsos del Medidor se encuentran cada 15 minutos, según normativa.

Tabla 11. Variables Eléctricas Ambas Unidades en Operación.

En relación al consumo de los servicios auxiliares de la Central, se muestra en la tabla siguiente a los distintos tipos de ensayos que se realizaron durante las pruebas de potencia máxima de la Central. Los cuales se muestran más detallados en el Anexo N°3 “Consumos de los Servicios Auxiliares”. A continuación, la Tabla 12, nos muestra los consumos de los Servicios Auxiliares.

CONSUMOS SERVICIOS AUXILIARES (SSAA) SEGÚN CONDICIÓN OPERACIONAL.


Potencia Consumida	Prueba Unidad 1	Prueba Unidad 2	Prueba Central Completa
Potencia Activa (kW) Promedio	27,051	25,286	30,830
Potencia Activa (kW) Máximo	32,020	32,050	39,350
Potencia Activa (KW) Mínimo	21,840	22,290	28,110

Tabla 12. Consumo Servicios Auxiliares.

Adicionalmente en el Anexo N°1 “Datos U1 y U2 extraídos desde SCADA”, se encuentran los datos referidos a las variables mecánicas e hidráulicas de los ensayos realizados a ambas unidades, donde se puede apreciar que la variación de nivel de espejo del embalse no excede $\pm 1\%$. Resumen de los resultados se muestran en la Tabla 13.


CH DIGUA									
PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA [MW]									
Condición Operacional	Caudal	Posición Distribuidor	Presión Tubería	Presión Caja Espiral	Altura Bruta	Cota Embalse			Cota Nivel de Descarga
	m3/s	%	bar	bar	mts	Promedio m.s.n.m	Máximo m.s.n.m	Mínimo m.s.n.m	m.s.n.m
Unidad 1	16,46	67,73	7,66	7,57	79,345	370,169	370,179	370,162	290,824
Unidad 2	15,51	67,00	7,69	7,70	79,295	370,200	370,219	370,188	290,905
Ambas Unidades (U1)	34,48	71,00	7,40	7,31	78,491	370,205	370,221	370,186	291,714
Ambas Unidades (U2)		71,00	7,39	7,39					

Tabla 13. Variables Mecánicas / Hidráulicas.

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	23 de 32

6 Referencias.

- 9183104_A Manual de Operación y Mantenimiento Automatización y SCADA.
- GD360014-en Datasheet PW 1600-I7D14 Digua.
- Datos Obtenidos Directamente desde Sistema de Automatización SCADA modelos SCALA 250 de ANDRITZ Hydro.
- Anexo N°1; Datos Unidad 1 y Unidad 2 extraídos desde equipo SCADA de Ch Digua.
- Anexo N°2, Datos obtenidos desde Medidores ION 9200 de cada Unidad.
- Anexo N°3 “Consumos de Servicios Auxiliares”
- Anexo N°4 “Diagrama Colina Rodete Altura Alta”
- Anexo N°5 “Diagrama PQ del Generador”

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	24 de 32

7 Conclusiones.


Las condiciones hídricas del nivel del embalse, permitieron que las unidades generaran su máxima potencia durante el período de 5 [hrs] que es el tiempo requerido para las pruebas de Potencia Máxima de acuerdo al Anexo Técnico Pruebas de Potencia Máxima de Unidades Generadoras.

En el ensayo de la U1 se utilizó un caudal promedio de 16,46 [m^3/s] con una altura neta de 67,69 [m], y para el ensayo de la U2 el caudal promedio fue de 15,05 [m^3/s] con una altura neta de 67,63 [m], de esta forma la U1 el 29 de septiembre a las 10:15 [hrs] alcanza una potencia máxima de 11,494 [MW], y la U2 el 28 de septiembre a las 13:30 [hrs] alcanza una potencia máxima de 11,515 [MW], para el ensayo de ambas unidades en paralelo el día 29 de septiembre a las 16:45 [hrs] alcanzan su máxima potencia, obteniendo un total de 22,162 [MW] para la central Digua, con un caudal promedio de 34,48 [m^3/s], en el Anexo N°2 “Datos descargados Medidores U1 y U2” se pueden observar las variables registradas.

Los resultados de potencia máxima de cada una de las unidades sometidas a ensayos arrojaron una potencia promedio para cada condición de servicio explicada en este informe, las diferentes potencias obtenidas para cada unidad con rodete de alta altura instalado, se indican en la tabla 14.

Descripción del Ensayo	Valor Promedio (MW)	Valor Máximo (MW)	Valor Mínimo (MW)
Potencia Bruta U1	11,494	11,497	11,493
Potencia Bruta U2	11,515	11,518	11,512
Potencia Bruta U1 (ambas a plena carga)	11,054	11,058	11,051
Potencia Bruta U2 (ambas a plena carga)	11,108	11,111	11,105

Tabla 14. Resultados de Potencia Máxima.

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	25 de 32

Adicionalmente en la Tabla 15. Muestra la potencia máxima bruta obtenida según ecuación (1).


Central/Unidad	Potencia Máxima Bruta [MW]	SS/AA [MW]	Pérdidas en la Central [MW]	Potencia Máxima Neta [MW]
HE Digua U1	11,6136	0,0271	0,0896	11,4970
HE Digua U2	12,2139	0,0253	0,6708	11,5178
HE Digua	22,3787	0,0308	0,1788	22,1690

Tabla 15. Resultados de Potencia Máxima Bruta.

$$Potencia\ Máx.\ Bruta = Potencia\ Máx.\ Neta + SSAA + Pérdidas\ en\ la\ central \quad (1)$$

Modificación Nº	Modificación Página (s)	Descripción de la Modificación	Fecha

Tabla 16. Comentarios sobre modificaciones.

	PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA UNIDADES CH DIGUA	Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
		Revisión	1
		Fecha	19/10/2021
		Páginas	26 de 32

8 Anexo N°1 “Datos U1 y U2 extraídos desde SCADA”.

Los datos se adjuntan al presente documento.

9 Anexo N°2 “Datos descargados Medidores U1 y U2”.

Los datos se adjuntan al presente documento.

10 Anexo N°3 “Consumos de los Servicios Auxiliares”.

Los datos se adjuntan al presente documento.

11 Anexo N°4 “Diagrama Colina Rodete Altura Baja y Curva Eficiencia Turbina”

Digua (Low Head Runner)
Expected Prototype Hillchart

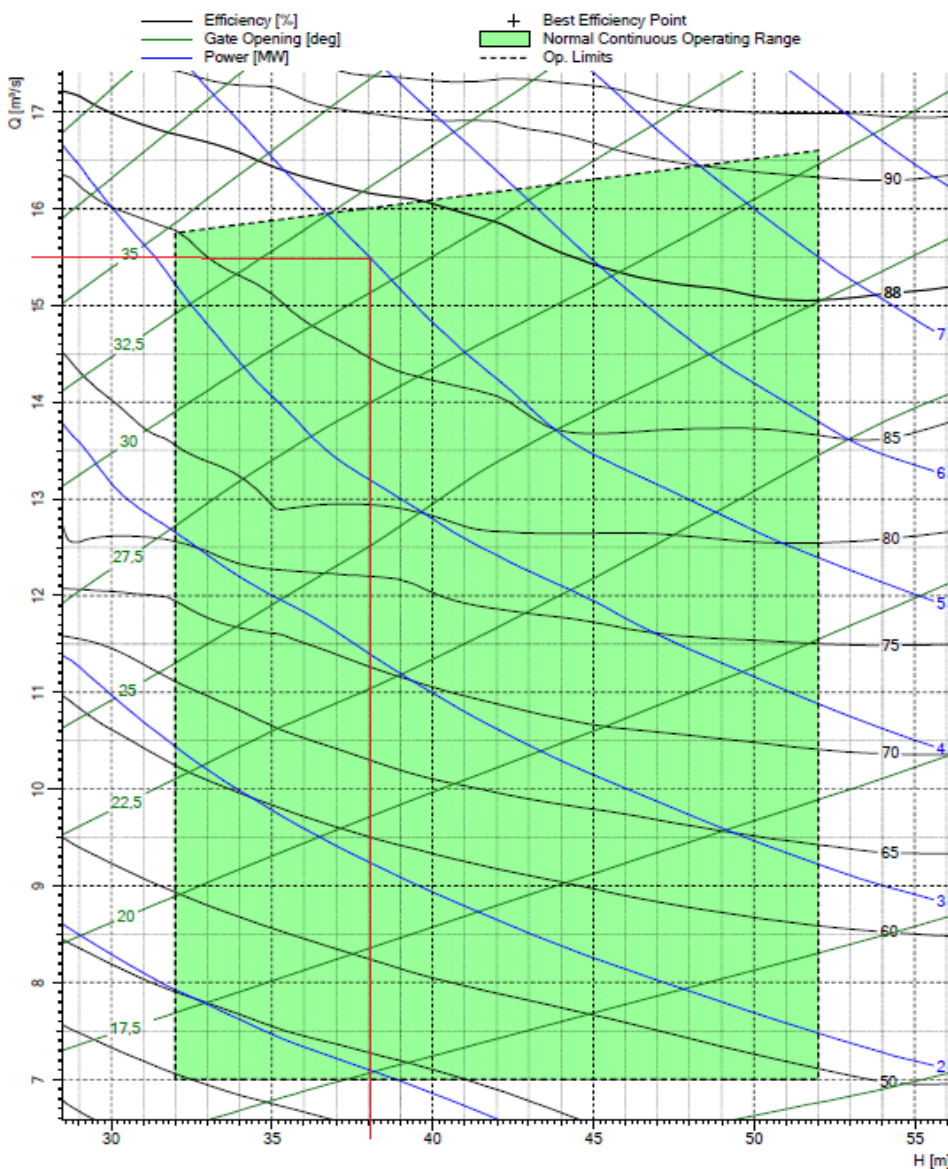


Figura 5. Diagrama Colina Rodete Altura Baja.

Curva de Eficiencia Entregada por el Fabricante

ALTURA NETA Hn (m)	POTENCIA P (MW)	CAUDAL Q (m ³ /s)	RENDIMIENTO η (%)
11= 107,39 m.	12,96	13,20	93,29
Altura neta con una unidad en operación, condición en la cual se realizarán las pruebas de rendimiento.	12,46	12,65	93,62
	11,98	12,11	93,97
	11,46	11,56	94,33
	10,87	10,98	94,14
	10,20	10,35	93,73
	9,53	9,72	93,15
	9,27	9,50	92,86
	8,77	9,05	92,13
	7,22	7,65	89,75
	7,05	7,50	89,30
	5,29	6,13	82,07
	3,99	5,00	75,98
	3,70	4,74	74,22
	2,27	3,37	63,97
	0,83	2,17	36,34
-	-	-	
Apertura en vacío	1,38	-	

Figura 6. Curva de Eficiencia.

12 Anexo N°5 “Diagrama Colina Rodete Altura Alta y Curva Eficiencia Turbina”

Digua (Main Runner)
Expected Prototype Hillchart

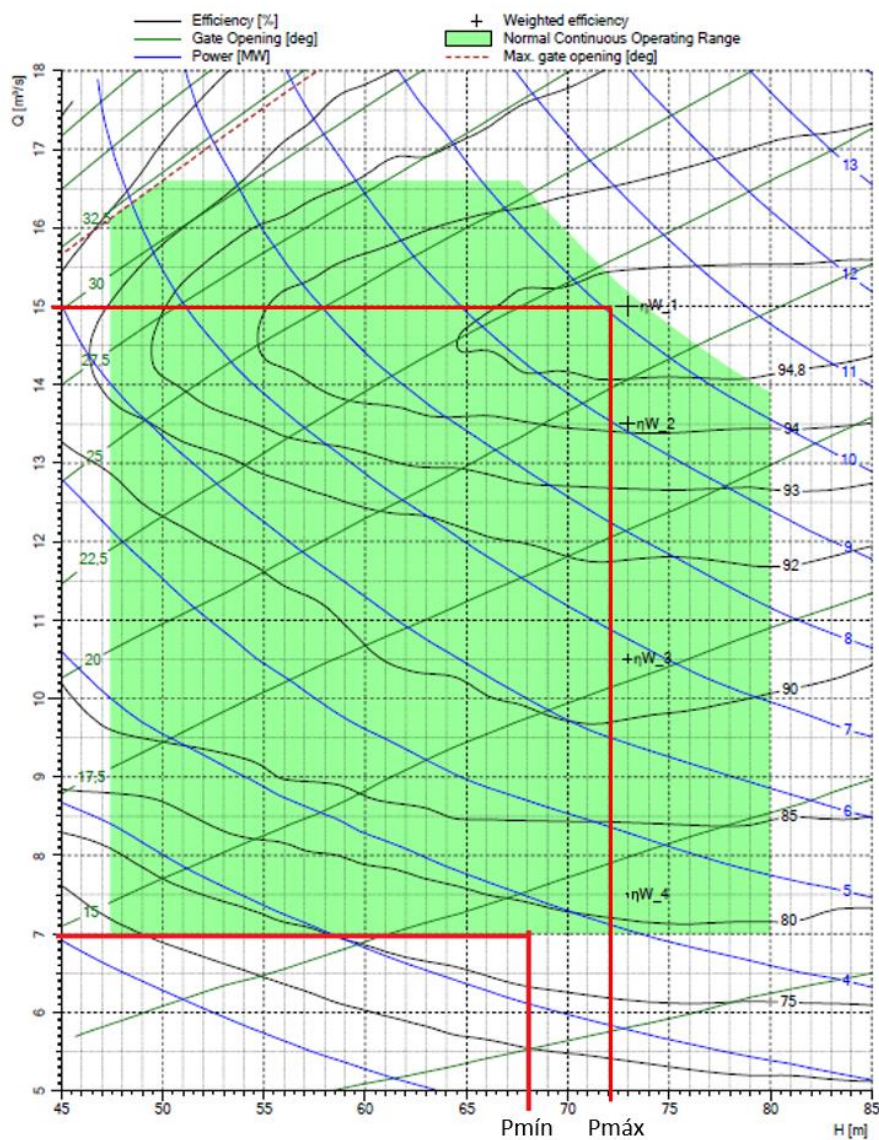


Figura 7. Diagrama Colina Rodete Altura Alta.

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	30 de 32

ALTURA NETA Hn (m)	POTENCIA P (MW)	CAUDAL Q (m3/s)	RENDIMIENTO η (%)
-11= 107,39 m.	12,96	13,20	93,29
Altura neta con una unidad en operación, condición en la cual se realizarán las pruebas de rendimiento.	12,46	12,65	93,62
	11,98	12,11	93,97
	11,46	11,56	94,33
	10,87	10,98	94,14
	10,20	10,35	93,73
	9,53	9,72	93,15
	9,27	9,50	92,86
	8,77	9,05	92,13
	7,22	7,65	89,75
	7,05	7,50	89,30
	5,29	6,13	82,07
	3,99	5,00	75,98
	3,70	4,74	74,22
	2,27	3,37	63,97
	0,83	2,17	36,34
-	-	-	
Apertura en vacío	1,38	-	

Figura 8. Curva Eficiencia Turbina.



**PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA
UNIDADES CH DIGUA**

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	31 de 32

13 Anexo N°6 “Diagrama PQ del Generador y Curva Eficiencia del Generador”

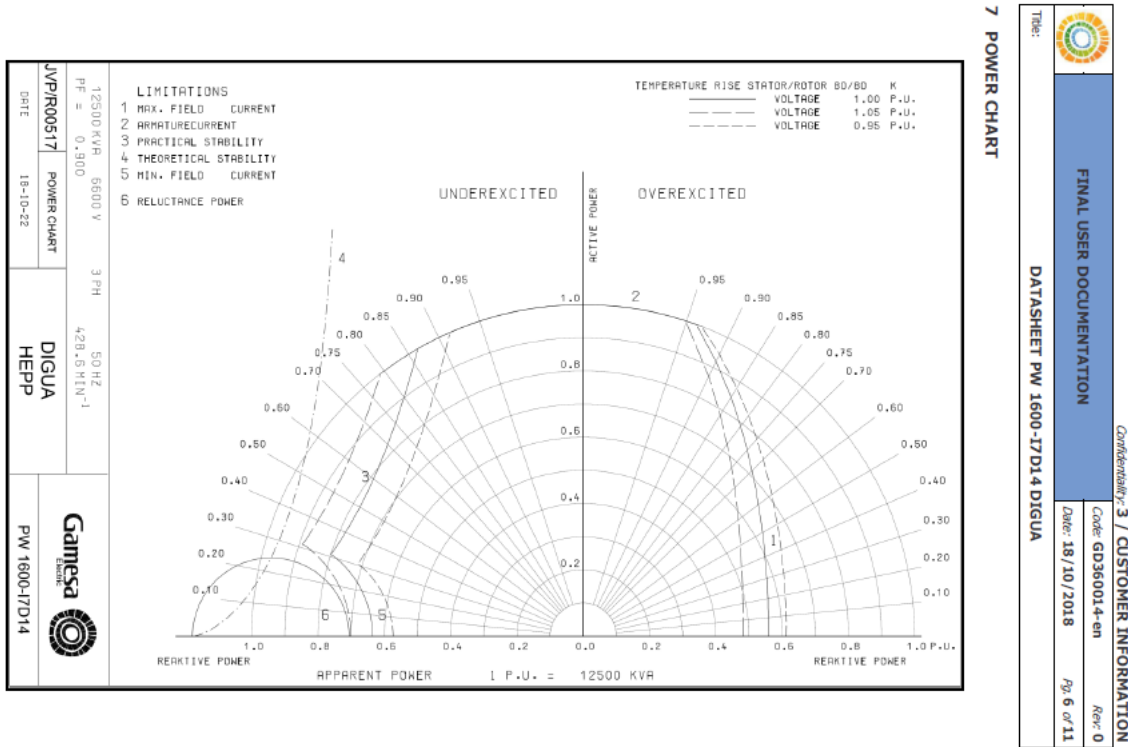



Figura 9. Diagrama PQ del Generador.



**PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA
UNIDADES CH DIGUA**

Código	831-OP-BSER-INFT-002-1
Revisión	1
Fecha	19/10/2021
Páginas	32 de 32

Confidentiality: 3 / CUSTOMER INFORMATION

	FINAL USER DOCUMENTATION	Code: GD360014-en	Rev: 0
		Date: 18/10/2018	Fig. 7 of 11
Title: DATASHEET PW 1600-17D14 DIGUA			

8 EFFICIENCY CURVES

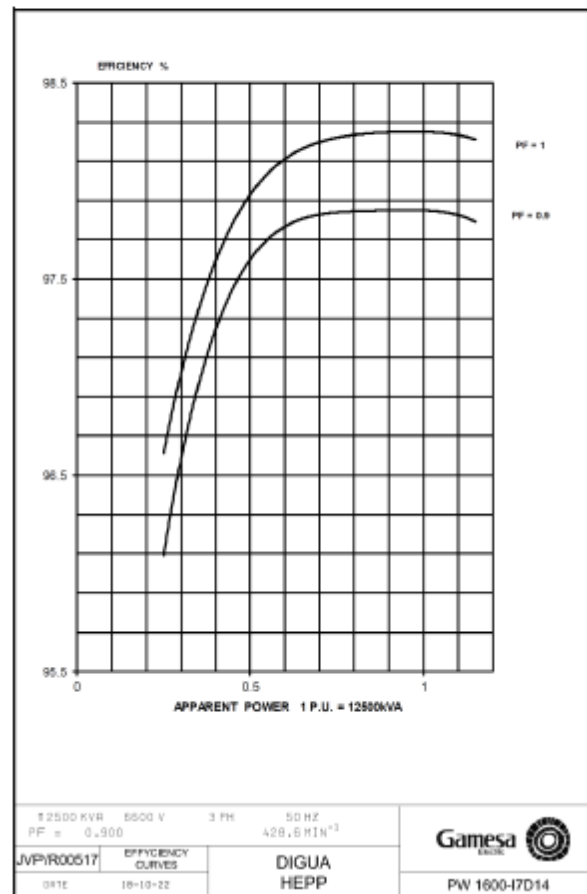


Figura 10. Curva Eficiencia del Generador.