



**ESTUDIOS
ELECTRICOS**

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Coordinador Eléctrico Nacional
Chile
Central Hidroeléctrica Curillinque
Informe de Pruebas de Potencia Máxima



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2024-222
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-2104
REVISIÓN A

27 dic. 24



Este documento **EE-EN-2024-2104-RA** fue preparado para Coordinador Eléctrico Nacional por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman
Sub-Gerente Dpto. Ensayos
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo
Sub-Gerente Dpto. Ensayos
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Ensayos
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

Informe realizado en colaboración con todas las empresas del grupo: **Estudios Eléctricos S.A., Estudios Eléctricos Chile, Estudios Eléctricos Colombia y Electrical Studies Corp.**

Este documento contiene 56 páginas y ha sido guardado por última vez el 27/12/2024 por Federico Deledda; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	27.12.24	Para presentar.	FD	FG	AC

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos; <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	5
2	RESUMEN EJECUTIVO.....	6
3	OBJETIVO GENERAL Y RESPONSABLES DE LA PRUEBA	8
	3.1 Objetivo	8
	3.2 Condiciones de ensayos	8
	3.3 Experto Técnico.....	8
	3.4 Representante empresa generadora.....	8
	3.5 Representante del Coordinador Eléctrico Nacional	8
	3.6 Observador de otro Coordinado	8
4	DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD Y CONDICIONES DE PRUEBA.....	9
	4.1 Descripción general de la planta	9
	4.2 Descripción de la unidad de generación.....	11
	4.3 Condiciones de referencia y curvas de corrección.....	16
	4.3.1 Curvas de corrección	17
	4.3.2 Metodología de corrección	17
	4.4 Instrumentación y mediciones	18
	4.4.1 Metodología.....	20
	4.4.2 Instrumentación principal.....	21
	4.4.3 Mediciones complementarias	22
	4.5 Estimación de pérdidas y consumos propios de las unidades	23
	4.5.1 Consumos propios de los servicios auxiliares.....	23
	4.5.2 Pérdidas en el transformador principal	24
5	REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.....	25
	5.1 Chequeos preliminares	25
	5.2 Desarrollo de las pruebas.....	25
	5.2.1 Verificaciones previas	25
	5.3 Incremento de potencia, estabilización e inicio de la prueba.....	26
	5.4 Periodo de prueba	27
6	CÁLCULOS REALIZADOS Y RESULTADOS	28
	6.1 Reducción de datos y estabilidad.....	28
	6.2 Determinación de la potencia neta (medida)	28



6.2.1	Determinación de la potencia de pérdidas y consumos propios	29
6.2.2	Desglose de la potencia de pérdidas totales.....	30
6.3	Correcciones aplicables a la potencia bruta.....	31
6.4	Cálculo de la Potencia de Neta corregida	33
6.5	Cálculo del promedio final.....	34
6.6	Tabla Resumen general.....	35
6.7	Incertidumbre	36
7	CONCLUSIONES	37
8	NORMATIVA	38
9	ANEXOS	39
9.1	Datos de placa del generador y turbina	39
9.2	Curvas características del generador.....	40
9.3	Curvas de Colina.....	41
9.4	Datos característicos transformador principal	42
9.5	Datos característicos transformador de servicios auxiliares.....	43
9.6	Puntos de medición	44
9.6.1	Potencia bruta.....	44
9.6.2	Potencia SSAA.....	47
9.7	Instrumental de medición	49
9.7.1	Potencia bruta/FP.....	49
9.7.2	Potencia SSAA.....	51
9.8	Actas de ensayos.....	53



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento describe las tareas, ensayos y cálculos realizados para obtener el valor de Potencia Máxima de la Central Hidroeléctrica Curillínque en los términos establecidos en el *“ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”*.

Para la ejecución de las pruebas se siguió el procedimiento de pruebas aprobado por el CEN:

- EE-EN-2024-1759-RD_Procedimiento_Potencia_Maxima_CH_Curillínque

La Central Hidroeléctrica Curillínque, ubicada en la comuna de San Clemente, región del Maule, está conformada por una (1) unidad de generación compuesta por una turbina tipo Francis, marca RAINPOWER, de 88.9 MW de potencia nominal, vinculada a un generador marca ABB de 13.8 kV de tensión nominal de operación y 90.0 MVA de potencia aparente nominal.



2 RESUMEN EJECUTIVO

En la etapa de diseño del protocolo de pruebas se exploraron distintas alternativas tendientes a efectuar las mediciones necesarias para determinar la potencia bruta máxima de acuerdo con las especificaciones establecidas por el Anexo Técnico *“Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”*.

Finalmente, se diseñó una alternativa que permitió realizar la determinación buscada en las mejores condiciones técnicas posibles. Para esto, se han utilizado los equipos medidores de planta para las mediciones de potencia bruta y potencia de los servicios auxiliares.

Debido a que la Central Hidroeléctrica Curillínque no dispone de un instrumento de medición calibrado a la salida de la central, no es posible tener una medición de potencia neta en este punto, por lo tanto, la potencia neta se calcula indirectamente a partir de la medición de la potencia bruta, potencia de los servicios auxiliares y de las pérdidas que involucran al transformador principal.

Las pruebas de la Central Hidroeléctrica Curillínque se realizaron los días 5 y 6 de diciembre de 2024. Las pruebas fueron realizadas en presencia de Sergio López, Jaime Aguilera, German Concha, Flavio Serey, Claudio Berros y Juan Carlos Bello (ENEL Generación S.A.) y Federico Deledda como Experto Técnico (Estudios Eléctricos).

Durante el período de la prueba se verificó que la unidad logrará controlar en forma estable su potencia en bornes desde la sincronización hasta el fin de la prueba. En total se registraron 5 horas en condiciones de potencia máxima, luego de finalizado el período de estabilización. Durante el desarrollo de la prueba se operó la respectiva unidad a máxima potencia con regulación de frecuencia operativa.

Para la determinación del valor de Potencia Máxima se procesaron los datos registrados en terreno, verificación de estabilidad, promediado y finalmente las correcciones por factor de potencia tal como indica el Anexo Técnico.

Adicionalmente, se han realizado los cálculos de incertidumbre total del resultado, tanto para el valor de potencia bruta corregida como para el valor de potencia neta corregida, siguiendo los lineamientos establecidos en la norma aplicable ASME PTC19.1.



Finalmente, se determinaron los siguientes valores de **Potencia Máxima Bruta** de la Central Hidroeléctrica Curillínque con el siguiente desglose de valores:

Resumen de resultados CH Curillínque		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	85.0313
	Bruta Corregida [MW]	84.9719
	Neta Medida [MW]	84.6773
	Neta Corregida [MW]	84.6179
Pérdidas y consumos internos	Consumos de SSAA [kW]	26.297
	Pérdidas en transformador principal [kW]	327.681
	Pérdidas totales [kW]	353.978

Tabla 2.1 – Resumen resultados



3 OBJETIVO GENERAL Y RESPONSABLES DE LA PRUEBA

3.1 Objetivo

El Anexo Técnico indica que se debe determinar por ensayo el valor de Potencia Máxima que será aquel valor de potencia activa bruta que sea sostenible durante al menos 5 horas, dentro del período de medición de la prueba y en conformidad con el protocolo de prueba.

3.2 Condiciones de ensayos

Según lo acordado con el Coordinador y Coordinado, el experto técnico no se presentó en las instalaciones del coordinado, sino que guio y supervisó de forma remota el desarrollo de la prueba.

3.3 Experto Técnico

La empresa Estudios Eléctricos fue seleccionada para llevar adelante los ensayos y tareas relacionadas con la determinación de la Potencia Máxima de la Central Hidroeléctrica Curillínque. Los Expertos Técnicos designados fueron el Ing. Federico García y el Ing. Federico Deledda. Ellos fueron los responsables de desarrollar el protocolo de pruebas, supervisar la ejecución de todas las actividades descritas en el mismo y redactar el presente informe. Cabe destacar que, el Ing. Federico Deledda fue el encargado de realizar los ensayos para la determinación de la Potencia Máxima de la Central Hidroeléctrica Curillínque.

3.4 Representante empresa generadora

Por parte de Enel Generación Chile S.A., el Coordinado, estuvieron presente durante las pruebas:

- Sergio López Neira – Head of Control System & Power Electronics ENEL Generación S.A.
- Jaime Aguilera Cerda – Control System & Power Electronics Senior Specialist.
- German Concha Vielma – Head of Elec. Power Syst. & Grid Standards ENEL Generación S.A.
- Flavio Serey Lizama – Senior Specialist Elec. Power Syst. & Grid Standards ENEL Generación S.A.
- Claudio Berros Cancino – Operador Mantenedor Centrales del Maule ENEL Generación S.A.
- Juan Carlos Bello Tellez – Control System & Power Electronics Senior Specialist.

3.5 Representante del Coordinador Eléctrico Nacional

No hubo representación del Coordinador durante el desarrollo de las pruebas.

3.6 Observador de otro Coordinado

No hubo representación de otro Coordinado durante el desarrollo de las pruebas.



4 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD Y CONDICIONES DE PRUEBA

4.1 Descripción general de la planta

La Central Hidroeléctrica Curillínque, ubicada en la comuna de San Clemente, región del Maule, está conformada por una (1) unidad de generación compuesta por una turbina tipo Francis, marca RAINPOWER, de 88.9 MW de potencia nominal, vinculada a un generador marca ABB de 13.8 kV de tensión nominal de operación y 90.0 MVA de potencia aparente nominal.

Se presenta a continuación, el plano de disposición general de la planta:

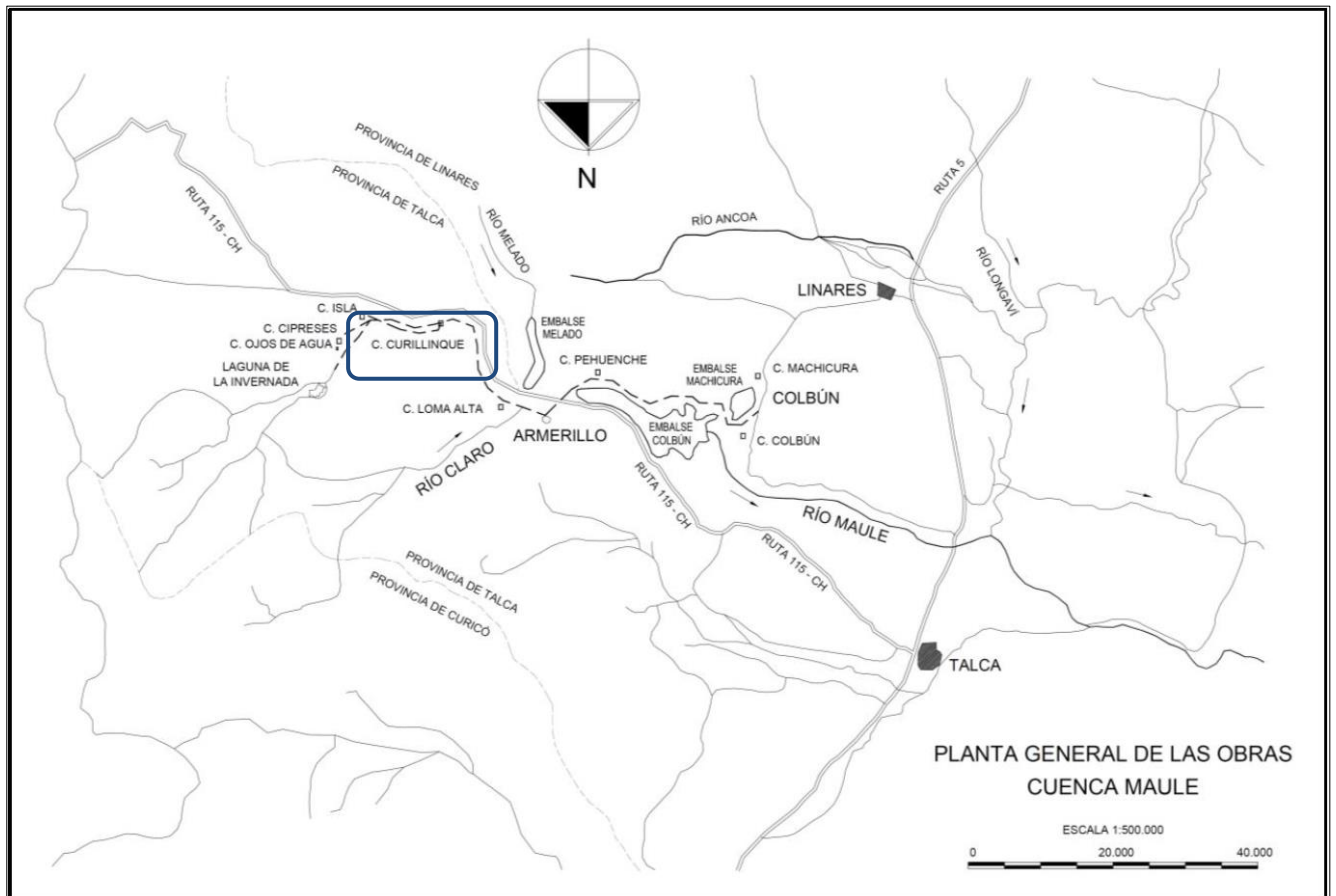


Figura 4.1 – Plano general cuenca Maule

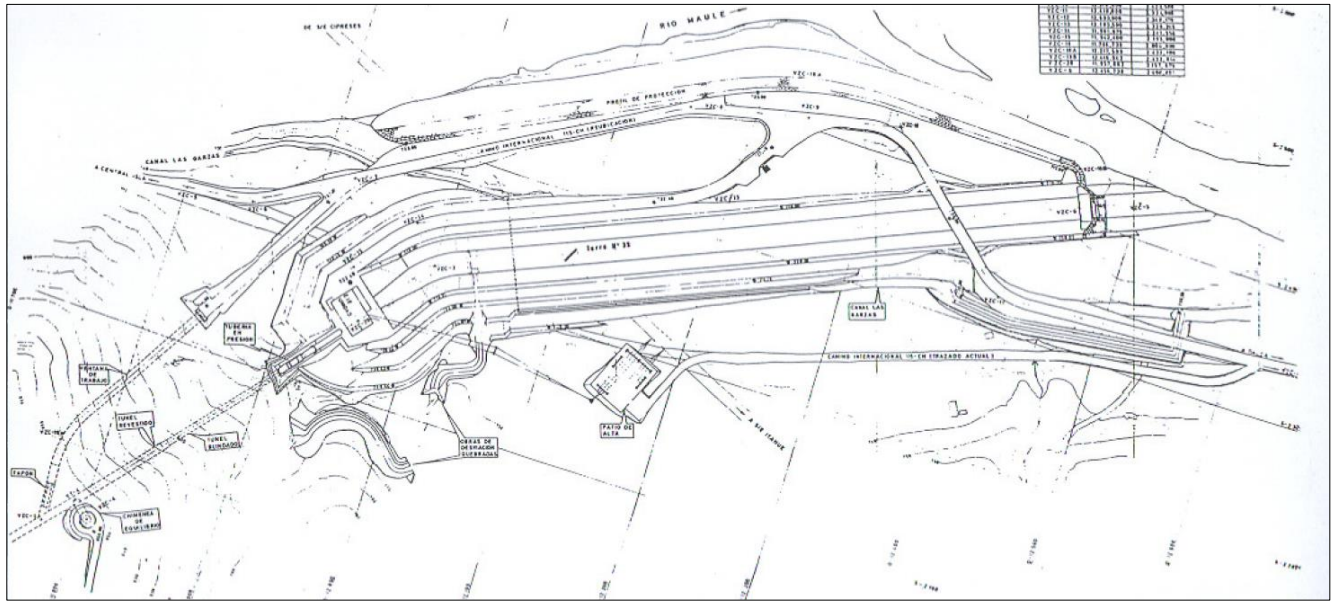


Figura 4.2 – Plano de disposición general de planta



4.2 Descripción de la unidad de generación

La turbina hidráulica es marca RAINPOWER de 88.9 MW de capacidad nominal y está vinculada a un generador marca ABB tipo WV 570/160/26. A continuación, se presenta el diagrama unilineal general de la central.

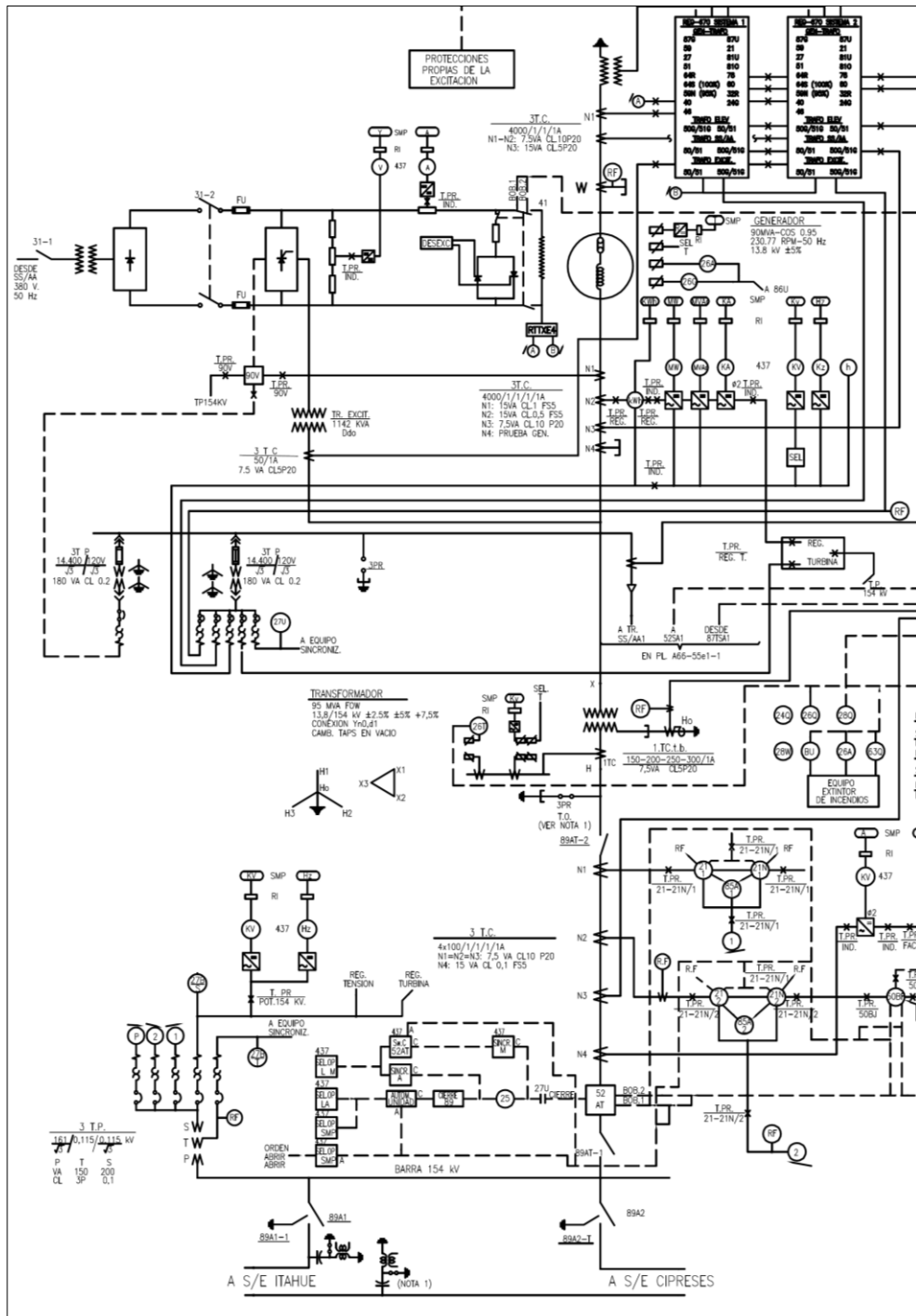


Figura 4.3 – Diagrama general unilineal punto de conexión con el Sistema



Se presenta el unineal del punto de interconexión de la unidad con el sistema a través de la SE Curillínque 154 kV. Se enmarca en azul el transformador elevador.

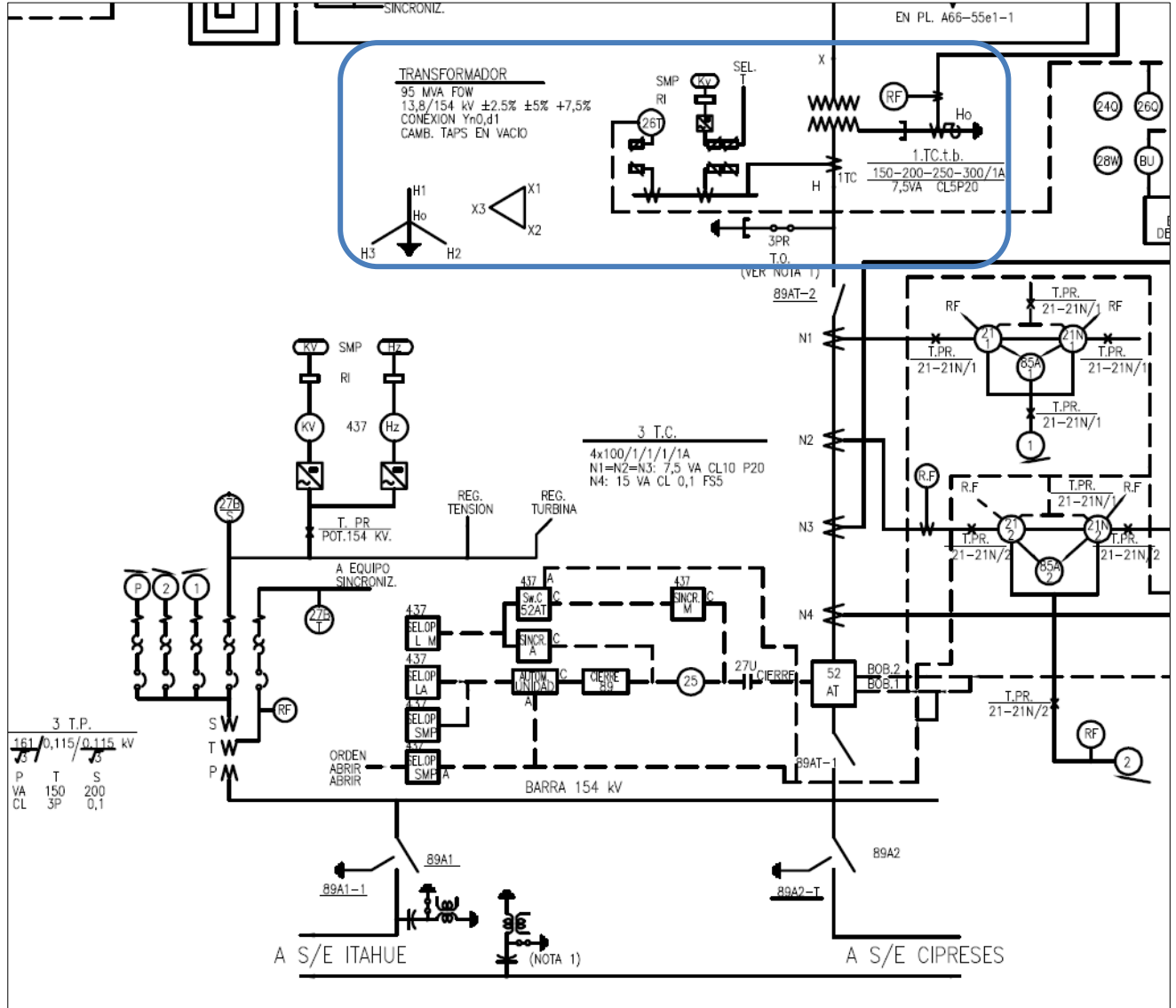


Figura 4.4 – Diagrama unineal punto de conexión con el Sistema (SE Curillínque 154 kV)



Se presenta a continuación el diagrama unilíneal de la unidad generadora. Se enmarca en **verde** el generador sincrónico y en **naranja** la conexión hacia el transformador de servicios auxiliares.

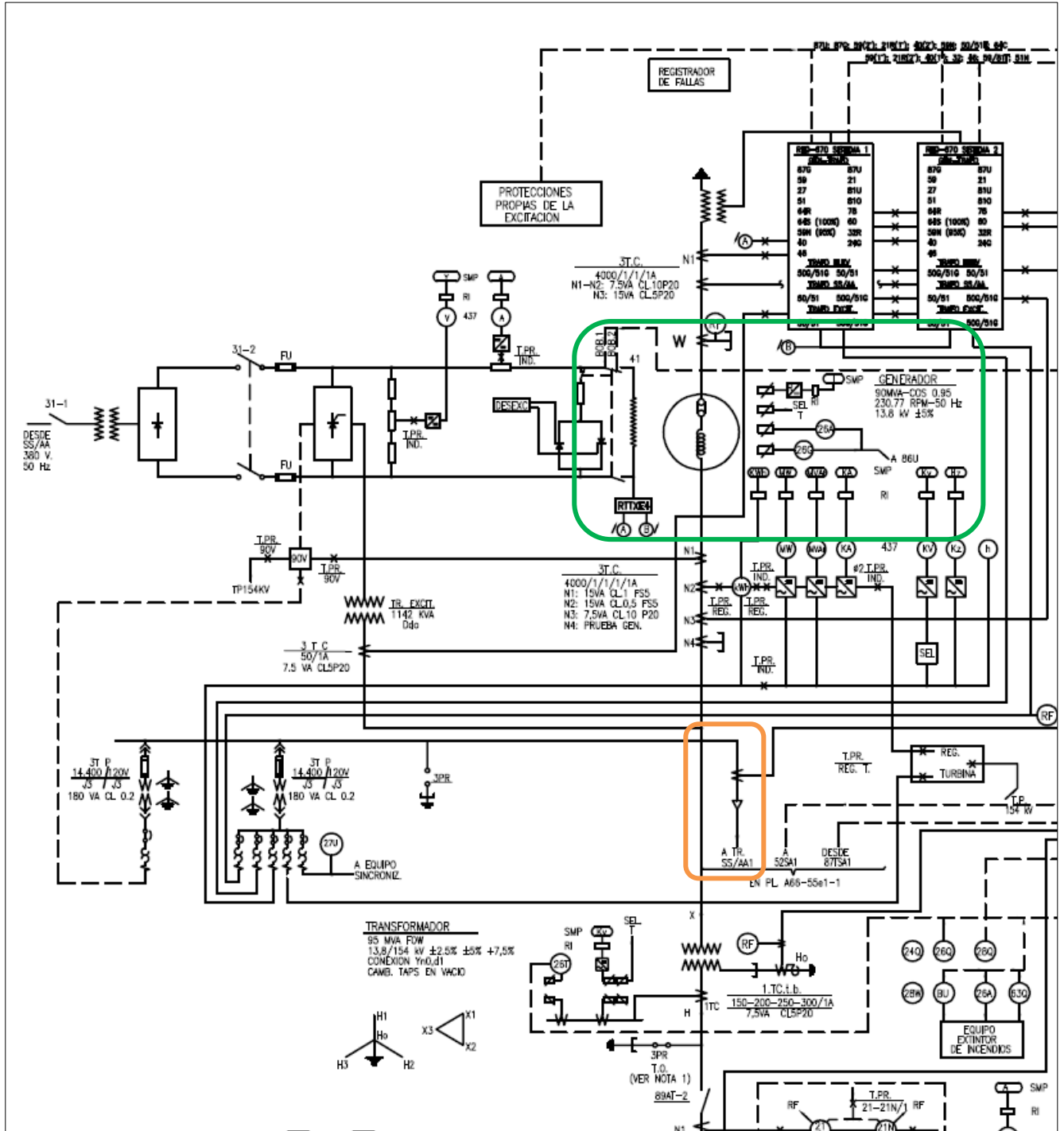


Figura 4.5 – Diagrama unilíneal (Unidad)



Se presenta a continuación el diagrama unilineal de los servicios auxiliares.

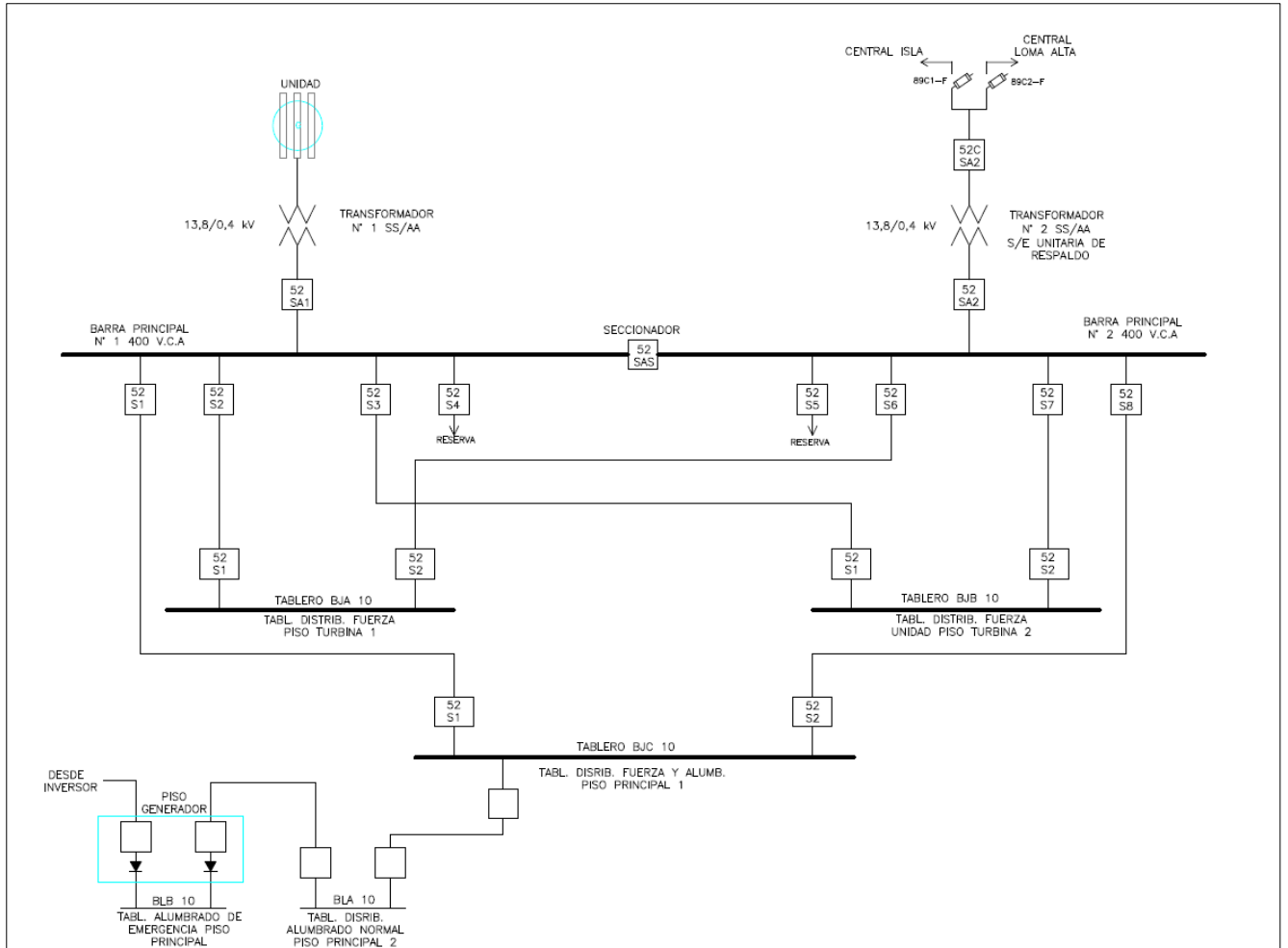


Figura 4.6 – Diagrama unilineal (Servicios auxiliares)



Las principales características técnicas del generador y de la turbina se presentan a continuación.

Turbina	
Fabricante	Rainpower
Tipo de turbina	Francis
Año de puesta en servicio	1993
Potencia nominal	88,9 MW
Caudal nominal	84 m ³ /s
Altura neta nominal	114,29 m
Velocidad nominal	230,8 rpm
Generador	
Fabricante	ABB
Año de fabricación	1993
Potencia nominal	90 MVA
Potencia máxima permanente	98,8 MVA
Tensión nominal	13800 V
Corriente nominal	3765 A
Frecuencia nominal	50 Hz
Factor de potencia nominal	0,95
Velocidad nominal	230,8 rpm
Velocidad de embalamiento	425 rpm
Número de polos	26
Peso del rotor del generador	215 ton

Figura 4.7 – Datos característicos de la unidad

ABB		GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA	
ASEA BROWN BOVERI			
No. : HT 200 058	Año de fabricación: 1993	Tipo: WV 570/160/26	
Potencia: 90 000 kVA	Cos ϕ : 0.95	Peso del Rotor: 215 T	Peso del Estator: 250 T
Velocidad: 230.8/425 RPM	Frecuencia: 50 Hz		
Sentido de rotación: \longrightarrow	Inercia del Rotor: 960 tm ²		
Tensión nominal del Estator: 13800 V	Corriente nominal del Estator: 3765 A	Corriente para sobrecarga máxima del Estator: 4153 A	Aislación clase F
de Excitación: 205 Vcc	de Excitación: 928 A	de Excitación: 1055 A	F
Calentamiento del Estator/Rotor para sobrecarga máx. permanente: 75/75 K	Sobrecarga Máxima permanente para Cos ϕ : 0.9 98.843 MVA		
para carga normal: 60/60 K			

Figura 4.8 – Placa generador



4.3 Condiciones de referencia y curvas de corrección

A partir de los resultados de la información suministrada por el fabricante y datos característicos de la Central se considera el siguiente valor de potencia máxima esperable para la unidad generadora de Central Hidroeléctrica Curillínque.

Unidad	Potencia [MW]
U1	88.9

Tabla 4.1 – Valores base de potencia para la unidad

De acuerdo con los parámetros declarados, la potencia máxima bruta esperable de la Central Hidroeléctrica Curillínque es de 88.9 MW.

En la Tabla 4.2 se indican las condiciones de referencia de la central. Cabe mencionar que solo se presentan los parámetros de corrección que se deben considerar en base a lo estipulado en el Anexo Técnico.

Parámetro de corrección	Valor nominal
FP	0.95 (lagging)

Tabla 4.2 – Condiciones nominales de referencia



4.3.1 Curvas de corrección

De acuerdo con lo informado por el Coordinado, no se dispone de la curva de corrección de la potencia por factor de potencia, por lo que se utiliza el de una maquina similar. Se utilizó la siguiente curva disponible públicamente¹.

Porcentaje de carga (%)	110	100	90	80	70	60	50
Rendimiento (%) para $\cos \phi = 0,85$	98,51	98,51	98,48	98,43	98,35	98,22	98,02
Rendimiento (%) para $\cos \phi = 1,00$	98,82	98,81	98,78	98,73	98,67	98,56	98,38

Tabla 4.3 – Rendimientos del generador según $\cos \phi$

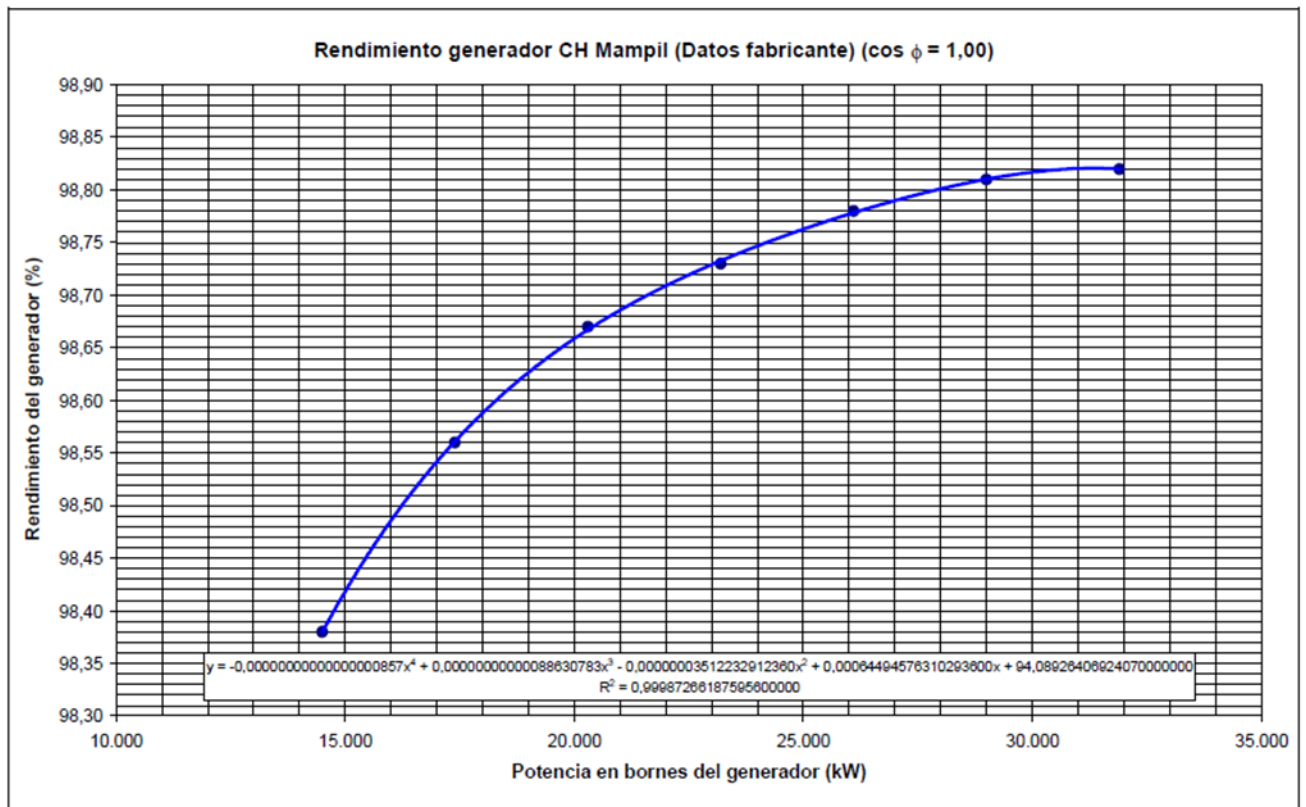


Figura 4.9 – Curva de corrección por factor de potencia

4.3.2 Metodología de corrección

Para las correcciones del valor de potencia bruta se utiliza, cuando corresponda, las condiciones de referencia junto con los datos mostrados anteriormente.

¹ Central Mampil: <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>



4.4 Instrumentación y mediciones

Según lo establecido en el Artículo 31 del Anexo Técnico, las mediciones de potencia y factor de potencia deberán realizarse con instrumentos clase 0.2.

En la Figura 4.10 se muestran los puntos de medición de potencia bruta y factor de potencia de la unidad. En azul se enmarca el TP y en naranja el TC de la unidad. Se aprecia que los núcleos de TP y TC asociados al medidor ION 7650 son de clase 0.2 y 0.5, respectivamente.

En tanto, en la Figura 4.11, se presenta el punto de medición de potencia de servicios auxiliares. En azul se enmarca el TP y en naranja el TC asociados al medidor instalado ION 8600.

Considerando este diagrama junto con el levantamiento de información realizado y los requerimientos del Anexo Técnico se describe la metodología propuesta.

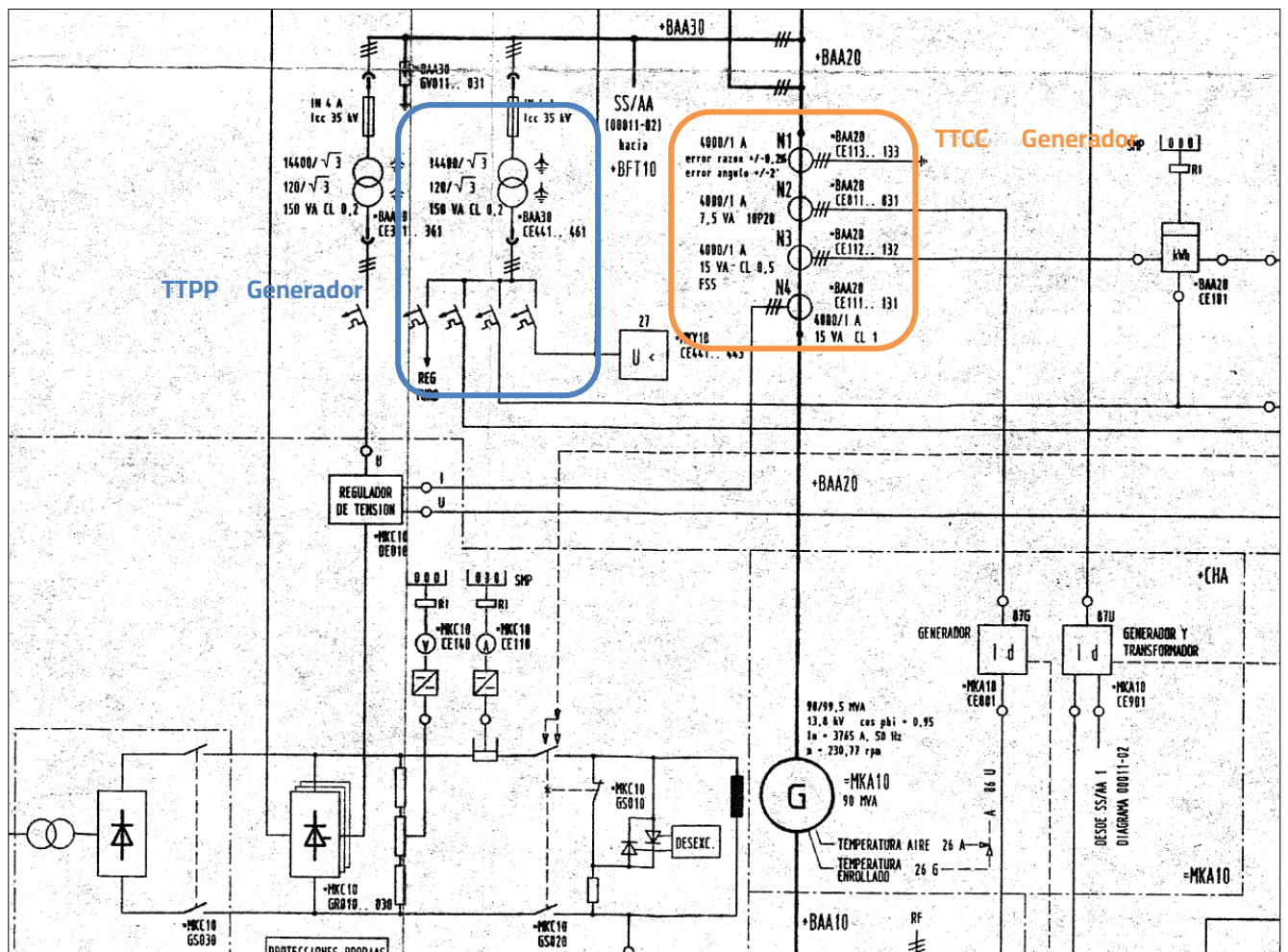


Figura 4.10 – Punto de medición – Potencia bruta

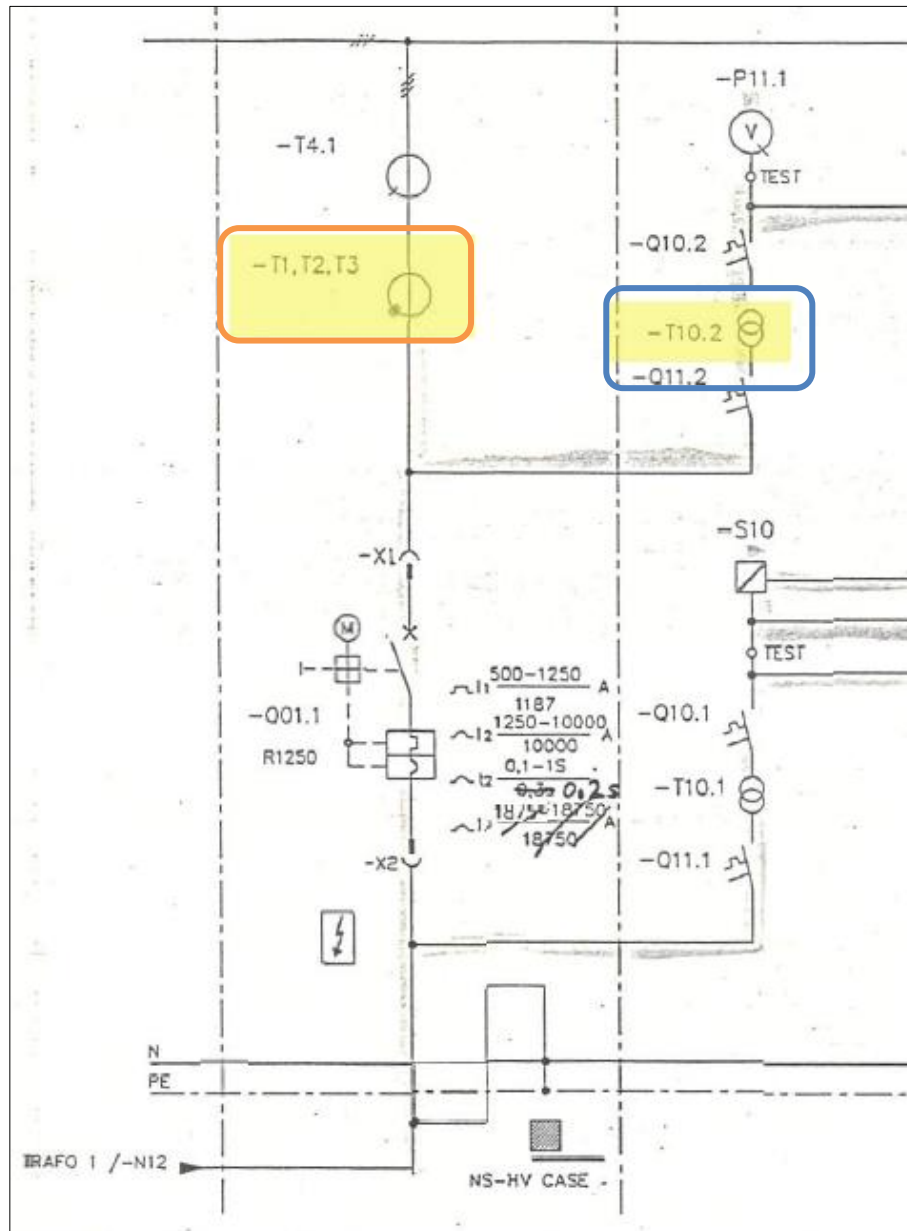


Figura 4.11 – Punto de medición – Potencia SS.AA.



4.4.1 Metodología

Se realizó la medición de potencia bruta y factor de potencia en bornes del generador tal como se solicita en el Anexo Técnico. La potencia de los servicios auxiliares se midió directamente mediante el medidor que se instaló en los SSAA.

La Central Hidroeléctrica Curillínque no dispone de un instrumento de medición calibrado a la salida de la central, por lo que no es posible tener una medición de potencia neta en este punto, por lo tanto, la potencia neta se calcula indirectamente a partir de la medición de la potencia bruta, potencia de los servicios auxiliares y de las pérdidas que involucran al transformador principal.

Para las mediciones de potencia bruta, los transformadores de instrumentación (PTs, CTs) son clase 0.2 y 0.5, respectivamente (Figura 4.10). Para la medición de voltaje se utilizaron transformadores de tensión cuyas relaciones de transformación son 14.4/0.12 kV. Para la medición de corriente se utilizaron transformadores de corriente cuyas relaciones de transformación son 4000/1 A.

Para las mediciones de potencia de SS.AA. (Figura 4.11), la medición de voltaje utiliza transformadores de tensión cuya relación de transformación es 420/210 V. Para la medición de corriente se utilizan transformadores de corriente cuyas relaciones de transformación son 1500/0.241 A.

Para la medición de potencia bruta se utilizó un medidor ION 7650 que el Coordinado posee en sus instalaciones y para la medición de potencia de SSAA se instaló un medidor ION 8600 en los puntos de medición descrito en el párrafo anterior. Los mismos son clase 0.2 y cumplen con las exigencias de precisión requeridas.

En la sección de anexo 9.6 se detallan los puntos desde donde se realizaron las mediciones de cada variable, en tanto en la sección de anexo 9.7 se muestran los antecedentes técnicos y certificados de calibración asociados a los equipos de medición.



4.4.2 Instrumentación principal

Para la medición de potencia y factor de potencia, se instrumentó tal como se resume en la Tabla 4.4. La misma indica la instrumentación principal utilizada, magnitud medida, tipo y clase, y ubicación.

#	Magnitud	Instrumento	Tipo, clase y muestreo	Propietario y certificado	Ubicación	Tipo de registro
1	Potencia activa bruta Unidad	ION 7650 Serie: MJ-1308B049-03	A, 0.2, 1 min	EDEL (certificado Figura 9.15)	Conectado a PTs CTs clase 0.2 y 0.5, respectivamente. (Figura 9.8)	Digital
2	Factor de potencia Unidad	ION 7650 Serie: MJ-1308B049-03	A, 0.2, 1 min	EDEL (certificado Figura 9.15)	Conectado a PTs CTs clase 0.2 y 0.5, respectivamente. (Figura 9.8)	Digital
3	Potencia SSAA	ION 8600 Serie: PT-0903A661-01	A, 0.2, 1 min	EDEL (certificado Figura 9.16)	Conectado a PTs CTs (Figura 9.13)	Digital

Tabla 4.4 – Instrumentación principal de potencia

Las características principales de estos equipos y sus certificados de calibración vigentes a la fecha de los ensayos pueden consultarse en el Anexo 9.7.

El equipo de medición de potencia bruta es parte de la instalación, este fue configurado y operado por el Coordinado. Se solicitó la entrega de los registros digitales de las pruebas durante y luego de la ejecución de estas.



4.4.3 Mediciones complementarias

En la Tabla 4.5 se muestra el listado de señales disponibles en el SCADA de la Central Hidroeléctrica Curillínque con los TAGS correspondientes.

#	Variable	Tags
1	Potencia activa [MW]	CUR_TH1_IP_PA
2	Potencia Reactiva [MVAR]	CUR_TH1_IP_PR
3	Velocidad de generador [rpm]	CUR_TH1_IVE_GEN
4	Central Curill. Nivel CH. equilibrio [m.s.n.m.]	CUR_OH_EQU_IN_CECC
5	Central Curill. Nivel de descarga [m.s.n.m.]	CUR_OH_DESC_IN_DCC
6	Turbina Presión Caracol [mca]	CUR_TH1_TURB_IP_CAR
7	Temperatura metal guía superior M [°C]	CUR_TH1_IT_MGS1
8	Temperatura metal descanso empuje MED [°C]	CUR_TH1_IT_MDE1
9	Temperatura metal guía medida 1 T [°C]	CUR_TH1_IT_MG1
10	Temperatura 3 bobina estator unidad [°C]	CUR_TH1_IT_BES3

Tabla 4.5 – Variables SCADA

Finalizadas las pruebas el Coordinado realizó la entrega del registro digital de datos correspondiente.



4.5 Estimación de pérdidas y consumos propios de las unidades

Se estima de forma teórica los consumos propios y externos que posee la Central Hidroeléctrica Curillínque, y las pérdidas asociadas al transformador de potencia, de manera de poder contar con una valorización que permita asegurar que las mediciones indirectas realizadas sean consistentes con estos valores.

A continuación, en la Tabla 4.6 se muestran los resultados obtenidos en la medición de servicios auxiliares y las pérdidas teóricas máximas del transformador de la Central Hidroeléctrica Curillínque, en los capítulos posteriores se hará el cálculo asociado a cada condición y el desglose de cada uno de los consumos.

Consumos	Potencia estimada	
Consumos de SSAA	26.297 kW	
Pérdidas en el transformador principal	Vacío	Totales
	47.12 kW	350.20 kW

Tabla 4.6 – Valores teóricos obtenidos de pérdidas y consumos propios

4.5.1 Consumos propios de los servicios auxiliares

Se presenta en la Tabla 4.7 las mediciones de consumos de Servicios Auxiliares registrados durante los ensayos. Estos datos fueron obtenidos a partir de mediciones registradas en el sistema SCADA.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	
Consumos SSAA												
P _{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[kW]	26.002	25.839	26.137	26.262	26.330	26.497	26.964	26.349	26.180	26.408
	Promedio P _{SSAA}	[kW]	26.297									

Tabla 4.7 – Mediciones de consumos de SS.AA.



4.5.2 Pérdidas en el transformador principal

Para estimar las pérdidas en el transformador principal de la Central Hidroeléctrica Curillínque se utilizaron datos obtenidos en el protocolo de ensayos del equipo. A continuación, se adjuntan los datos del transformador.

ABB - ASEA BROWN BOVERI - 10 -

Informe de ensayo

Pérdidas en cortocircuito e impedancia Fecha: 26/01/93

Cliente: E. E. PEHUENCHE Num.: 59098

VALORES REFERIDOS A 85 °C.

SUMARIO

Tension de deriv. (kV)	Potencia de refer. (MVA)	Pérdidas en c.c.		Tension de c.c.	
		Medida (kW)	Garantizada (kW)	Medida (%)	Garantizada (%)
154.0/13.8	95	350.20	356.00	14.97	15.00
146.3/13.8	95	373.24	--	15.27	--

Tension de deriv. (kV)	Potencia de refer. (MVA)	Pérdidas en vacío			Corriente de Exc.	
		Medida (kW)	Garantizada (kW)	UN (%)	Medida (kVAr)	Garantizada (kVAr)
154.0/13.8	95	47.12	50.0	100	105.5	130.0

Handwritten signatures and initials are present at the bottom of the document.

Figura 4.12 – Pérdidas en carga transformador principal



5 REALIZACIÓN DE LA PRUEBA

Como se indicó en el capítulo 3.2 el experto técnico no se presentó en las instalaciones del coordinado y, por lo tanto, guio y supervisó su desarrollo de forma remota.

La comunicación se materializó vía reunión de **Microsoft Teams**: Llamada de voz, video e interfaz para compartir medios digitales.

5.1 Chequeos preliminares

En una reunión previa a la ejecución de las pruebas se realizó una inspección en dónde se verificó que todo quede adecuadamente dispuesto para el inicio de las pruebas.

Se verificó:

1. Lectura de los equipos de medición principales.
2. Sincronización horaria entre los distintos equipos de medición.
3. El sistema de adquisición de datos de planta estaba operativo.

5.2 Desarrollo de las pruebas

5.2.1 Verificaciones previas

Se verificó el cumplimiento de las condiciones de prueba establecidas:

- a) Todas las protecciones estaban operativas y sin falla.
- b) No existían alarmas relevantes.
- c) Las unidades estaban disponibles para operar a máxima potencia.
- d) El control primario de frecuencia (CPF) no pudo ser desactivado, por lo tanto, se mantuvo operativo durante la prueba. Por esta razón, durante las pruebas se modificó el valor del estatismo a 6%. La potencia activa quedo establecida por la condición de nivel en su bocatoma.
- e) Para las pruebas el factor de potencia (FP) de las unidades no pudo ser ajustado lo más cercano posible a 0.95 de acuerdo con lo exigido en el Anexo Técnico debido a limitaciones del Sistema de transmisión. Las unidades operaron en un factor de potencia de aproximadamente de 0.98.
- f) La barra de SS.AA. estuvo aislada de conexiones externas a la central.



5.3 Incremento de potencia, estabilización e inicio de la prueba

Previo al inicio de las pruebas las unidades se encontraban en servicio.

En dicho punto se verificaron las condiciones de prueba establecidas en Tabla 4.1 del procedimiento, las cuales son: modificar el valor de estatismo del control primario de frecuencia y ajustar el factor de potencia al valor más cercano posible a 0.95 que permita la red y/o limitadores. Debido a las condiciones del sistema a la hora de realizar el ensayo, se pudo alcanzar un factor de potencia de aproximadamente 0.98.

Finalizados estos ajustes se dio inicio al período de estabilización de la unidad en cuestión. Durante el mismo se monitoreó la evolución de las principales variables hasta que se verificó la estabilidad, dando inicio formal al período de pruebas.

La Tabla 5.1 resume los períodos resultantes del desarrollo de las pruebas para la Unidad.

Arranque de la unidad	Despachada
Inicio del período de estabilización	05/12/2024 19:30 Hs
Fin del período de estabilización	20:00 Hs
Inicio del período de prueba	20:00 Hs
Fin del período de prueba	06/12/2024 01:00 Hs

Tabla 5.1 – Etapas de la prueba para la Unidad



5.4 Período de prueba

Finalmente, cada prueba se extendió por un período total de 5 horas divididas en 10 test run de 30 minutos. En cada uno de los mismos se verificó la estabilidad de la unidad según lo establecido en el artículo 36 del Anexo Técnico.

Parámetros	Desviación estándar durante el periodo
Potencia eléctrica de salida	1.5%
Factor de potencia	2.0%
Velocidad de rotación de la Turbina	0.5%

Tabla 5.2 – Máximas variaciones permisibles en las condiciones de operación

La Tabla 5.3 muestra el resumen de las verificaciones de estabilidad realizadas para la Central Hidroeléctrica Curillínque.

Períodos											
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hora		20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45
Verificación de condiciones de estabilidad											
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1.50%	0.09%	0.10%	0.09%	0.07%	0.07%	0.11%	0.07%	0.07%	0.08%
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	2.00%	0.07%	0.08%	0.05%	0.02%	0.05%	0.08%	0.06%	0.02%	0.03%
Frec	Velocidad de Rotación	0.50%	0.07%	0.07%	0.05%	0.10%	0.15%	0.11%	0.07%	0.05%	0.16%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla 5.3 – Verificación de estabilidad

Para todas las pruebas todos los test-run registrados verificaron las condiciones de estabilidad y se han utilizado para el cálculo final de los resultados.

Finalizadas las pruebas se confeccionaron actas reflejando las principales condiciones de los ensayos. Dichas actas pueden consultarse en el Anexo 9.8.



6 CÁLCULOS REALIZADOS Y RESULTADOS

6.1 Reducción de datos y estabilidad

Se procesaron los datos en búsqueda de valores atípicos, para cada período se evaluó la estabilidad de las principales variables tal como se indicó en 5.4, determinando los test-run aptos para ser considerados en el cálculo final del valor de potencia bruta.

6.2 Determinación de la potencia neta (medida)

Para la Central Hidroeléctrica Curillinque se cuenta solo con la medición de potencia bruta y potencia de servicios auxiliares, por lo tanto, la potencia neta se calcula indirectamente a partir de estas mediciones y de las pérdidas calculadas del transformador principal como:

$$P_{Neta, No\ Corr} = P_{Bruta, No\ Corr} - (P_{SSAA, Med} + P_{Perd, tr})$$

Dónde:

- $P_{Neta, No\ Corr}$: Potencia Neta No Corregida.
- $P_{Bruta, No\ Corr}$: Potencia Bruta No Corregida (medición directa).
- $P_{SSAA, Med}$: Consumos SS.AA. internos de la planta (medición directa).
- $P_{Perd, tr}$: Pérdidas en el transformador principal.

La Tabla 6.1 detalla las mediciones realizadas para la central completa.

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°												
Hora			20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0.982	0.982	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.984	0.983	0.983
P_{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	85.26	85.21	85.16	85.08	85.04	85.01	84.94	84.88	84.89	84.84
P_{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[MW]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
P_{NETA}	Potencia Neta	[MW]	84.91	84.86	84.80	84.72	84.68	84.66	84.59	84.53	84.53	84.48
Consumos SSAA												
P_{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[kW]	26.00	25.84	26.14	26.26	26.33	26.50	26.96	26.35	26.18	26.41
	Promedio P_{SSAA}	[kW]	26.30									
Determinación pérdidas totales												
$L_{TOTALES}$	Pérdidas totales	[MW]	0.355	0.355	0.355	0.354	0.354	0.354	0.354	0.353	0.353	0.353
	$L_{TOTALES}$	[kW]	353.98									

Tabla 6.1 – Medición de potencia de pérdidas para la central completa



6.2.1 Determinación de la potencia de pérdidas y consumos propios

Al calcular indirectamente la potencia neta de la unidad es necesario considerar que las mediciones de consumos de propios no tuvieron en cuenta las pérdidas en el transformador principal.

Pérdidas en el transformador principal

En la Tabla 4.6 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal. Cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición de ensayo.

Las pérdidas en carga del transformador ($P_{Perd,carga,tr}$) se calculan según la siguiente expresión:

$$P_{Perd,carga,tr} = (P_{Perd,carga,nominal,tr}) \cdot \left(\frac{P_{bruta,No\ corr}}{S_{nom,tr}} \right)^2$$

La expresión de pérdidas en el transformador principal es la siguiente:

$$P_{Perd,tr} = P_{Perd,carga,tr} + P_{Perd,vacio,tr}$$

Pérdidas totales

La potencia de pérdidas totales considera las pérdidas en carga en el transformador principal de la central, y la potencia asociada a los consumos auxiliares.

$$L_{Totales} = P_{Perd,tr} + P_{SSAA}$$



La Tabla 6.2 detalla los cálculos realizados para la central completa.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0.982	0.982	0.983	0.983	0.983	0.983	0.984	0.983	0.983	
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	85.26	85.21	85.16	85.08	85.04	85.01	84.94	84.88	84.84	
P _{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[MW]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
P _{NETA}	Potencia Neta	[MW]	84.91	84.86	84.80	84.72	84.68	84.66	84.59	84.53	84.48	
Consumos SSAA												
P _{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[kW]	26.00	25.84	26.14	26.26	26.33	26.50	26.96	26.35	26.18	
	Promedio P _{SSAA}	[kW]	26.30									
Determinación pérdidas totales												
P _{Perd,Tr}	Pérdidas en el transformador principal	[MW]	0.329	0.329	0.329	0.328	0.328	0.328	0.327	0.327	0.326	
	Promedio P _{Perd,Tr}	[kW]	327.68									
L _{TOTALES}	Pérdidas totales	[MW]	0.355	0.355	0.355	0.354	0.354	0.354	0.354	0.353	0.353	
	L _{TOTALES}	[kW]	353.98									

Tabla 6.2 – Desglose de potencia de pérdidas y consumos

6.2.2 Desglose de la potencia de pérdidas totales

En la Tabla 6.3 se resumen los resultados del desglose de pérdidas y consumos (promedio) de la central.

Consumos	Potencia estimada
Consumos de SSAA (P _{SSAA})	26.30 kW
Pérdidas en el transformador principal	327.68 kW
Total	353.98 kW

Tabla 6.3 – Valores de pérdidas y consumos



6.3 Correcciones aplicables a la potencia bruta

Las correcciones mencionadas en este capítulo fueron aplicadas a cada uno de los períodos (test run) registrados y válidos de acuerdo con las condiciones de estabilidad y el resultado final resultó del promedio de todos ellos.

Según lo establece el anexo técnico pueden aplicarse correcciones por:

1. Corrección por factor de potencia.

Los factores de corrección de cada una de las magnitudes antes mencionadas, y para cada período, se obtuvieron de las curvas indicadas en la sección 4.3.1.

La Potencia Bruta Corregida de la unidad se calcula según la siguiente ecuación:

$$P_{Bruta,Corr} = (P_{Bruta} - L_{FP})$$

Dónde:

- $P_{Bruta,Corr}$: Potencia Bruta Corregida Unidad
- P_{Bruta} : Potencia Bruta Medida Unidad
- L_{FP} : Pérdidas relacionadas a no operar en el factor de potencia (FP) establecido por el Anexo Técnico. Se aplica sólo si durante los ensayos no se logró alcanzar $FP = 0.95$. Se calcula como la diferencia de potencia entre la correspondiente al FP del ensayo menos la potencia correspondiente al FP de referencia, ambos valores obtenidos de las curvas del capítulo 4.3.



La Tabla 6.4 detalla las correcciones realizadas para la central.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0.982	0.982	0.983	0.983	0.983	0.983	0.984	0.983	0.983	
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	85.26	85.21	85.16	85.08	85.04	85.01	84.94	84.88	84.89	84.84
P _{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[MW]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
P _{NETA}	Potencia Neta	[MW]	84.91	84.86	84.80	84.72	84.68	84.66	84.59	84.53	84.53	84.48
Correcciones a la Potencia bruta												
L _{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	58.88	58.11	59.78	60.40	59.30	59.24	58.87	60.77	59.97	59.05
P_{Bruta, Corr}	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	85.20	85.15	85.10	85.02	84.98	84.95	84.88	84.82	84.83	84.78

Tabla 6.4 – Correcciones a la Potencia Bruta



6.4 Cálculo de la Potencia de Neta corregida

El cálculo mencionado en este capítulo se aplicó a cada uno de los períodos (test run) registrados (10 períodos) y el resultado final será el promedio de todos ellos.

La Potencia Neta Corregida de la Unidad Generadora se calcula usando la siguiente ecuación.

$$P_{Neta,Corr} = P_{Bruta,Corr} - L_{Totales}$$

$$L_{Totales} = P_{Perd,tr} + P_{SSAA}$$

Dónde:

- $P_{Neta,Corr}$: Potencia Neta Corregida
- $P_{Bruta,Corr}$: Potencia Bruta Corregida
- $L_{Totales}$: Pérdidas y consumos internos de la planta en todo concepto
- $P_{SSAA,Med}$: Consumos SSAA internos de la planta (medición directa).
- $P_{Perd,tr}$: Pérdidas en el transformador principal.

La Tabla 6.5 detalla los cálculos realizados para la Central.

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	Hora		20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45
Consumos SSAA												
P_{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[kW]	26.00	25.84	26.14	26.26	26.33	26.50	26.96	26.35	26.18	26.41
	Promedio P_{SSAA}	[kW]	26.30									
Determinación pérdidas totales												
$P_{Perd,Tr}$	Pérdidas en el transformador principal	[MW]	0.329	0.329	0.329	0.328	0.328	0.328	0.327	0.327	0.327	0.326
	Promedio $P_{Perd,Tr}$	[kW]	327.68									
$L_{TOTALES}$	Pérdidas totales	[MW]	0.355	0.355	0.355	0.354	0.354	0.354	0.354	0.353	0.353	0.353
	$L_{TOTALES}$	[kW]	353.98									
Correcciones a la Potencia bruta												
L_{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	58.88	58.11	59.78	60.40	59.30	59.24	58.87	60.77	59.97	59.05
$P_{Bruta, Corr}$	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	85.20	85.15	85.10	85.02	84.98	84.95	84.88	84.82	84.83	84.78
Cálculo promedio final												
$P_{Bruta, Corr}$	Valores utilizados para	[MW]	85.20	85.15	85.10	85.02	84.98	84.95	84.88	84.82	84.83	84.78
$P_{Neta, Corr}$	cálculo de promedio final	[MW]	84.85	84.80	84.74	84.66	84.63	84.60	84.53	84.47	84.47	84.42

Tabla 6.5 – Cálculos de Potencia Neta corregida para la Central



6.5 Cálculo del promedio final

Finalmente, se realiza el promedio final de aquellos períodos que verificaron las condiciones de estabilidad para obtener los siguientes valores finales de **Potencia Máxima Bruta**:

- Central: **84.97 MW**

En tanto, los valores finales de **Potencia Máxima Neta** son:

- Central: **84.62 MW**

La Tabla 6.6 detalla los valores utilizados para el cálculo del promedio de la central.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para	[MW]	85.20	85.15	85.10	85.02	84.98	84.95	84.88	84.82	84.83	84.78
P _{Neta, Corr}	cálculo de promedio final	[MW]	84.85	84.80	84.74	84.66	84.63	84.60	84.53	84.47	84.47	84.42
P _{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	84.97									
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	84.62									

Tabla 6.6 – Promedio Final



6.6 Tabla Resumen general

Todos los cálculos presentados anteriormente se resumen a continuación para cada prueba.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:15	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0.982	0.982	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.984	0.983	0.983
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	85.26	85.21	85.16	85.08	85.04	85.01	84.94	84.88	84.89	84.84
P _{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[MW]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
P _{NETA}	Potencia Neta	[MW]	84.91	84.86	84.80	84.72	84.68	84.66	84.59	84.53	84.53	84.48
Variables Secundarias												
Frec	Velocidad de Rotación - Para estabilidad	[Hz]	50.10	50.04	50.02	50.04	50.00	50.08	50.06	50.08	50.08	49.93
Verificación de condiciones de estabilidad												
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1.50%	0.09%	0.10%	0.09%	0.07%	0.07%	0.11%	0.07%	0.07%	0.09%	0.08%
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	2.00%	0.07%	0.08%	0.05%	0.02%	0.05%	0.08%	0.06%	0.02%	0.03%	0.03%
Frec	Velocidad de Rotación	0.50%	0.07%	0.07%	0.05%	0.10%	0.15%	0.11%	0.07%	0.05%	0.16%	0.06%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Consumos SSAA												
P _{SSAA}	Potencia total consumida por los servicios auxiliares	[kW]	26.00	25.84	26.14	26.26	26.33	26.50	26.96	26.35	26.18	26.41
	Promedio P _{SSAA}	[kW]	26.30									
Determinación pérdidas totales												
P _{perd,Tr}	Pérdidas en el transformador principal	[MW]	0.329	0.329	0.329	0.328	0.328	0.328	0.327	0.327	0.327	0.326
	Promedio P _{perd,Tr}	[kW]	327.68									
L _{TOTALES}	Pérdidas totales	[MW]	0.355	0.355	0.355	0.354	0.354	0.354	0.354	0.353	0.353	0.353
	L _{TOTALES}	[kW]	353.98									
Correcciones a la Potencia bruta												
L _{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	58.88	58.11	59.78	60.40	59.30	59.24	58.87	60.77	59.97	59.05
P _{Bruta, Corr}	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	85.20	85.15	85.10	85.02	84.98	84.95	84.88	84.82	84.83	84.78
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para cálculo de promedio final	[MW]	85.20	85.15	85.10	85.02	84.98	84.95	84.88	84.82	84.83	84.78
P _{Neta, Corr}		[MW]	84.85	84.80	84.74	84.66	84.63	84.60	84.53	84.47	84.47	84.42
P _{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	84.97									
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	84.62									

Tabla 6.7 – Resumen general



6.7 Incertidumbre

En la presente sección se presenta los resultados del cálculo de Incertidumbre Total del Resultado (UR), siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASME PTC 19.1 "Test Uncertainty".

En la Tabla 6.8 y Tabla 6.9 se presenta el cálculo de incertidumbre para la **Potencia Bruta Corregida** y la **Potencia Neta Corregida** respectivamente para la Central, en ambos casos se ha considerado una certeza del 95%

Cálculo de incertidumbre - Potencia Bruta											
Variable	Unidad	Promedio	Desviación estándar	N	ts,v - 95%	Error de medición (Bx)	Error aleatorio (Sx)	Factor de sensibilidad (θ)	Incertidumbre sistémica ($Bx*\theta$)	Incertidumbre aleatoria ($Sx*\theta*ts,v$)	
P _{BRUTA}	[kW]	85031.33	70.340	27	2.056	488.47	13.54	1.017	1021.47	28.31	
FP	[-]	0.983	0.000	26	2.060	0.006	0.0001	-1811.30	-21.07	-0.35	
									U_R	1022.08	[kW]

Tabla 6.8 – Cálculo de incertidumbre para la Potencia Bruta corregida de la Central

Cálculo de incertidumbre - Potencia Neta											
Variable	Unidad	Promedio	Desviación estándar	N	ts,v - 95%	Error de medición (Bx)	Error aleatorio (Sx)	Factor de sensibilidad (θ)	Incertidumbre sistémica ($Bx*\theta$)	Incertidumbre aleatoria ($Sx*\theta*ts,v$)	
P _{BRUTA}	[kW]	85031.33	70.34	27	2.056	488.47	13.54	1.017	1021.47	28.31	
FP	[-]	0.983	0.000	26	2.060	0.006	0.0001	-1811.303	-21.07	-0.35	
P _{SSAA}	[kW]	26.297	1.280	28	2.052	0.091	0.2419	-1.000	-0.19	-0.50	
									U_R	1022.08	[kW]

Tabla 6.9 – Cálculo de incertidumbre para la Potencia Neta corregida de la Central



7 CONCLUSIONES

Se realizaron con éxito las pruebas de Potencia Máxima para la Central Hidroeléctrica Curillinque.

La Central fue capaz de sostener en forma estable la potencia en sus bornes de salida por un período de tiempo superior a las 5 horas.

Se determinaron los siguientes valores de **Potencia Máxima Bruta** de la Central Hidroeléctrica Curillinque con el siguiente desglose de valores:

Resumen de resultados CH Curillinque		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	85.0313
	Bruta Corregida [MW]	84.9719
	Neta Medida [MW]	84.6773
	Neta Corregida [MW]	84.6179
Pérdidas y consumos internos	Consumos de SSAA [kW]	26.297
	Pérdidas en transformador principal [kW]	327.681
	Pérdidas totales [kW]	353.978

Tabla 7.1 – Resumen resultados



8 NORMATIVA

- Anexo Técnico: "Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras".
- Norma ASME PTC 19.1 "Test Uncertainty"



9 ANEXOS

9.1 Datos de placa del generador y turbina

Turbina	
Fabricante	Rainpower
Tipo de turbina	Francis
Año de puesta en servicio	1993
Potencia nominal	88,9 MW
Caudal nominal	84 m ³ /s
Altura neta nominal	114,29 m
Velocidad nominal	230,8 rpm
Generador	
Fabricante	ABB
Año de fabricación	1993
Potencia nominal	90 MVA
Potencia máxima permanente	98,8 MVA
Tensión nominal	13800 V
Corriente nominal	3765 A
Frecuencia nominal	50 Hz
Factor de potencia nominal	0,95
Velocidad nominal	230,8 rpm
Velocidad de embalamiento	425 rpm
Número de polos	26
Peso del rotor del generador	215 ton

Figura 9.1 – Datos característicos de la unidad

ABB		GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA	
ASEA BROWN BOVERI			
No. : HT 200 058	Año de fabricación: 1993	Tipo: WV 570/160/26	
Potencia: 90 000 kVA	Cos ϕ : 0.95	Peso del Rotor: 215 T	Peso del Estator: 250 T
Velocidad: 230.8/425 RPM	Frecuencia: 50 Hz		
Sentido de rotación: \rightarrow	Inercia del Rotor: 960 tm ²		
Tensión nominal del Estator: 13800 V	Corriente nominal del Estator: 3765 A	Corriente para sobrecarga máxima del Estator: 4153 A	Aislación clase F
de Excitación: 205 Vcc	de Excitación: 928 A	de Excitación: 1055 A	F
Calentamiento del Estator/Rotor		Sobrecarga Máxima permanente para Cos ϕ : 0.9	
para sobrecarga máx. permanente:	75/75 K	98.843 MVA	
para carga normal:	60/60 K		

Figura 9.2 – Placa generador



9.2 Curvas características del generador

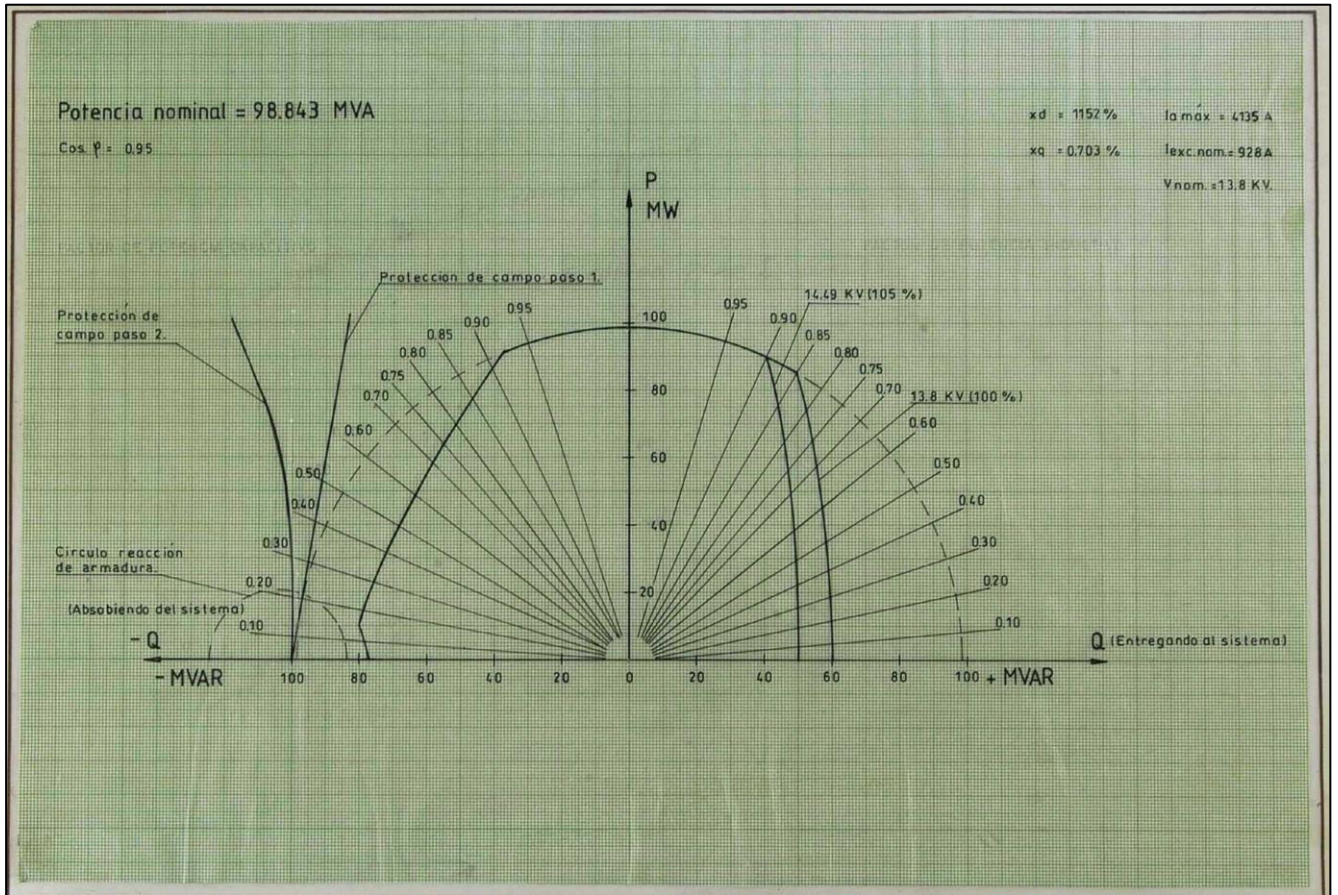


Figura 9.3 – Curva de capacidad

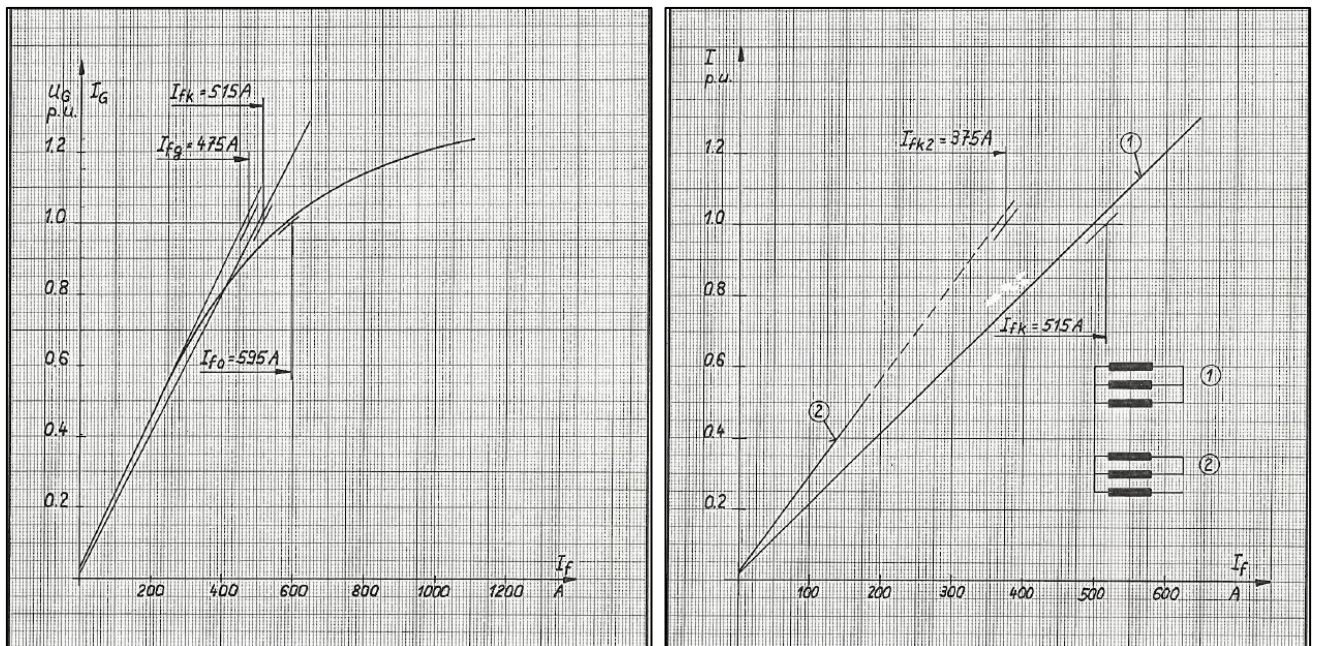


Figura 9.4 – Curva de saturación y cortocircuito



9.3 Curvas de Colina

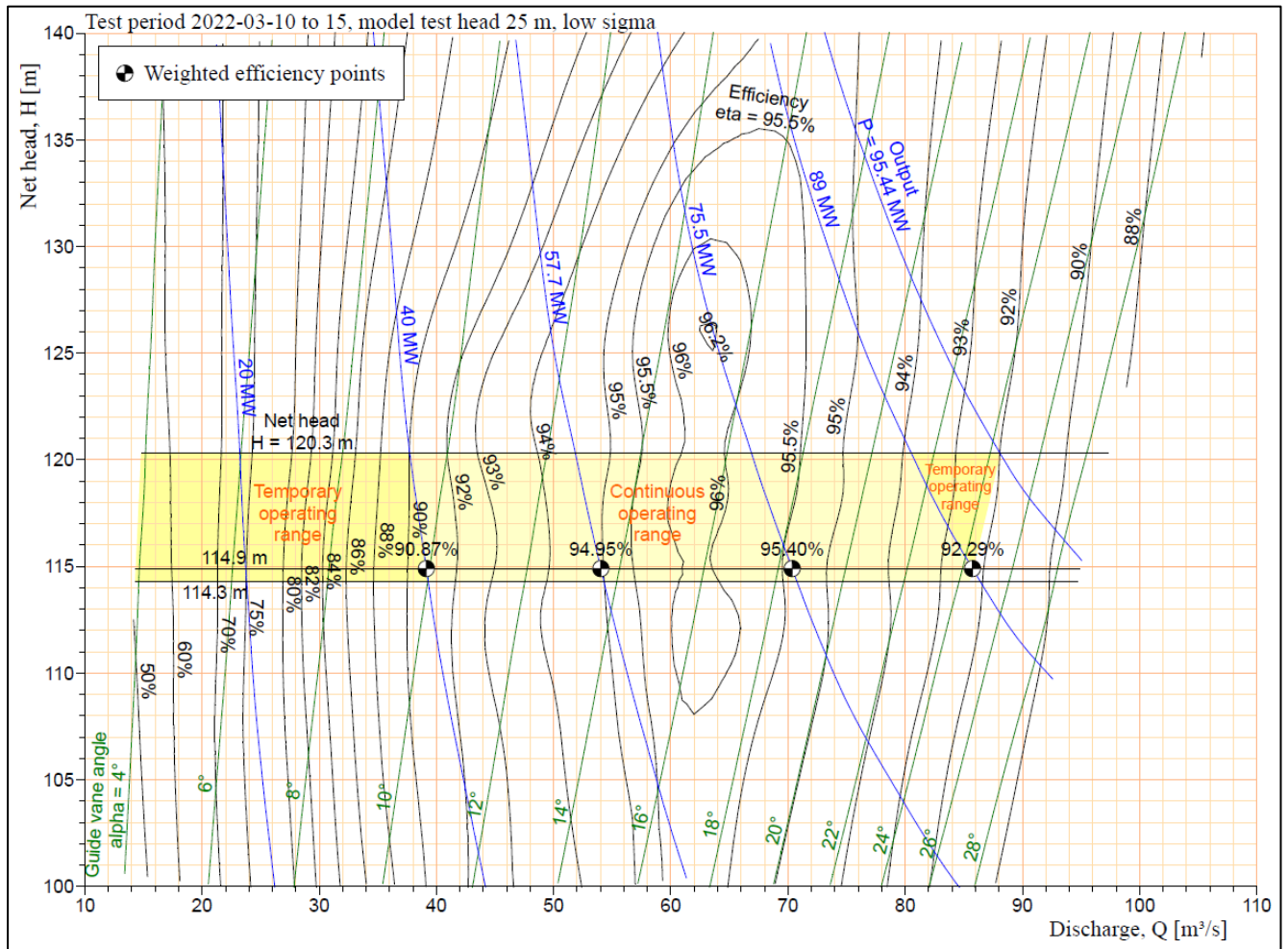


Figura 9.5 – Curvas de Colina



9.4 Datos característicos transformador principal

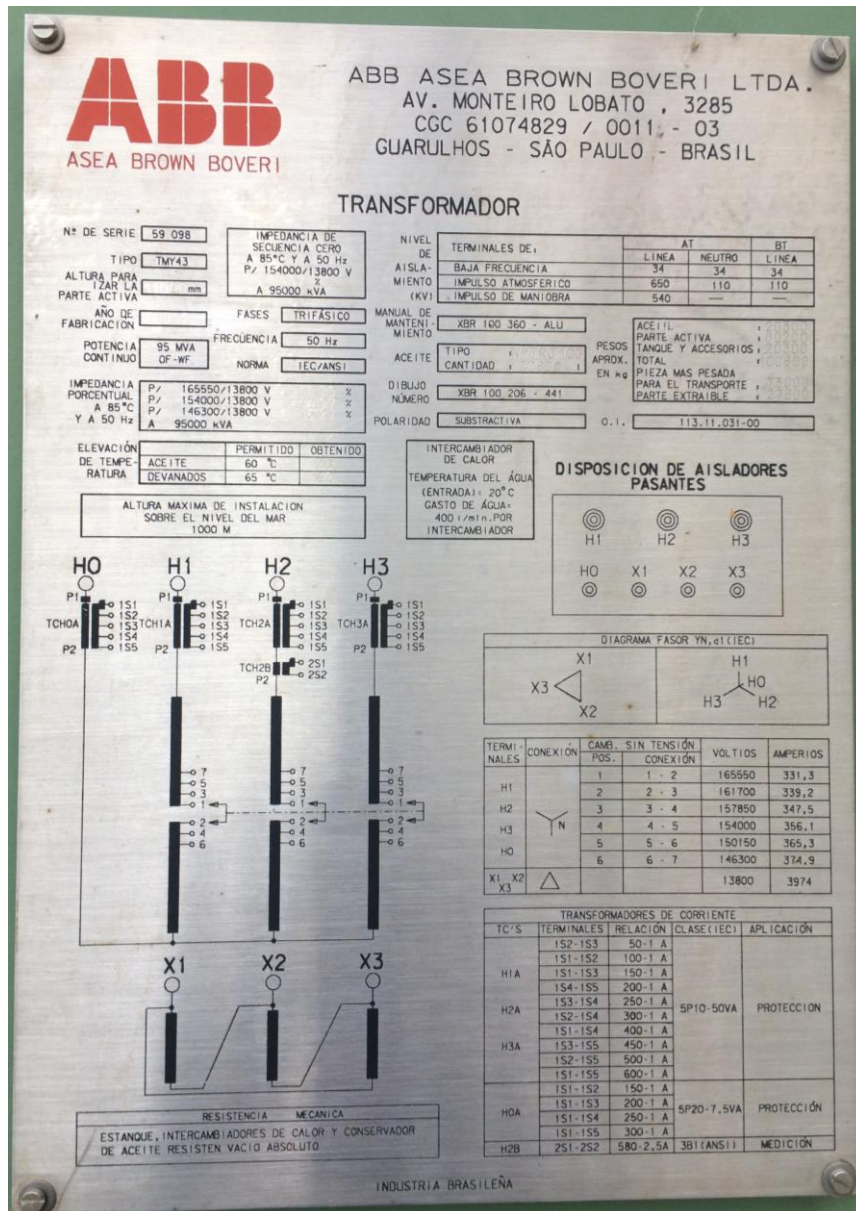


Figura 9.6 – Foto de placa transformador principal



9.5 Datos característicos transformador de servicios auxiliares

Diagrama de conexión		Transformador	Ph	Tipo
⑥	3-6	13110 V		
③	3-5	13455 V		
⑤	2-5	13800 V		
④	2-4	14145 V		
①	1-4	14490 V		
TRASFOR		Potencia nom.	800 kVA	Norma
		No. ref.		No. de fabric.
		Prim. U ₁	13800 V	I ₁ 33.5 A
		Sec. 1 U ₂₁	400 V	I ₂₁ 155 A
		Sec. 2 U ₂₂	V	I ₂₂ A
		Frecuencia	50 Hz	Voltaje nom. de imp. 4.17 %
		Simbolo de conexión	YY0	Ciclo de carga 50 %
		Refrigeración	AN	Clase de aislamiento
		Nivel de aislamiento	FC 35/3	Grado de protección IP 33
		Sobrecorriente	kA	Tiempo de corto circuito s
		Año de fabricación	2012	Peso total 400 kg
				3.31666

Figura 9.7 – Foto de placa transformador SSAA



9.6 Puntos de medición

9.6.1 Potencia bruta

En el siguiente unilineal se pueden identificar los puntos de medición de la potencia bruta. Se muestran los núcleos de los transformadores de corriente y tensión de clase 0.5 y 0.2 respectivamente.

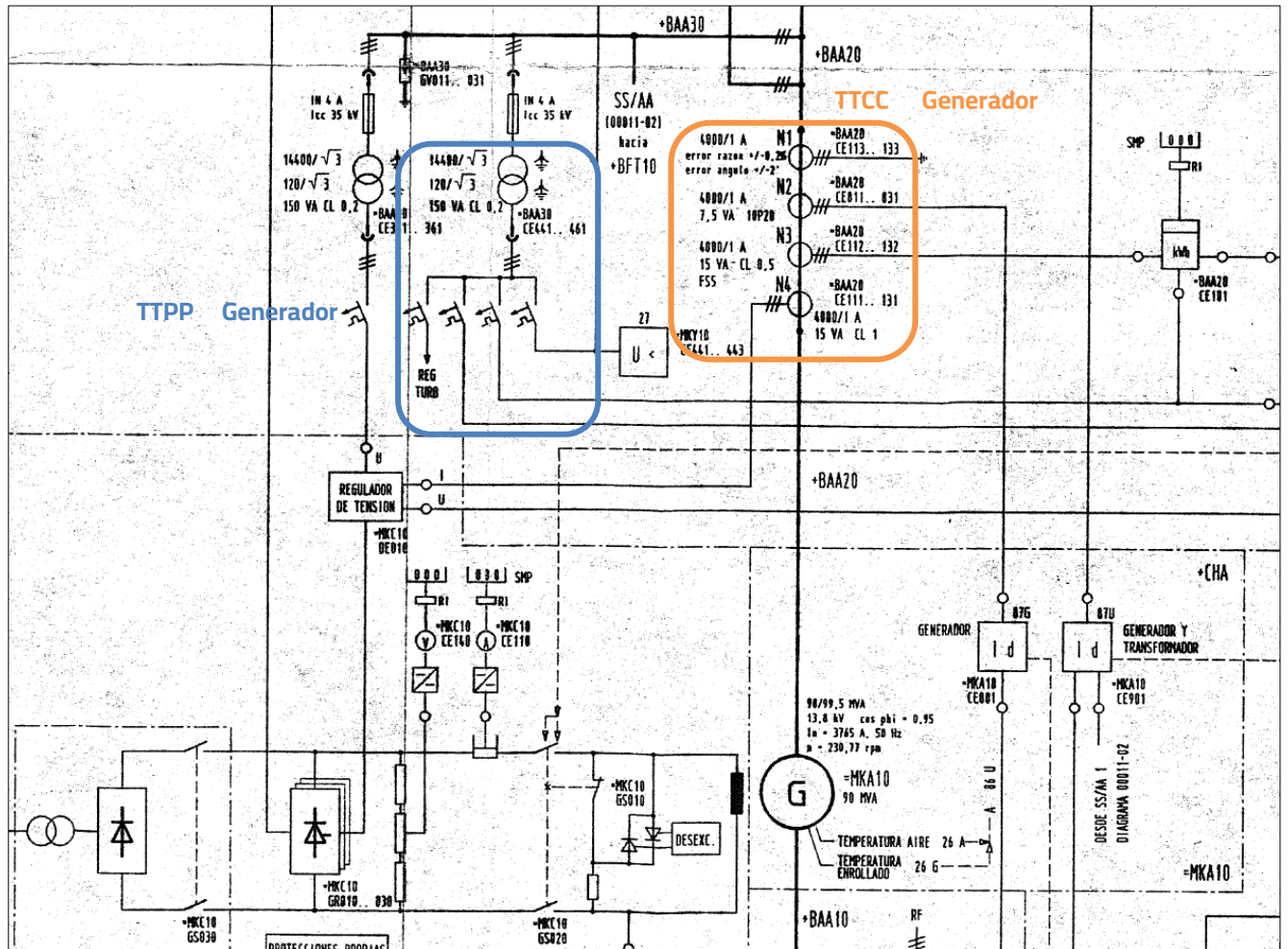


Figura 9.8 – Punto de medición – Potencia bruta



En el siguiente trifilar se pueden identificar los puntos de medición de la potencia bruta:

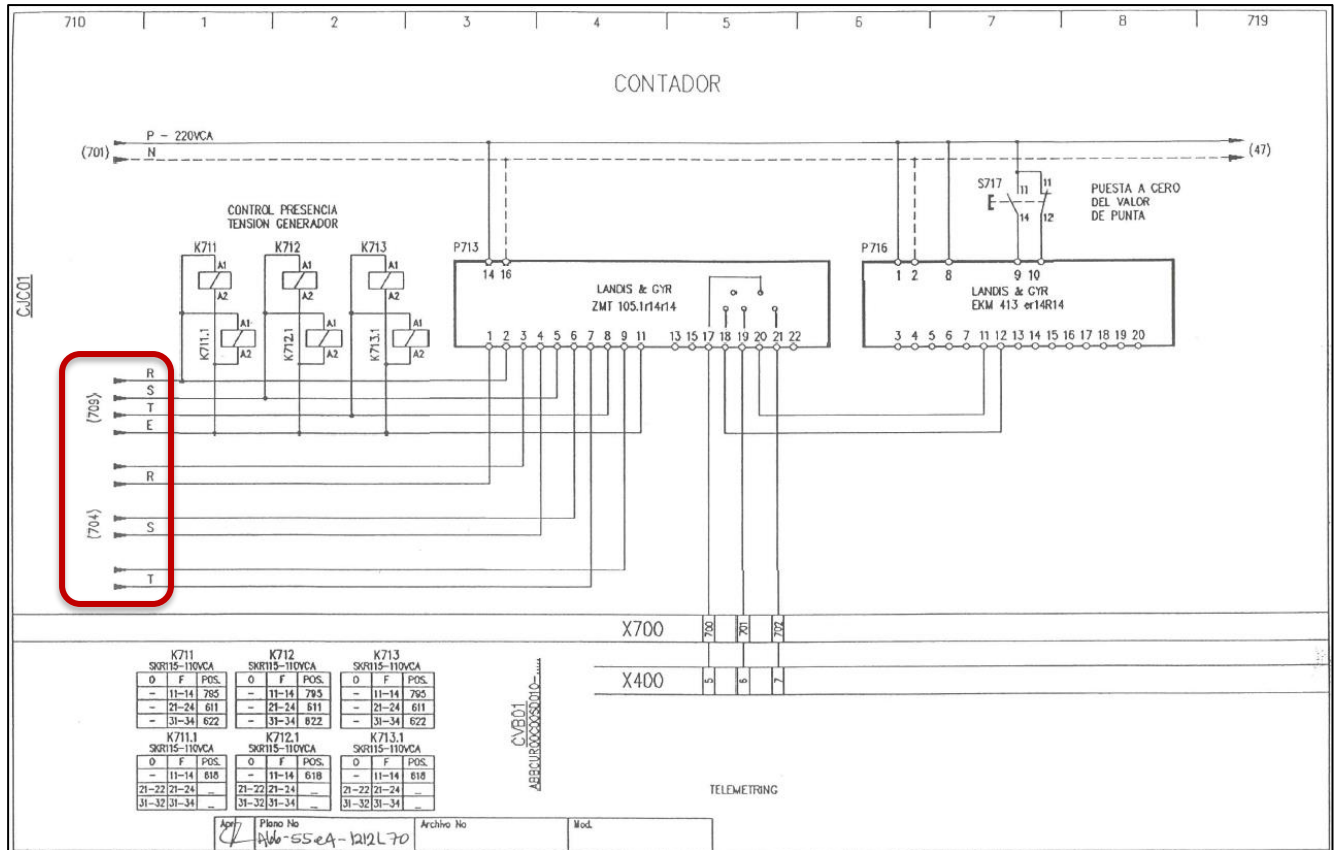


Figura 9.9 – Puntos de medición de tensión y corriente - Medidor de potencia bruta y factor de potencia

En la siguiente imagen se presenta la foto de placa del transformador de tensión:

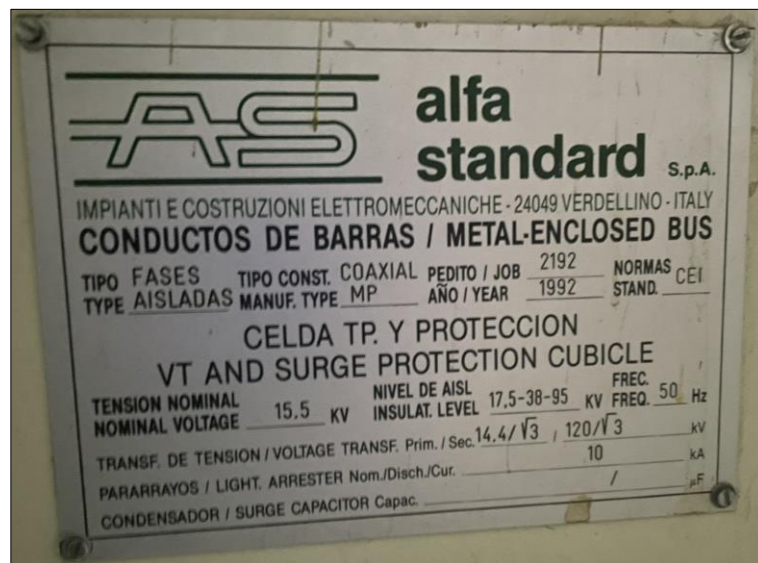


Figura 9.10 – Datos de placa de TP de generador



En las siguientes imágenes se presentan las fotos del medidor:

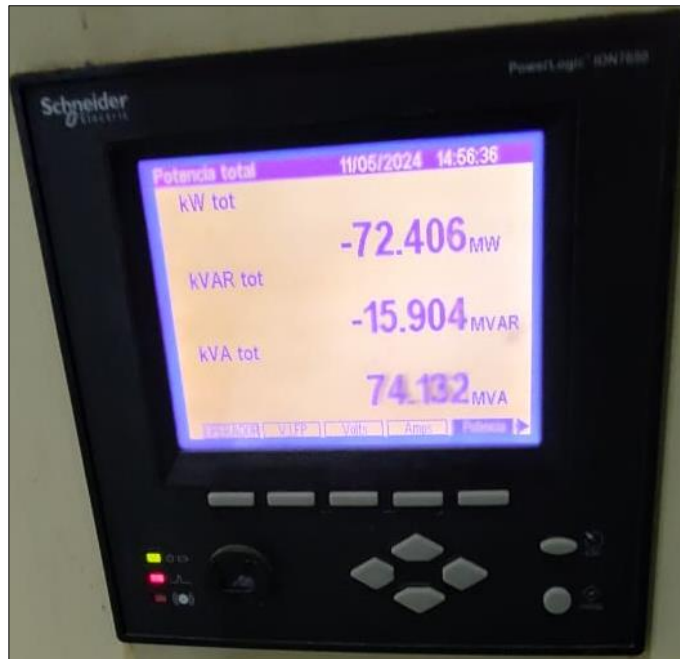


Figura 9.11 – Equipo medidor ION 7650 – Potencia bruta

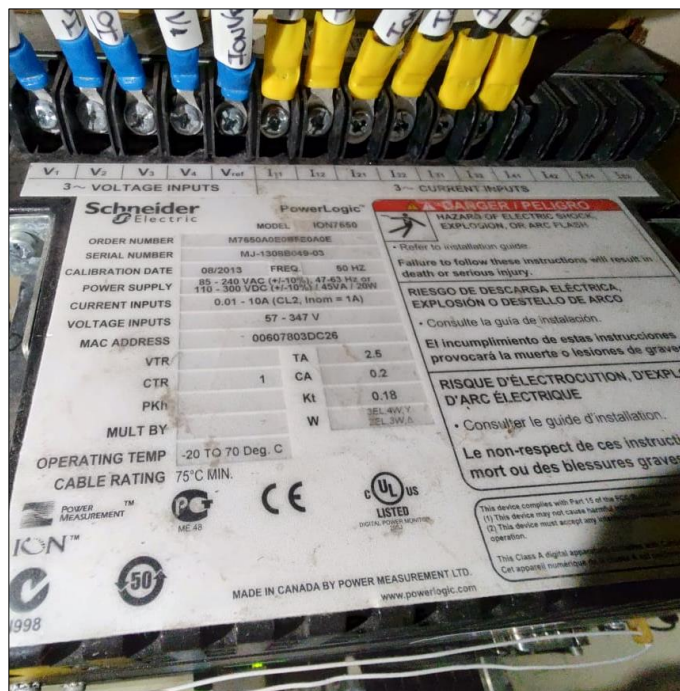


Figura 9.12 – Equipo medidor ION 7650 – Potencia bruta



9.6.2 Potencia SSAA

En el siguiente unilineal se pueden identificar los puntos de medición de la potencia de SSAA.

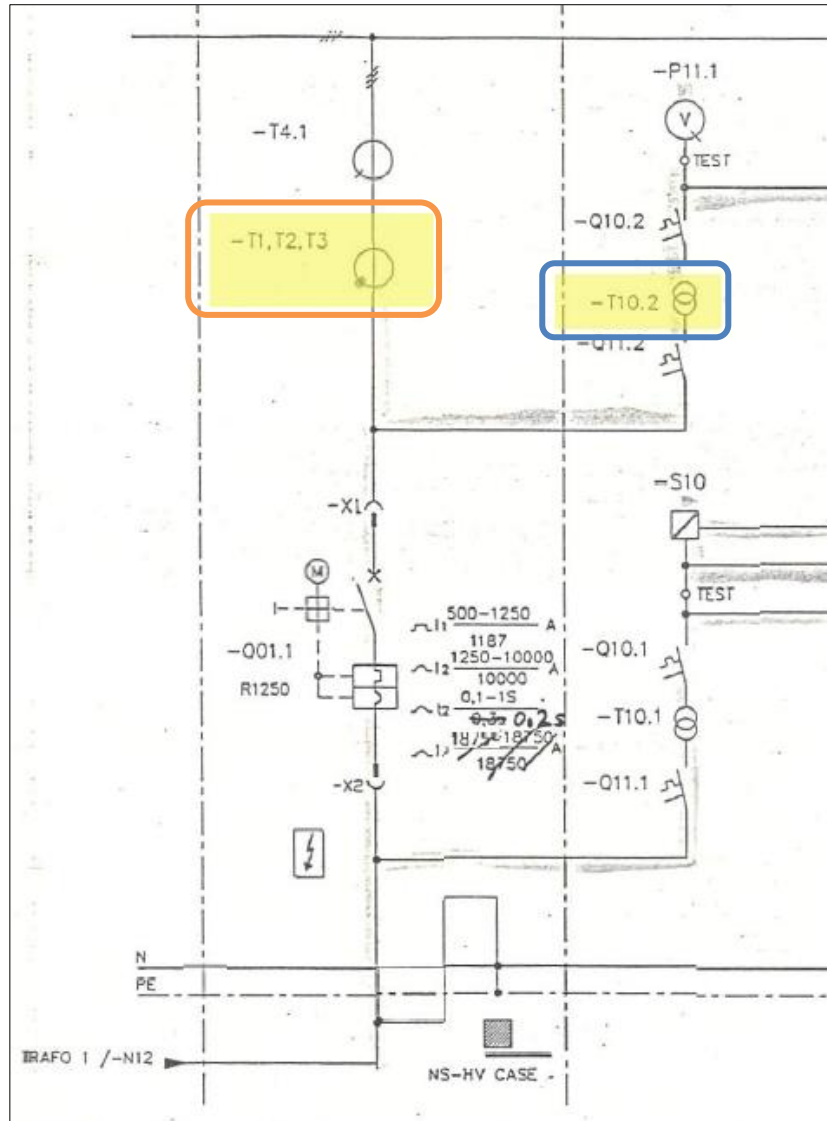


Figura 9.13 – Punto de medición – Potencia SSAA



En las siguientes imágenes se presentan las fotos del medidor:

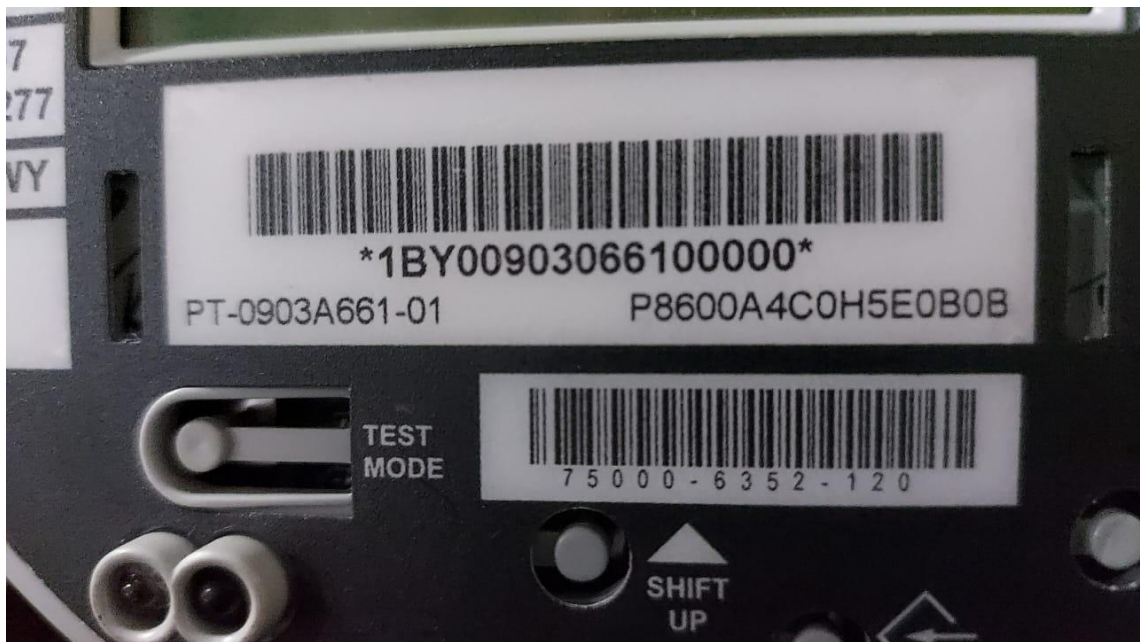


Figura 9.14 - Equipo medidor ION 8600 – Potencia SSAA



9.7 Instrumental de medición

En este apartado se describen las características principales de los instrumentos a utilizar y se presentan sus certificados actualizados de calibración.

9.7.1 Potencia bruta/FP

El Coordinado informa que se utilizará el medidor que tiene dentro de sus instalaciones. Este medidor es clase 0.2 y cumple con los requerimientos establecidos en el anexo técnico.

El Coordinado ha realizado pruebas de certificación de este equipo previo al desarrollo de las pruebas. A continuación, se incluyen el certificado de calibración.

Los registros de datos se deberán realizar con una tasa de muestreo cada 1 minuto y serán entregados en formato xlsx o csv.



FT-LAB-7.8c		CERTIFICADO DE EXACTITUD LABORATORIO DE TECNORED S.A. MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA																																																																																																	
		FOLIO: 39133																																																																																																	
ANTECEDENTES DEL CLIENTE				RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA																																																																																															
N° / Fecha de Solicitud : JA10091650 / 28.10.2021 Fecha Calibración : 04.10.2022 Medidor : ION 7650 Cliente : Enel Chile S.A. Instalación : Unidad 1 Subestación : Central Curillínque				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N</th> <th rowspan="2">Fase</th> <th rowspan="2">Cte. %</th> <th rowspan="2">Factor</th> <th colspan="2">Componente Activa Directa</th> <th colspan="2">Componente Activa Reversa</th> </tr> <tr> <th>Error (%)</th> <th>Límite Norma (%)</th> <th>Error (%)</th> <th>Límite Norma (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>123</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,039</td><td>± 0,2</td><td>-0,042</td><td>± 0,2</td></tr> <tr><td>2</td><td>123</td><td>100</td><td>0,5</td><td>0,008</td><td>± 0,3</td><td>-0,030</td><td>± 0,3</td></tr> <tr><td>3</td><td>123</td><td>10</td><td>1</td><td>-0,054</td><td>± 0,2</td><td>-0,055</td><td>± 0,2</td></tr> <tr><td>4</td><td>123</td><td>10</td><td>0,5</td><td>-0,027</td><td>± 0,3</td><td>-0,036</td><td>± 0,3</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,052</td><td>± 0,3</td><td>-0,042</td><td>± 0,3</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,024</td><td>± 0,3</td><td>-0,026</td><td>± 0,3</td></tr> <tr><td>7</td><td>3</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,022</td><td>± 0,3</td><td>-0,032</td><td>± 0,3</td></tr> <tr><td>8</td><td>1</td><td>100</td><td>0,5</td><td>-0,041</td><td>± 0,4</td><td>-0,038</td><td>± 0,4</td></tr> <tr><td>9</td><td>2</td><td>100</td><td>0,5</td><td>0,011</td><td>± 0,4</td><td>-0,002</td><td>± 0,4</td></tr> <tr><td>10</td><td>3</td><td>100</td><td>0,5</td><td>-0,011</td><td>± 0,4</td><td>0,008</td><td>± 0,4</td></tr> </tbody> </table>				N	Fase	Cte. %	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa		Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)	1	123	100	1	-0,039	± 0,2	-0,042	± 0,2	2	123	100	0,5	0,008	± 0,3	-0,030	± 0,3	3	123	10	1	-0,054	± 0,2	-0,055	± 0,2	4	123	10	0,5	-0,027	± 0,3	-0,036	± 0,3	5	1	100	1	-0,052	± 0,3	-0,042	± 0,3	6	2	100	1	-0,024	± 0,3	-0,026	± 0,3	7	3	100	1	-0,022	± 0,3	-0,032	± 0,3	8	1	100	0,5	-0,041	± 0,4	-0,038	± 0,4	9	2	100	0,5	0,011	± 0,4	-0,002	± 0,4	10	3	100	0,5	-0,011	± 0,4	0,008	± 0,4
N	Fase	Cte. %	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa																																																																																													
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)																																																																																												
1	123	100	1	-0,039	± 0,2	-0,042	± 0,2																																																																																												
2	123	100	0,5	0,008	± 0,3	-0,030	± 0,3																																																																																												
3	123	10	1	-0,054	± 0,2	-0,055	± 0,2																																																																																												
4	123	10	0,5	-0,027	± 0,3	-0,036	± 0,3																																																																																												
5	1	100	1	-0,052	± 0,3	-0,042	± 0,3																																																																																												
6	2	100	1	-0,024	± 0,3	-0,026	± 0,3																																																																																												
7	3	100	1	-0,022	± 0,3	-0,032	± 0,3																																																																																												
8	1	100	0,5	-0,041	± 0,4	-0,038	± 0,4																																																																																												
9	2	100	0,5	0,011	± 0,4	-0,002	± 0,4																																																																																												
10	3	100	0,5	-0,011	± 0,4	0,008	± 0,4																																																																																												
ANTECEDENTES DEL MEDIDOR				RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA																																																																																															
Marca : Schneider Electric Modelo : M7650A0E0B5E0A0E N° de Serie : MJ-1308B049-03 Estado : En Servicio Año Fabricación : 2013 Clase Exactitud (%) : 0,2 Constante Med. : 1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N</th> <th rowspan="2">Fase</th> <th rowspan="2">Cte. %</th> <th rowspan="2">Factor</th> <th colspan="2">Componente Reactiva Directa</th> <th colspan="2">Componente Reactiva Reversa</th> </tr> <tr> <th>Error (%)</th> <th>Límite Norma (%)</th> <th>Error (%)</th> <th>Límite Norma (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>123</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,046</td><td>± 2,0</td><td>-0,042</td><td>± 2,0</td></tr> <tr><td>2</td><td>123</td><td>100</td><td>0,5</td><td>-0,017</td><td>± 2,0</td><td>-0,156</td><td>± 2,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>123</td><td>10</td><td>1</td><td>-0,045</td><td>± 2,0</td><td>-0,055</td><td>± 2,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>123</td><td>10</td><td>0,5</td><td>-0,032</td><td>± 2,0</td><td>-0,054</td><td>± 2,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,007</td><td>± 3,0</td><td>0,181</td><td>± 3,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,037</td><td>± 3,0</td><td>0,025</td><td>± 3,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>3</td><td>100</td><td>1</td><td>-0,037</td><td>± 3,0</td><td>-0,008</td><td>± 3,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>1</td><td>100</td><td>0,5</td><td>-0,045</td><td>± 3,0</td><td>-0,038</td><td>± 3,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>2</td><td>100</td><td>0,5</td><td>0,003</td><td>± 3,0</td><td>0,003</td><td>± 3,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>3</td><td>100</td><td>0,5</td><td>0,013</td><td>± 3,0</td><td>-0,016</td><td>± 3,0</td></tr> </tbody> </table>				N	Fase	Cte. %	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa		Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)	1	123	100	1	-0,046	± 2,0	-0,042	± 2,0	2	123	100	0,5	-0,017	± 2,0	-0,156	± 2,0	3	123	10	1	-0,045	± 2,0	-0,055	± 2,0	4	123	10	0,5	-0,032	± 2,0	-0,054	± 2,0	5	1	100	1	-0,007	± 3,0	0,181	± 3,0	6	2	100	1	-0,037	± 3,0	0,025	± 3,0	7	3	100	1	-0,037	± 3,0	-0,008	± 3,0	8	1	100	0,5	-0,045	± 3,0	-0,038	± 3,0	9	2	100	0,5	0,003	± 3,0	0,003	± 3,0	10	3	100	0,5	0,013	± 3,0	-0,016	± 3,0
N	Fase	Cte. %	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa																																																																																													
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)																																																																																												
1	123	100	1	-0,046	± 2,0	-0,042	± 2,0																																																																																												
2	123	100	0,5	-0,017	± 2,0	-0,156	± 2,0																																																																																												
3	123	10	1	-0,045	± 2,0	-0,055	± 2,0																																																																																												
4	123	10	0,5	-0,032	± 2,0	-0,054	± 2,0																																																																																												
5	1	100	1	-0,007	± 3,0	0,181	± 3,0																																																																																												
6	2	100	1	-0,037	± 3,0	0,025	± 3,0																																																																																												
7	3	100	1	-0,037	± 3,0	-0,008	± 3,0																																																																																												
8	1	100	0,5	-0,045	± 3,0	-0,038	± 3,0																																																																																												
9	2	100	0,5	0,003	± 3,0	0,003	± 3,0																																																																																												
10	3	100	0,5	0,013	± 3,0	-0,016	± 3,0																																																																																												
PATRON DE CALIBRACION				CONDICIONES DE MEDIDA																																																																																															
Marca : MTE Modelo : PTS 3.3 genX N° Serie : 95502 Clase de Exactitud : 0,05 Trazabilidad : Laboratorio Tecnored				Lugar de Calibración : Central Curillínque Tipo de Medida : W, ESTRELLA/ACTIVO Tensión Aplicada : 63,5 (V) Corriente Nominal : 1 (A) N° de Elementos : 3 Método Calibración : Comparación Directa Frecuencia (Hz) : 50 (HZ) Temperatura (C°) : 17,2 Humedad (%) : 34,4 Calibrador : F. Cifuentes - M. Montecino																																																																																															
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES																																																																																																			
Los errores encontrados cumplen con la Normativa Vigente IEC 62053-22 (ITEM 8.1). Tecnored S.A., declina toda responsabilidad por el uso indebido que se hicieran de este certificado. Este documento no puede ser reproducido en forma parcial.																																																																																																			
						 _____ Jaime Eduardo García Collao Jefe Área Laboratorio y Medidas																																																																																													
TECNORED S.A. Cerro El Plomo 3819 Barrio Industrial Curauma, Valparaíso Fono: 56-32-2452580 fax: 56-32-2452571 www.tecnored.cl ventas@tecnored.cl																																																																																																			

Figura 9.15 – Certificado de calibración de medidor de potencia bruta



9.7.2 Potencia SSAA

El Coordinado informa que se utilizará un equipo de medida externo ION 8600. Este medidor es clase 0.2 y cumple con los requerimientos establecidos en el anexo técnico.

El Coordinado ha realizado pruebas de certificación de este equipo previo al desarrollo de las pruebas. A continuación, se incluyen el certificado de calibración.

Los registros de datos se deberán realizar con una tasa de muestreo cada 1 minuto y serán entregados en formato xlsx o csv.



FT-LAB-7.8c

TECNORED

CERTIFICADO DE EXACTITUD
LABORATORIO DE TECNORED S.A.
MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME :

27.11.2024

FOLIO: 41288

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
Nº / Fecha de Solicitud	: Correo		
Fecha Calibración	: 27.11.2024		
Medidor	: ION 8600		
Cliente	: Tecnored S.A.		
Instalación	: Remarcador		
Subestación	: Remarcador		

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR			
Marca	: Schneider Electric		
Modelo	: P8600A4C0H5E0B0B		
Nº de Serie	: PT-0903A661-01		
Estado	: Fuera de Servicio		
Año Fabricación	: 2009		
Clase Exactitud (%)	: 0,2		
Constante Med.	: 1		

PATRON DE CALIBRACIÓN			
Marca	: MTE		
Modelo	: PTS 3.3C		
Nº Serie	: 49089		
Clase de Exactitud	: 0,05		
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored		

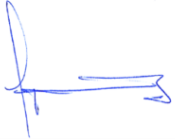
CONDICIONES DE MEDIDA			
Lugar de Calibración	: Laboratorio Tecnored		
Tipo de Medida	: W.ESTRELLA/ACTIVO		
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)		
Corriente Nominal	: 5 (A)		
Nº de Elementos	: 3		
Método Calibración	: Comparación Directa		
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)		
Temperatura (C°)	: 22.1		
Humedad (%)	: 33.4		
Calibrador	: O. Vergara		

RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Limite Norma (%)	Error (%)	Limite Norma (%)
1	123	100	1	-0,115	± 0,2	-0,112	± 0,2
2	123	100	0,5	-0,124	± 0,3	-0,129	± 0,3
3	123	10	1	-0,126	± 0,2	-0,121	± 0,2
4	123	10	0,5	-0,151	± 0,3	-0,150	± 0,3
5	1	100	1	-0,100	± 0,3	-0,115	± 0,3
6	2	100	1	-0,112	± 0,3	-0,125	± 0,3
7	3	100	1	-0,112	± 0,3	-0,100	± 0,3
8	1	100	0,5	-0,093	± 0,4	-0,119	± 0,4
9	2	100	0,5	-0,110	± 0,4	-0,133	± 0,4
10	3	100	0,5	-0,124	± 0,4	-0,098	± 0,4

RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Limite Norma (%)	Error (%)	Limite Norma (%)
1	123	100	1	-0,111	± 2,0	-0,108	± 2,0
2	123	100	0,5	-0,116	± 2,0	-0,111	± 2,0
3	123	10	1	-0,115	± 2,0	-0,117	± 2,0
4	123	10	0,5	-0,149	± 2,0	-0,161	± 2,0
5	1	100	1	-0,114	± 3,0	-0,112	± 3,0
6	2	100	1	-0,126	± 3,0	-0,114	± 3,0
7	3	100	1	-0,101	± 3,0	-0,101	± 3,0
8	1	100	0,5	-0,111	± 3,0	-0,105	± 3,0
9	2	100	0,5	-0,113	± 3,0	-0,125	± 3,0
10	3	100	0,5	-0,119	± 3,0	-0,096	± 3,0

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Los errores encontrados cumplen con la Normativa Vigente IEC 62053-22 (ITEM 8.1). Tecnored S.A., declina toda responsabilidad por el uso indebido que se hicieran de este certificado. Este documento no puede ser reproducido en forma parcial.


 Jaime Eduardo Garcia Collao
 Jefe Área Laboratorio y Medidas

TECNORED S.A.
 Cerro El Plomo 3819 Barrio Industrial Curauma, Valparaíso
 Fono: 56-32-2452580 fax: 56-32-2452571
 www.tecnored.cl ventas@tecnored.cl

Figura 9.16 - Certificado de calibración de medidor de potencia de SSAA



9.8 Actas de ensayos

Se incluyen a continuación las actas confeccionadas al finalizar los ensayos. Se considera un documento para cada prueba.

ESTUDIOS ELECTRICOS

ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

ACTA DE ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Fecha	05/12/2024	Empresa	ENEL Generación S.A.
ID Proyecto	EE-2024-222	Ubicación	Comuna San Clemente, Región del Maule
Central	Central Hidroeléctrica Curillinque		
Denominación de la unidad	Unidad 1 (Central Completa)		

Responsables durante la prueba


Empresa	Nombre	Firmas
ENEL Generación S.A. (Coordinado)	Sergio López Neira <i>Head of Control System & Power Electronics.</i>	Signed by Sergio López Neira Date: 16/12/2024 19:44:37 CET
	Jaime Aguilera Cerda <i>Control System & Power Electronics Senior Specialist. Technical & Maintenance Service.</i>	Signed by Jaime Aguilera Cerda Date: 16/12/2024 22:00:21 CET
	German Concha Vielma <i>Head of Elec Power Syst & Grid Standards.</i>	Signed by German Concha Vielma Date: 16/12/2024 19:50:29 CET
	Flavio Serey Lizama <i>Senior Specialist Elec Power Syst & Grid Standards.</i>	Signed by Flavio Serey Lizama Date: 16/12/2024 20:00:39 CET
	Claudio Berros Cancino <i>Operador Mantenedor Centrales del Maule</i>	Signed by Claudio Jose Berros Cancino Date: 16/12/2024 23:12:40 CET
	Juan Carlos, Bello Tellez <i>Control System & Power Electronics Senior Specialist. Technical & Maintenance Service</i>	Signed by Juan Carlos Bello Tellez Date: 16/12/2024 19:46:30 CET

www.estudios-electricos.com

Figura 9.17 – Acta de pruebas Unidad (1 de 3)



ESTUDIOS ELÉCTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Estudios Eléctricos	Federico Deledda - Experto Técnico	
---------------------	------------------------------------	---

Datos de las unidades

Potencia aparente nominal [MVA]	90	Corriente de estator nominal [A]	3765
Tensión de estator nominal [kV]	13.8	Factor de potencia nominal	0.95
Potencia activa máxima [MW]	88.9MW <i>Declarado CEN</i>	Corriente de excitación nominal [A]	928
Mínimo Técnico [MW]	-	Tensión de excitación nominal [V]	205

Datos de la prueba

Estado previo de las unidades	<i>Despachadas</i>	Arranque de las unidades (fecha-hora)	05/12/2024 -
Inicio del período de estabilización	19:30 Hs	Fin del período de estabilización	20:00 Hs
Inicio del período de prueba Potencia Máxima	20:00 Hs	Fin del período de prueba Potencia Máxima	01:00 Hs (06/12/2024)
Protocolo aplicable	EE-EN-2024-1759 Rev D	Desvíos del protocolo	No

Instrumental

Magnitud	Descripción de equipos y punto de conexión
Potencia bruta y factor de potencia	Unidad N°1 - ION 8650 - N° Serie: MJ-1308B049-03
Potencia SSAA	ION 8600 - N° Serie: PT-0903A661-01

www.estudios-electricos.com

Figura 9.18 – Acta de pruebas Unidad (2 de 3)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Valores preliminares

En la siguiente tabla se presentan los valores promedio sin corrección de la potencia bruta de la unidad bajo prueba, que corresponde también a la de la central completa, obtenidos durante el desarrollo de las pruebas de potencia máxima:

Período	1	2	3	4	5
Potencia Bruta Unidad 1 [MW]	85.238	85.119	85.026	84.912	84.862

Observaciones

Desvíos del protocolo: Sin desvíos.

Modalidad de las pruebas: La prueba de potencia máxima se realiza en **modalidad teledirigida y en horario nocturno**.

Desarrollo de la prueba: La unidad logra controlar de manera estable su potencia en bornes desde la sincronización hasta el fin de la prueba. En total se registraron 5 horas en condiciones de potencia máxima luego de finalizado el periodo de estabilización.

Durante el desarrollo de las pruebas la unidad operó a máxima potencia dada por la condición de nivel de la bocatoma Curillínque. La regulación de frecuencia estuvo operativa con un estatismo configurado de 6% en la unidad.

Por otra parte, debido a las condiciones del sistema a la hora de realizar el ensayo se pudo alcanzar un factor de potencia de aproximadamente 0.98.

Estabilidad durante las pruebas: Se observó operación estable de la unidad. El análisis preciso de la estabilidad en todas las variables establecidas será realizado en el informe final.

Comentarios: Se verificó sincronización horaria. Los medidores de potencia bruta y de SS.AA. de la unidad se encuentran sincronizados. Se verificó la tasa de muestreo de 1 minuto en todos los medidores.

ENEL Generación entregó la totalidad de los registros digitales de esta prueba. La entrega se compone de dos archivos de distintas fuentes: registros de variables eléctricas (Potencia bruta y Potencia de SS.AA.) y sistema SCADA de planta.

Los servicios auxiliares quedan alimentados únicamente desde la Unidad 1 a través del transformador de SSAA Nº1 (interruptores 52SA1 y 52SAS cerrados).

Conclusiones: Se verificó con éxito que la unidad y por ende la central completa puede operar a máxima potencia por un período superior a las 5 horas requeridas en el Anexo Técnico. Se obtuvieron los datos necesarios para realizar el cálculo formal del valor de Potencia Máxima.

www.estudios-electricos.com

Figura 9.19 – Acta de pruebas Unidad (3 de 3)



Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente.