

Empresa: Coordinador Eléctrico Nacional

País: Chile

Proyecto: Central Hidroeléctrica Antuco

Descripción: Informe de Pruebas de Potencia Máxima

Código de Proyecto: EE-2021-115

Código de Informe: EE-EN-2022-1763

Revisión: A



11 de noviembre de 2022



Este documento EE-EN-2022-1763-RA fue preparado para Coordinador Eléctrico Nacional por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Andrés Capalbo

Subgerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani

Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 67 páginas y ha sido guardado por última vez el 11/11/2022 por Nicolás Silva, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev.	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	11/11/2021	Para presentar.	NS/FD/FG	AC	PR

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



Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	RESUMEN EJECUTIVO.....	6
3	OBJETIVO GENERAL Y RESPONSABLES DE LA PRUEBA.....	8
3.1	Objetivo.....	8
3.2	Condiciones Particulares.....	8
3.3	Experto Técnico.....	8
3.4	Representante empresa generadora.....	9
3.5	Representante del Coordinador Eléctrico Nacional.....	9
3.6	Observador de otro Coordinado.....	9
4	DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD Y CONDICIONES DE PRUEBA.....	10
4.1	Descripción general de la planta.....	10
4.2	Descripción de las unidades de generación.....	13
4.3	Condiciones de referencia y curvas de corrección.....	17
4.3.1	Curvas de corrección.....	18
4.3.2	Metodología de corrección.....	19
4.4	Instrumentación y mediciones.....	19
4.4.1	Metodología.....	22
4.4.2	Instrumentación principal.....	23
4.4.3	Mediciones complementarias.....	24
4.5	Estimación teórica de pérdidas y consumos propios de las unidades.....	25
4.5.1	Consumos propios de servicios auxiliares.....	26
4.5.2	Pérdidas en el transformador principal.....	27
4.5.3	Pérdidas en los transformadores auxiliares y de excitación.....	29
5	REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.....	31
5.1	Chequeos preliminares.....	31
5.2	Desarrollo de las pruebas.....	31
5.2.1	Verificaciones previas.....	31
5.3	Incremento de potencia, estabilización e inicio de la prueba.....	32
5.4	Período de prueba.....	34
6	CALCULOS REALIZADOS Y RESULTADOS.....	36



6.1	Reducción de datos y estabilidad.....	36
6.2	Determinación de la potencia de pérdidas totales.....	36
6.2.1	Desglose de la potencia de pérdidas totales.....	37
6.3	Correcciones aplicables a la potencia bruta.....	38
6.4	Cálculo de la potencia neta corregida.....	40
6.5	Cálculo del promedio final.....	41
6.6	Tabla Resumen general.....	42
6.7	Incertidumbre.....	44
7	CONCLUSIONES.....	46
8	NORMATIVA.....	47
9	ANEXOS.....	48
9.1	Características Turbina y Generador.....	48
9.2	Puntos de medición.....	49
9.2.1	Potencia bruta.....	49
9.2.2	Potencia neta.....	52
9.3	Certificados de calibración de instrumentos de medición.....	55
9.3.1	Potencia bruta/FP.....	55
9.3.2	Potencia neta.....	58
9.4	Acta de ensayos.....	61



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento describe las tareas, ensayos y cálculos realizados para obtener el valor de **Potencia Máxima de la Unidad 1 y la Unidad 2 de la Central Hidroeléctrica Antuco** en los términos establecidos en el “*ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras*”.

Para la ejecución de las pruebas se siguió el protocolo:

EE-EN-2021-1917-RB_Procedimiento_Potencia_Maxima_CH_Antuco

La Central Hidroeléctrica Antuco pertenece a Enel Generación S.A., está ubicada a 120 km al oriente de Los Ángeles, comuna Alto Biobío, Región del Biobío, está conformada por dos generadores sincrónicos idénticos impulsados por dos turbinas Francis de eje vertical. Particularmente las turbinas son marca Andritz para la unidad N°01 y marca Hitachi para la unidad N°02. Ambas impulsan generadores sincrónicos marca Hitachi de 160 MW de potencia.



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 neta.

Las pruebas de la Unidad 1 y la Unidad 2 se ejecutaron los días 13 y 12 de octubre de 2022 respectivamente. Todas las pruebas fueron realizadas en presencia de Juan Carlos Sánchez, Alejandro Pérez, Alejandro Cortés y Víctor Sáez por parte del Coordinado (Enel Generación S.A.) y Federico Deledda y Federico García como Expertos Técnicos (Estudios Eléctricos).

Durante el período de cada una de las pruebas se verificó que las unidades logren 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 las pruebas se operó la respectiva unidad en carga base con regulación de frecuencia operativa.

Nota: Para las pruebas de la Unidad 1 y la Unidad 2 no fue posible operar con un factor de potencia cercano a 0.95 debido a que las condiciones del Sistema no permitieron aumentar la inyección de reactivos para lograr dicho valor. Por esta razón, se operó en un factor de potencia cercano a 0.98 para ambas unidades en sus respectivas pruebas.

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 Antuco con el siguiente desglose de valores:

Resumen de resultados CH Antuco - Unidad 1		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	164,7122
	Bruta Corregida [MW]	164,6315
	Neta Medida [MW]	163,4282
	Neta Corregida [MW]	163,3475
Pérdidas y consumos internos	Consumos de SSAA [kW]	235,51
	Pérdidas en transformador principal [kW]	653,30
	Pérdidas en transformadores de SS.AA. [kW]	30,40
	Pérdidas en transformadores de excitación [kW]	16,10
	Pérdidas en la red interna [kW]	348,59
	Pérdidas totales [kW]	1283,90

Tabla 2-1 – Resumen resultados – Unidad 1

Resumen de resultados CH Antuco - Unidad 2		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	164,6451
	Bruta Corregida [MW]	164,4935
	Neta Medida [MW]	163,4321
	Neta Corregida [MW]	163,2804
Pérdidas y consumos internos	Consumos de SSAA [kW]	235,51
	Pérdidas en transformador principal [kW]	653,30
	Pérdidas en transformadores de SS.AA. [kW]	30,40
	Pérdidas en transformadores de excitación [kW]	16,10
	Pérdidas en la red interna [kW]	277,79
	Pérdidas totales [kW]	1213,10

Tabla 2-2 – Resumen resultados – Unidad 2



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 Particulares

Debido al contexto sanitario de pandemia COVID-19, según lo acordado con el Coordinador, el experto técnico no se presentó en las instalaciones del coordinado, sino que guió y supervisó su desarrollo de forma remota.

Desde planta las pruebas fueron dirigidas, con la supervisión del experto técnico, por el inspector sustituto designado por el Coordinado. Para las pruebas de la Central Hidroeléctrica Antuco los inspectores sustitutos fueron **Alejandro Cortés**, quien se desempeña como Mantenedor/Operador de la central, **Alejandro Pérez** quien se desempeña como Especialista Sr en Sistemas de Control, **Juan Carlos Sánchez**, quien se desempeña como Especialista en Sistemas de Control y **Víctor Sáez**, quien se desempeña como Plant Unit Laja.

En este contexto, se utilizó en todo momento un canal de comunicación bidireccional de audio y video entre el experto técnico y el inspector sustituto.

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 Unidad 1 y la Unidad 2 de la Central Hidroeléctrica Antuco. Los Expertos Técnicos designados fueron el Ing. **Federico Deledda** y el Ing. **Federico García**. Ellos fueron los responsables de desarrollar el protocolo de pruebas y supervisar la ejecución de todas las actividades descriptas en el mismo.



3.4 Representante empresa generadora

Por parte de Enel Generación S.A., el Coordinado, estuvieron presente durante las pruebas los inspectores sustitutos fueron Alejandro Cortés, quien se desempeña como Mantenedor/Operador de la central, Alejandro Pérez quien se desempeña como Especialista Sr en Sistemas de Control, Juan Carlos Sánchez, quien se desempeña como Especialista en Sistemas de Control y Víctor Sáez, quien se desempeña como Plant Unit Laja.

3.5 Representante del Coordinador Eléctrico Nacional

Sin participantes durante 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 Antuco pertenece a Enel Generación S.A., está ubicada en la comuna Alto Bio Bio, Región del Bio Bio, está conformada por dos generadores sincrónicos idénticos impulsados por dos turbinas Francis. Particularmente las turbinas son marca Andritz para la unidad N.º 01 y marca Hitachi para la unidad N.º 02. Ambas unidades impulsan generadores sincrónicos marca Hitachi de 160 MW de potencia.

A continuación, se presenta el plano de disposición general de la planta.

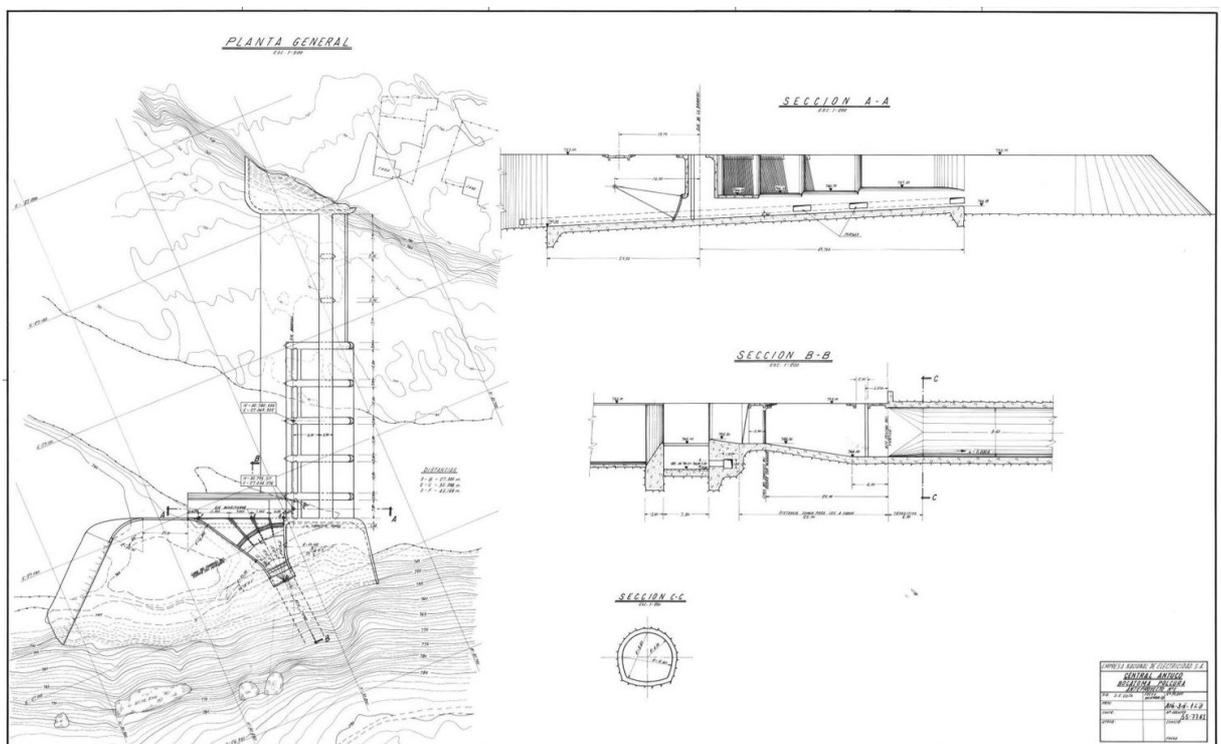


Figura 4.1 – Plano de toma y aducción común

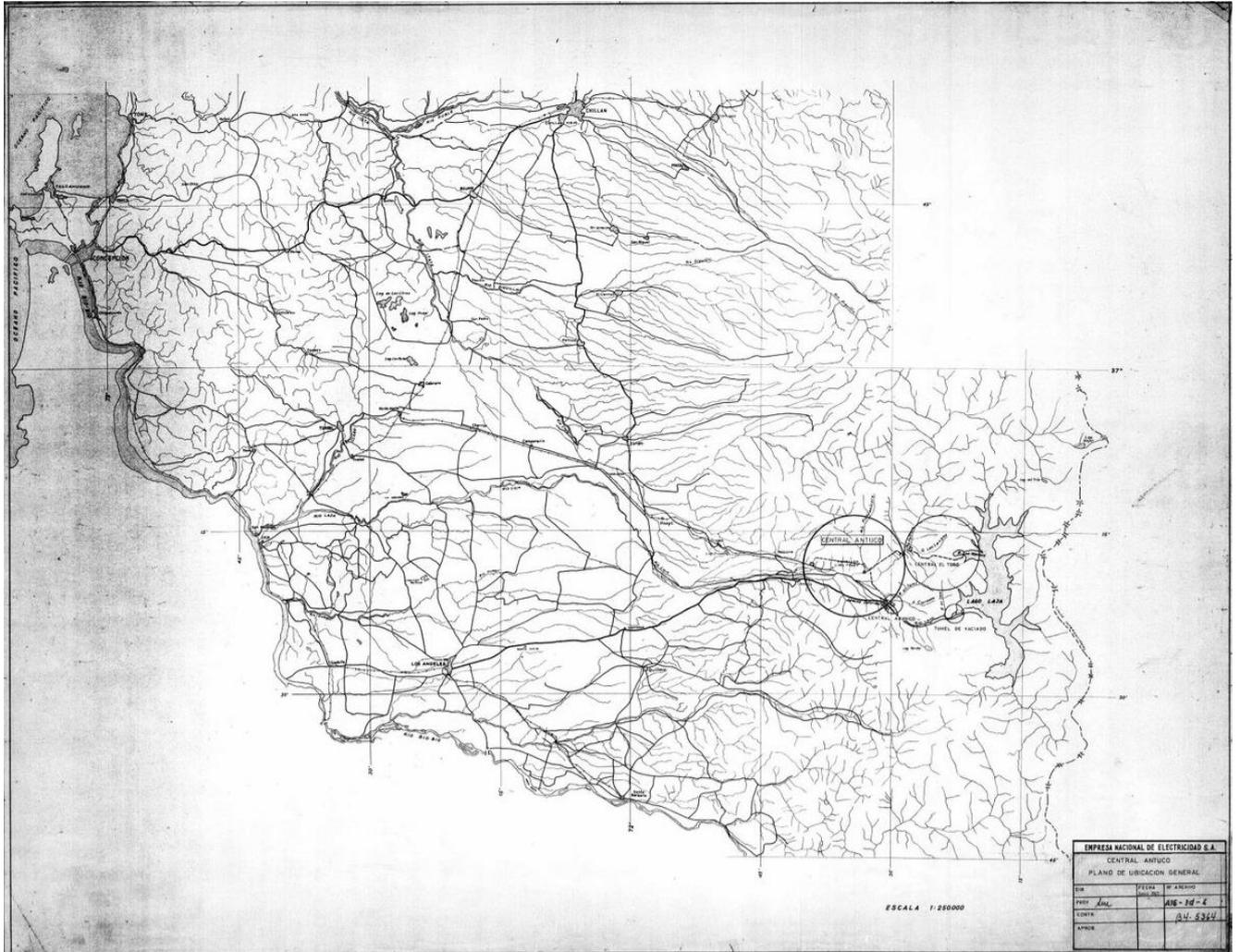


Figura 4.2 – Plano de ubicación general

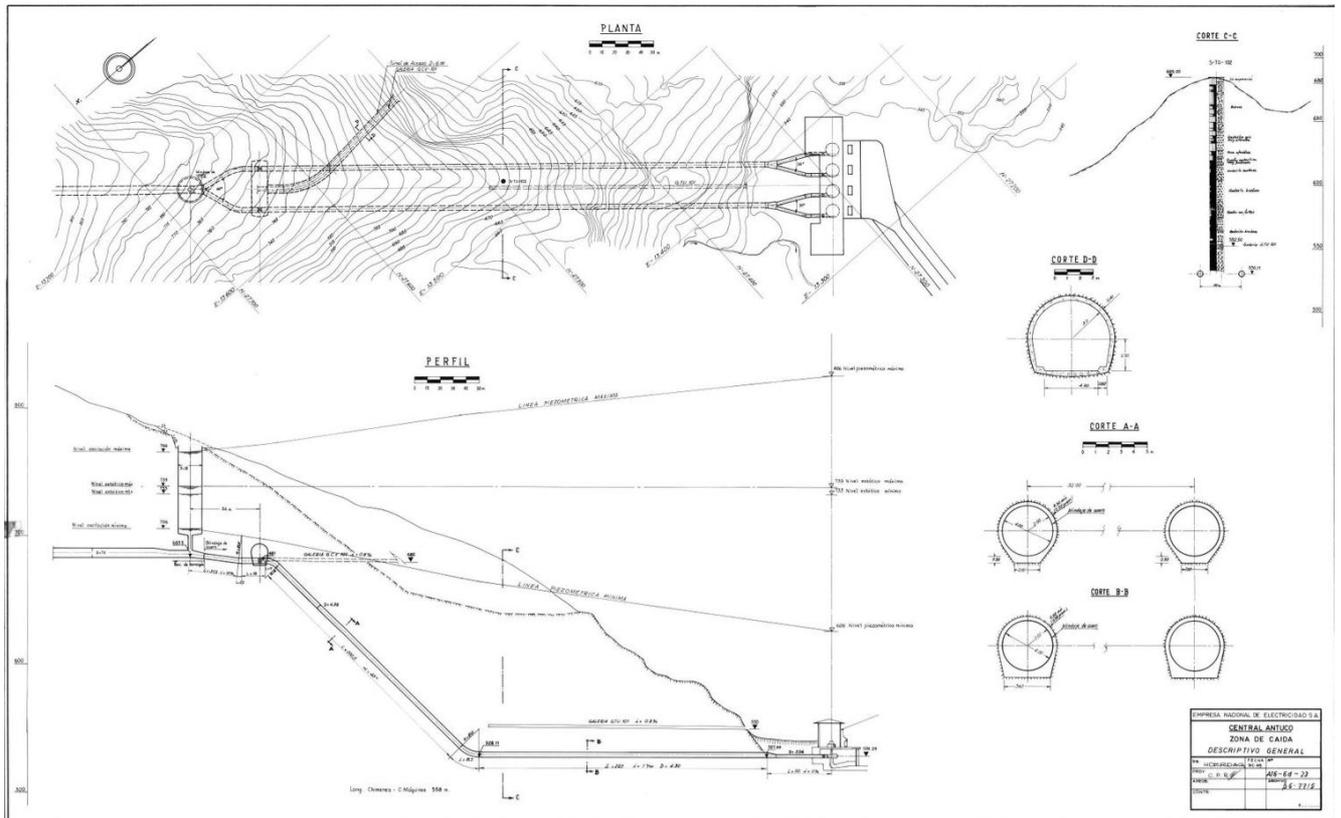


Figura 4.3 – Plano zona de caída – Descriptivo general



4.2 Descripción de las unidades de generación

Las dos unidades, U1 y U2, pertenecientes a la central Antuco están compuestas por una turbina Francis de eje vertical, vinculada a un generador Hitachi, que totalizan una potencia bruta aproximada para la central de 319.2 MW¹. Se presenta a continuación el diagrama unilineal de la central.

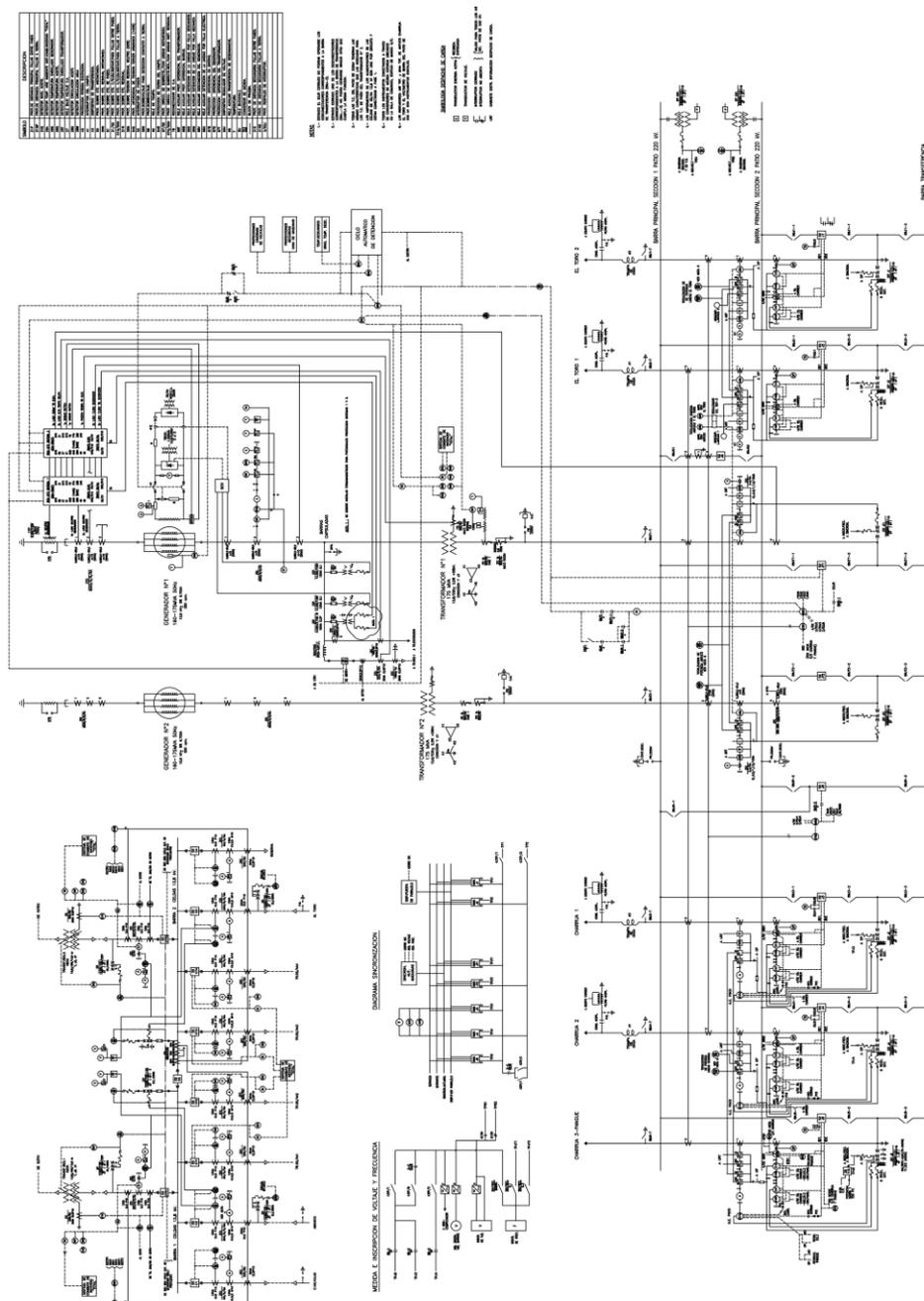


Figura 4.4 – Diagrama unilineal de la central

¹ Fuente: <https://infotecnica.coordinador.cl/>

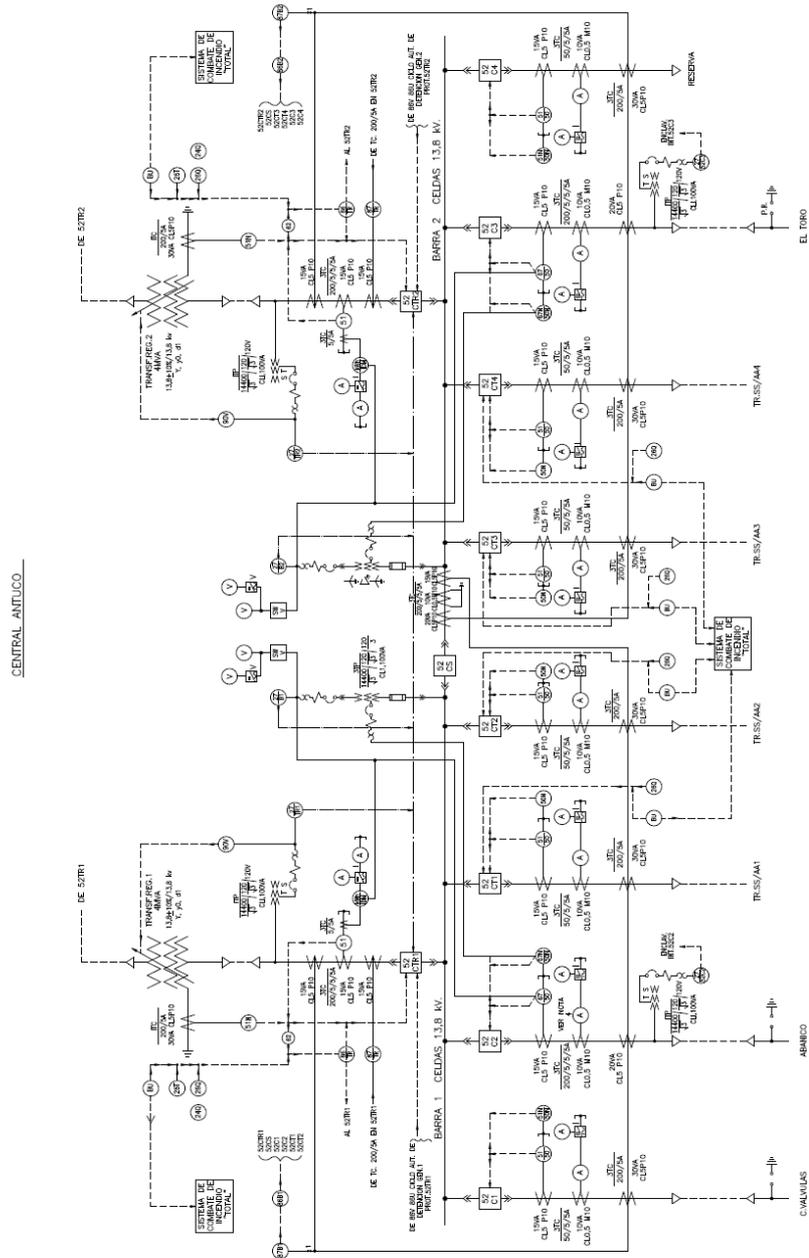


Figura 4.5 - Diagrama unilineal barra de 13.8 kV

Los datos característicos de placa de cada generador y de cada turbina se presentan a continuación. En el Anexo 9.1 se pueden encontrar la hoja de datos completa del generador.

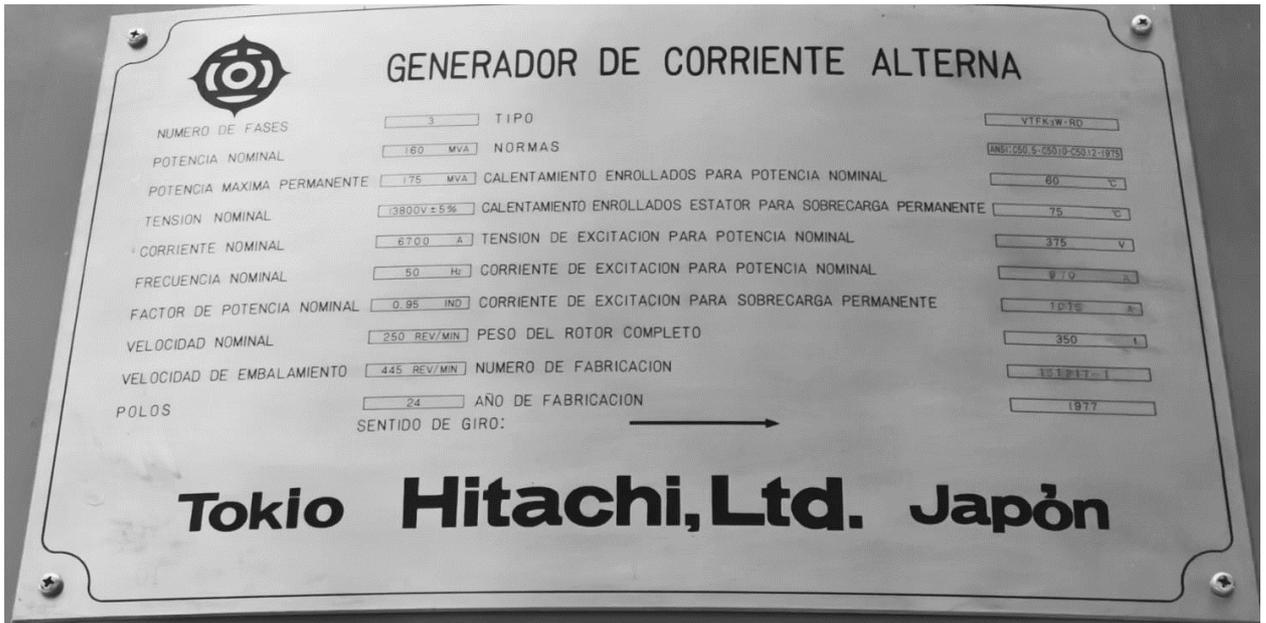


Figura 4.6 – Datos de placa del generador – Unidad 1



Figura 4.7 – Datos de placa del generador – Unidad 2



Figura 4.8 – Placa turbina Unidad 1

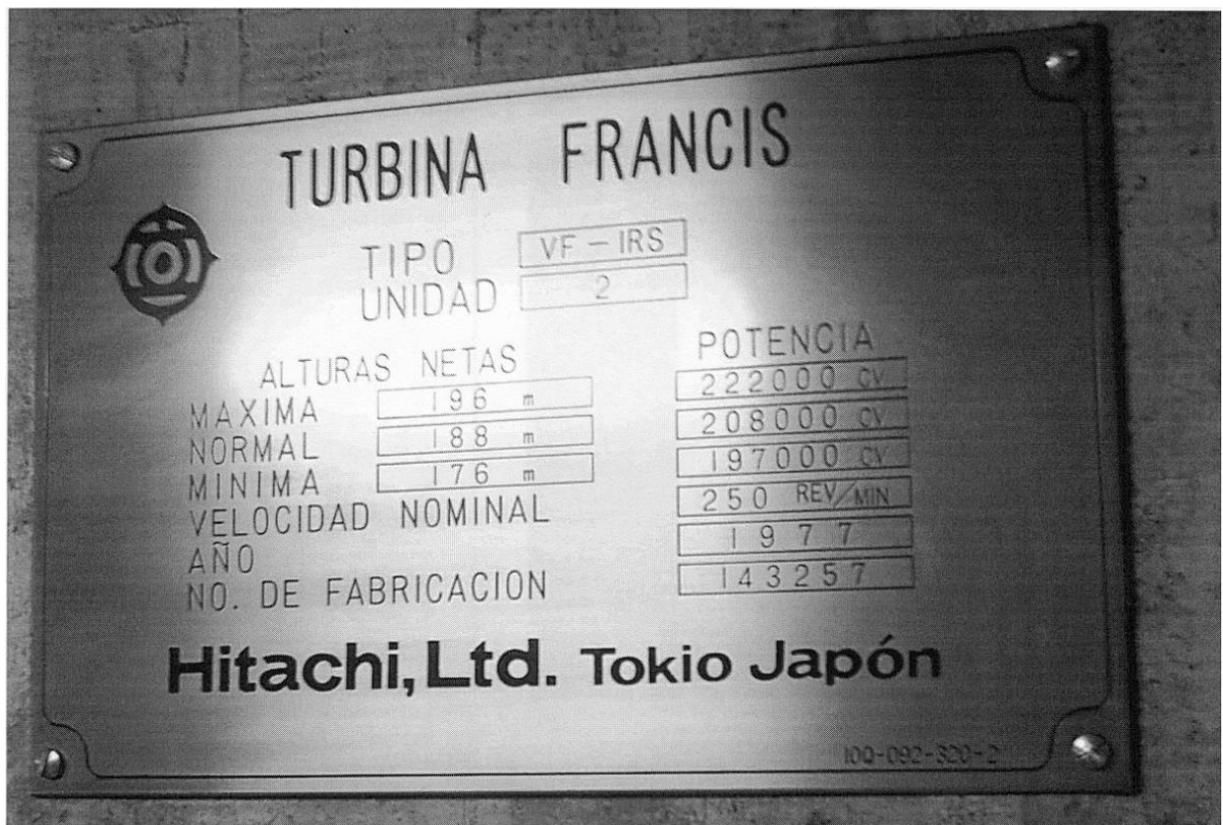


Figura 4.9 – Placa turbina Unidad 2



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 consideran los siguientes valores de potencia máxima esperables para las unidades de la Central Hidroeléctrica Antuco.

Unidad	Potencia máxima [MW]
Antuco – U1	160
Antuco – U2	160

Tabla 4-1 – Valores base de potencia para unidad

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
Factor de potencia	0.95 (lagging)

Tabla 4-2 – Condiciones nominales de referencia



4.3.1 Curvas de corrección

Corrección por Factor de potencia

De acuerdo con la información provista por el fabricante no disponen de curvas de corrección de la potencia por factor de potencia, por lo que se utiliza el antecedente de una máquina similar. Se utilizó la siguiente curva disponible públicamente².

Los rendimientos del generador, según los datos del fabricante, son los siguientes:

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 2.- Rendimientos del generador según $\cos \phi$.

Que gráficamente se representan a continuación.

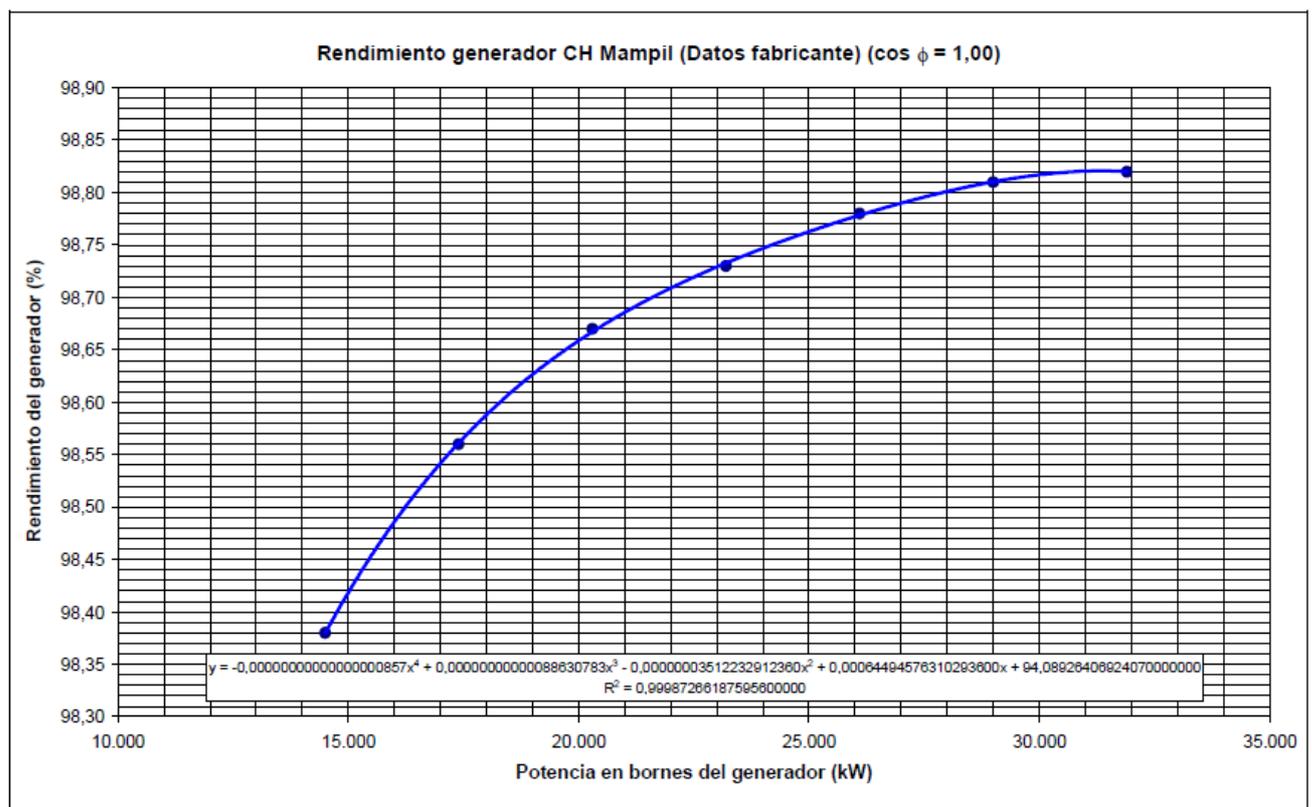


Figura 4.10 – Curva de corrección por factor de potencia

² Central Mampil: <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>



4.3.2 Metodología de corrección

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

4.4 Instrumentación y mediciones

Según lo establecido en el Artículo 37 del Anexo Técnico, las mediciones de potencia y factor de potencia deberán realizarse con instrumentos clase 0.2.

En la Figura 4.11 se presenta un diagrama esquemático de planta donde se distinguen los elementos disponibles en este caso. En la Figura 4.12 se muestra un diagrama unilineal donde se distinguen la ubicación de los transformadores de medida utilizados junto con la ubicación del medidor de potencia bruta.

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

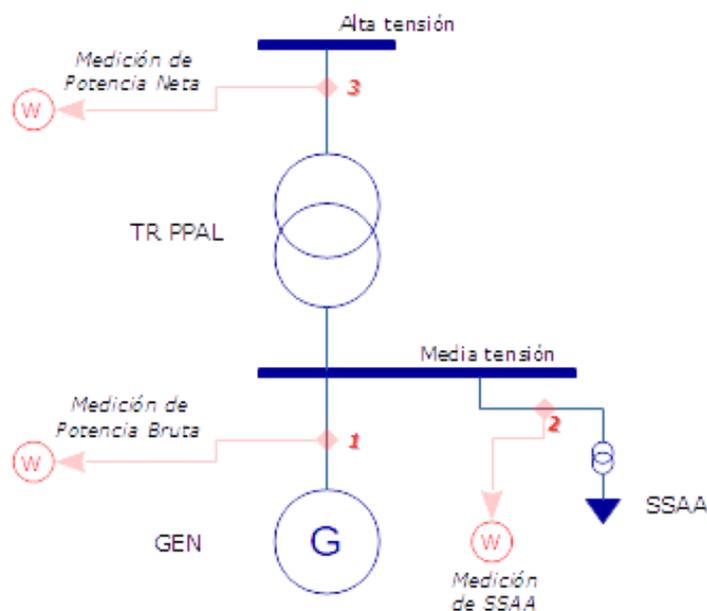


Figura 4.11 – Unilineal de planta esquemático

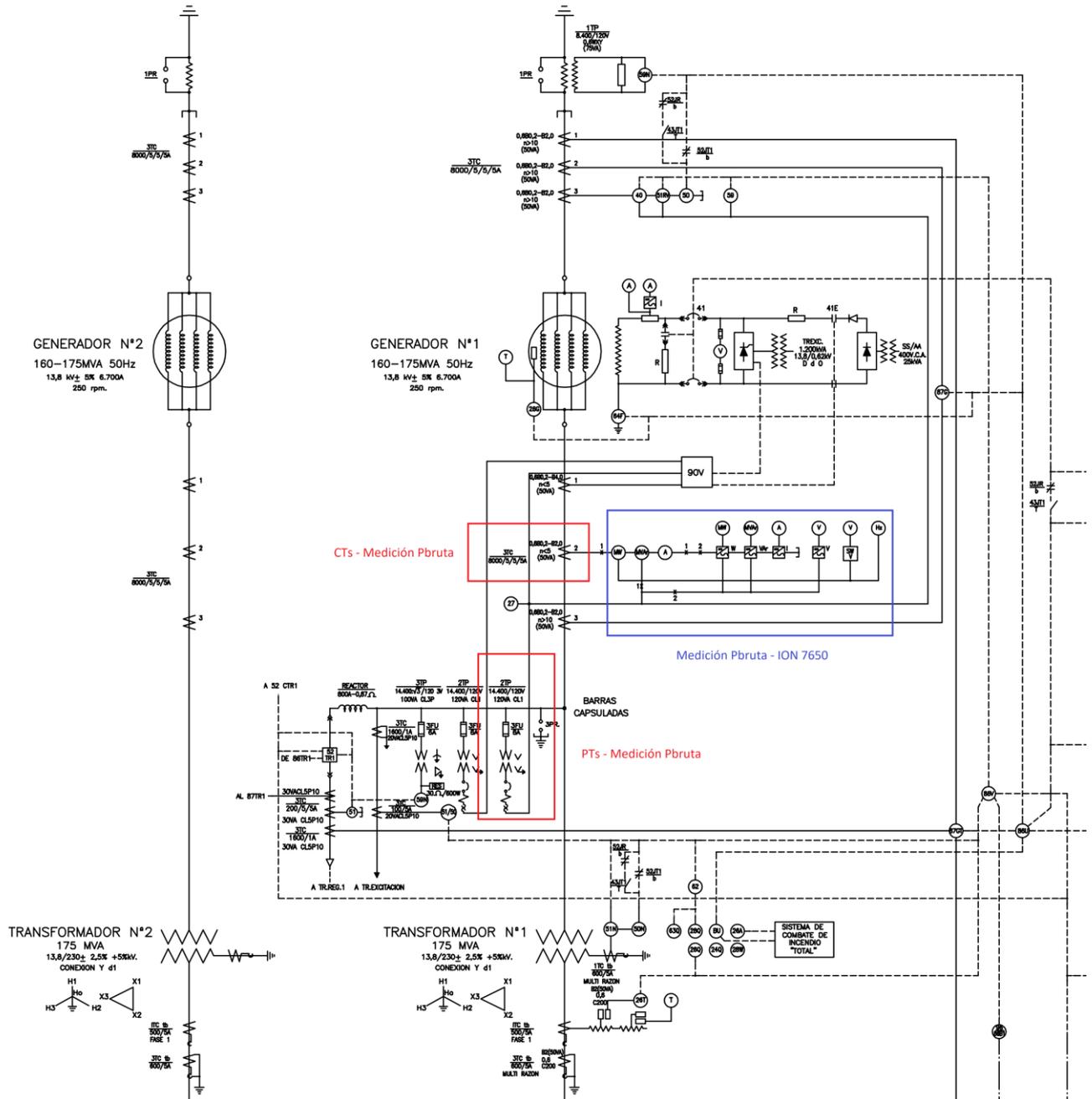


Figura 4.12 - Unilineal de planta - Medición de potencia bruta

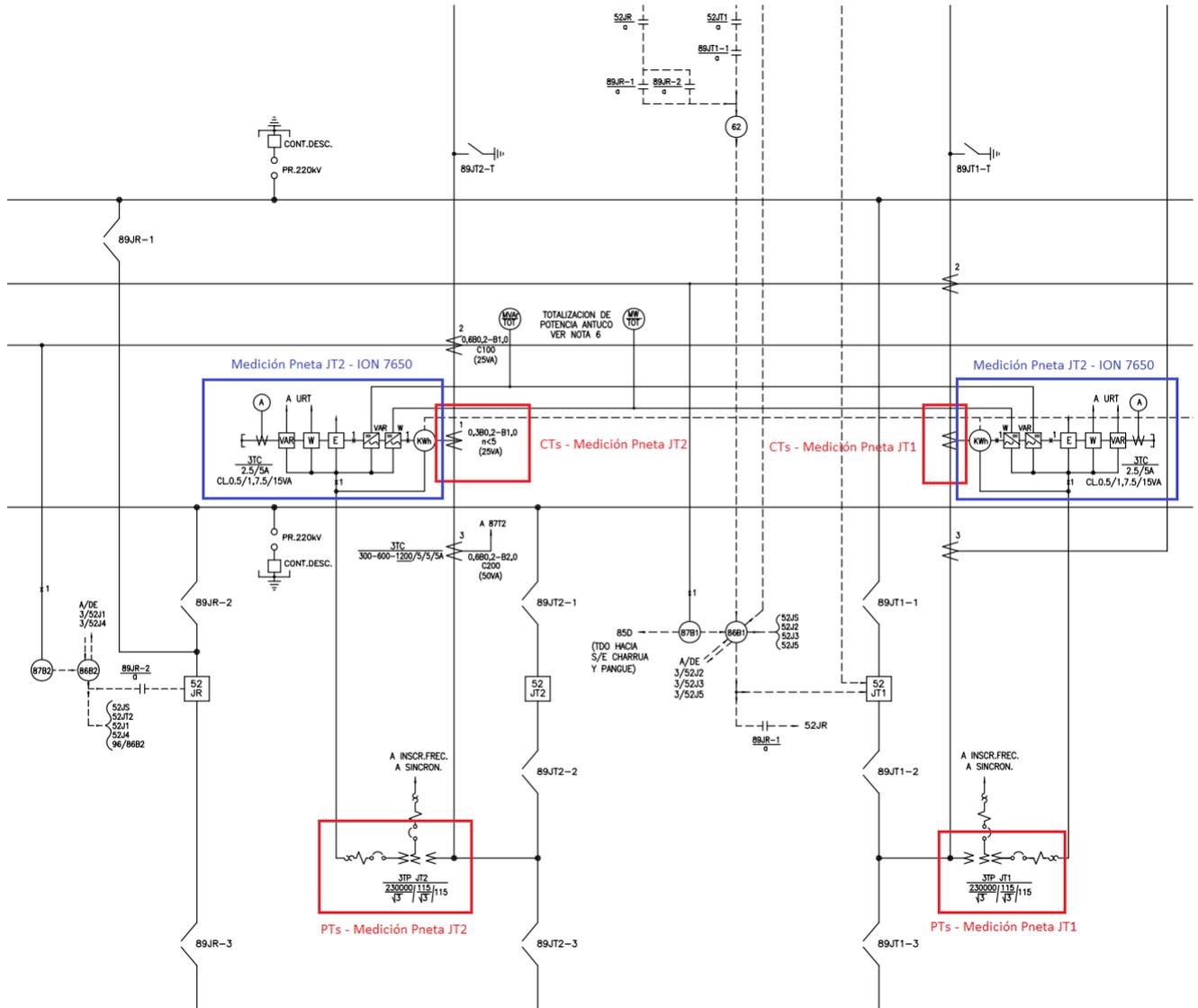


Figura 4.13 - Unilineal de planta - Medición de potencia neta



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 neta fue registrada a partir de medidores ubicados en la SE Antuco. La potencia de las pérdidas y consumos internos se calcula indirectamente a partir de la medición de la potencia neta.

Para las mediciones de potencia bruta de cada unidad (Figura 4.12), los transformadores de instrumentación (PTs, CTs) son clase 1.0 y 0.6 (ANSI C57.13) respectivamente. Para la medición de voltaje se utilizan transformadores de tensión cuyas relaciones de transformación son 14.4/0.12 kV. Para la medición de corriente se utilizan transformadores de corriente cuyas relaciones de transformación son 8000/5 A (punto “1” en la Figura 4.11).

Para las mediciones de potencia neta de cada unidad (Figura 4.13), los transformadores de instrumentación (PTs, CTs) son clase 0.3 (ANSI C57.13). Para la medición de voltaje se utilizan transformadores de tensión cuyas relaciones de transformación son 230/0.115 kV. Para la medición de corriente se utilizan transformadores de corriente cuyas relaciones de transformación son 300/5 A. (punto “3” en la Figura 4.11).

Para la medición de potencia neta y potencia bruta se utilizó medidores marca Schneider modelo ION 7650 que el Coordinado tiene en sus instalaciones. Los mismos son clase 0.2 y cumplen con las exigencias de precisión requeridas y se han enviado los antecedentes de los equipos (especificaciones técnicas y certificados de calibración).

En la sección de anexo 9.2 se detallan los puntos desde donde se realizan las mediciones de cada variable, en tanto en la sección de Anexo 9.3 se muestran los antecedentes técnicos y certificados de calibración asociados a los equipos de medición.



4.4.2 Instrumentación principal

Se instrumentará tal como se resume en la Tabla 4-3. La misma indica la instrumentación principal a ser 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 1	ION 7650 Serie: PJ-1203A113-03	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Figura 9-10	Conectado PTs y CTs en punto 1 del unilineal de la Figura 4.11	Digital
2	Factor de potencia Unidad 1	ION 7650 Serie: PJ-1203A113-03	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Figura 9-10	Conectado PTs y CTs en punto 1 del unilineal de la Figura 4.11	Digital
3	Potencia activa neta Unidad 1	ION 7650 Serie: PJ-1312B121-04	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Figura 9-12	Conectado PTs y CTs en punto 3 del unilineal de la Figura 4.11	Digital
4	Potencia activa bruta Unidad 2	ION 7650 Serie: PJ-1009A682-02	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Figura 9-11	Conectado PTs y CTs en punto 1 del unilineal de la Figura 4.11	Digital
5	Factor de potencia Unidad 2	ION 7650 Serie: PJ-1009A682-02	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Figura 9-11	Conectado PTs y CTs en punto 1 del unilineal de la Figura 4.11	Digital
6	Potencia activa neta Unidad 2	ION 7650 Serie: PJ-1401A796-04	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Figura 9-13	Conectado PTs y CTs en punto 3 del unilineal de la Figura 4.11	Digital

Tabla 4-3 – Instrumentación principal

Las características principales de estos equipos y sus certificados de calibración vigentes a la fecha de los ensayos pueden consultarse en el Anexo 9.3.

Los equipos medidores de potencia bruta y neta fueron instalados, configurados y operados por el Coordinado o el propietario de los equipos. Se requerirá la entrega de los registros digitales de las pruebas durante y luego de la ejecución de las mismas.



4.4.3 Mediciones complementarias

Se muestra en la Tabla 4-4 el listado de señales disponibles en el SCADA de la central con los TAGS correspondientes:

	Unidad 1		Unidad 2	
Potencia Activa	AMT_TH1_P_2		AMT_TH2_P_2	
Potencia Reactiva	AMT_TH1_Q_2		AMT_TH2_Q_2	
Velocidad	AMT_TH1_Veloc		AMT_TH2_Veloc	
Tensión	AMT_TH1_V_2		AMT_TH2_V_2	
Frecuencia	AMT_TH1_F_2		AMT_TH2_F_2	
Caudal	
Nivel del espejo de agua del embalse o cámara de carga	BOC_POLCURA: BPO_RTUS_MENOP02_1370D42	BOC_LAJA: BLA_RTU6_MENOP02_1370D42		
Altura bruta (Medida de embalse y descarga)	...			
Temperatura del devanado del estator y cojinetes	Devanado Unidad 1	Cojinetes Unidad 1	Devanados Unidad 2	Cojinetes Unidad 2
	AMT_TH1_TI_EE1	Descanso Guía Superior	AMT_TH2_TI_EE1	Descanso Guía Superior
	AMT_TH1_TI_EE2	AMT_TH1_TI_U1	AMT_TH2_TI_EE2	AMT_TH2_TI_U1
	AMT_TH1_TI_EE3	AMT_TH1_TI_U2	AMT_TH2_TI_EE3	AMT_TH2_TI_U2
	AMT_TH1_TI_EE4		AMT_TH2_TI_EE4	
	AMT_TH1_TI_EE5		AMT_TH2_TI_EE5	
	AMT_TH1_TI_EE6	Descanso de empuje	AMT_TH2_TI_EE6	Descanso de empuje
	AMT_TH1_TI_EE7	AMT_TH1_TI_T1	AMT_TH2_TI_EE7	AMT_TH2_TI_T1
	AMT_TH1_TI_EE8	AMT_TH1_TI_T2	AMT_TH2_TI_EE8	AMT_TH2_TI_T2
	AMT_TH1_TI_EE9		AMT_TH2_TI_EE9	
	AMT_TH1_TI_EE10		AMT_TH2_TI_EE10	
	AMT_TH1_TI_EE11	Descanso Guía Inferior	AMT_TH2_TI_EE11	Descanso Guía Inferior
	AMT_TH1_TI_EE12	AMT_TH1_TI_Q1	AMT_TH2_TI_EE12	AMT_TH2_TI_Q1
	Núcleo estator Unidad 1		Núcleo estator Unidad 2	
	AMT_TH1_TI_ME1		AMT_TH2_TI_ME1	
	AMT_TH1_TI_ME2		AMT_TH2_TI_ME2	
	AMT_TH1_TI_ME3	Descanso Turbina	AMT_TH2_TI_ME3	Descanso Turbina
		AMT_TH1_TI_W1		AMT_TH2_TI_W1
	AMT_TH1_TI_W2		AMT_TH2_TI_W2	

Tabla 4-4 – Variables SCADA Central Antuco

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



4.5 Estimación teórica de pérdidas y consumos propios de las unidades

Se pretende estimar los consumos propios que posee cada unidad y las pérdidas ocasionadas en los distintos transformadores de potencia de manera de poder contar con una valorización que permita asegurar que las mediciones indirectas realizadas para conocer estos valores sean consistentes. A continuación, en la Tabla 4-5 se muestra los resultados obtenidos mientras que en los capítulos sucesivos se hará el desglose de cada uno de los consumos.

Consumos	Potencia estimada
<i>Consumos de SSAA</i>	<i>235,51 kW</i>
<i>Pérdidas en transformador principal</i>	<i>653,3 kW</i>
<i>Pérdidas en transformadores de SSAA</i>	<i>30,4 kW</i>
<i>Pérdidas en transformador de excitación</i>	<i>16,1 kW</i>
<i>Pérdidas en la red interna³</i>	<i>348,59 kW (U1) 277,79 kW (U2)</i>
Total	1283,9 kW (U1) 1213,1 kW (U2)

Tabla 4-5 - Valores teóricos obtenidos de pérdidas y consumos propios

³ Las pérdidas en la red interna se estiman como la diferencia entre el promedio de las pérdidas totales obtenidas para ambas unidades menos los valores estimados de pérdidas en los transformadores (653,3 kW, 30,4 kW y 16,1 kW) y consumos de SSAA (235,51 kW).



4.5.1 Consumos propios de servicios auxiliares

Se presenta en la Tabla 4-6 las mediciones de Servicios Auxiliares registradas durante el ensayo de la Unidad 1. Estos datos fueron registrados en los puntos de medición señalados en la Figura 4.14.

Adicionalmente, la Figura 4.15 evidencia la apertura de los interruptores provenientes de Central Abanico (52C2) y el Toro (52C3) por lo que los consumos auxiliares y su alimentación dependen exclusivamente de central Antuco.

Servicios Auxiliares

ref	20:19:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	0:00:00	0:15:00	0:30:00	0:45:00	1:00:00	
Consumos SS.AA.															
P _{SSAA}	Potencia de SS.AA. medida [kW]	231,30	222,20	231,00	242,20	233,40	232,60	253,50	233,20	231,60	231,40	253,90	233,10	232,70	235,00
P _{SSAA_PROM}	Potencia de SS.AA. [kW]	235,51													

Tabla 4-6 - Mediciones de consumos de SS.AA.

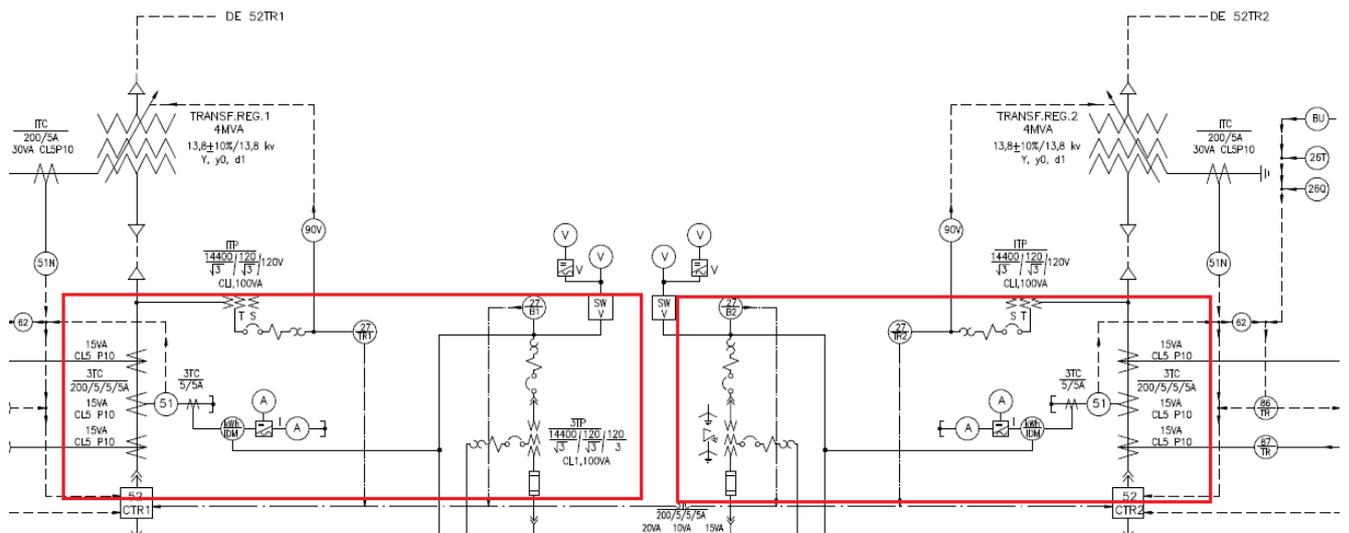


Figura 4.14 - Punto de medición de consumos de SS.AA. durante los ensayos

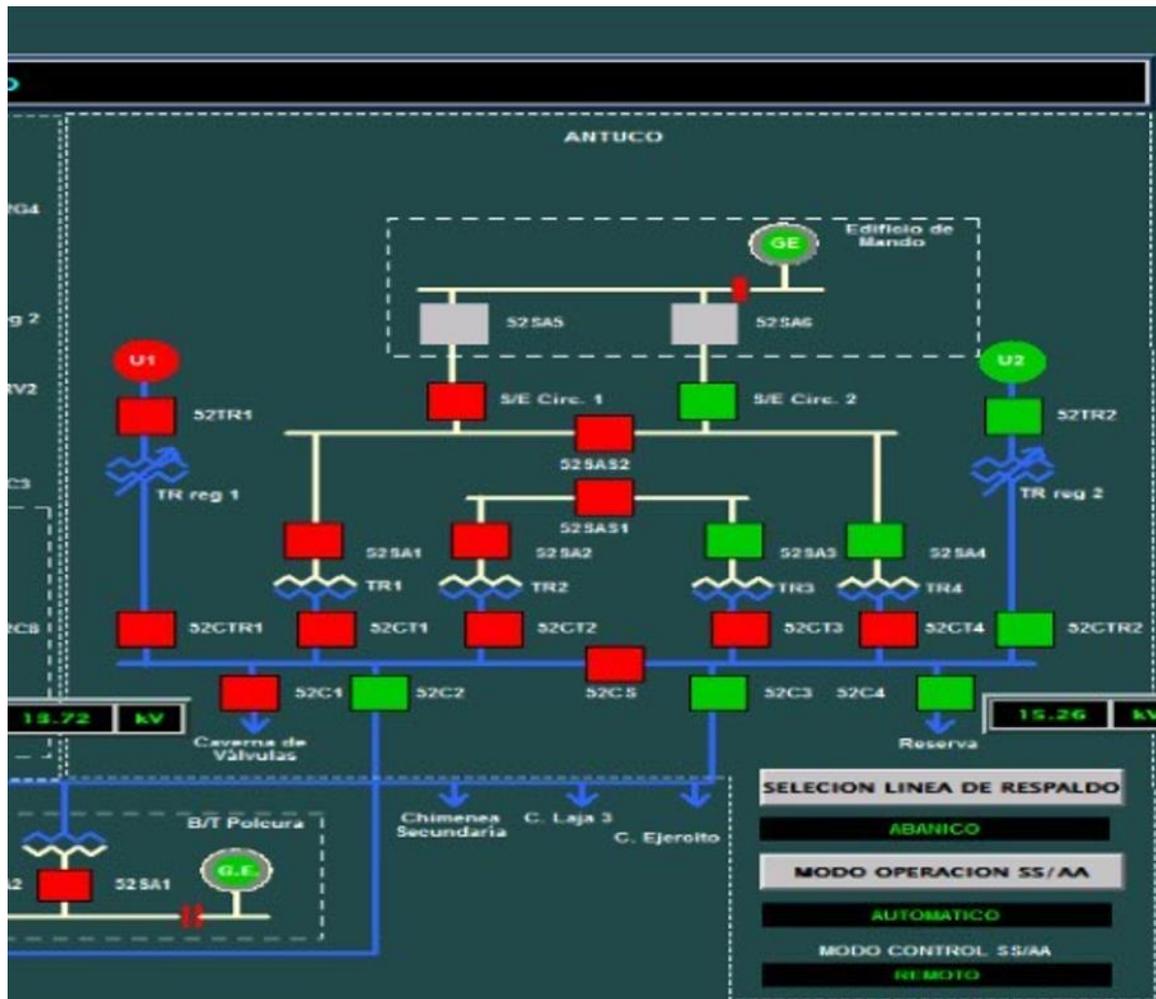


Figura 4.15 - Unilineal SSAA Generales

4.5.2 Pérdidas en el transformador principal

De acuerdo con el reporte de inspección de datos del transformador Hitachi, las pérdidas totales del transformador (pérdidas en vacío más las pérdidas en carga) son de 653,3 kW.



At principal tap, rated voltage and current

NO.	Items	Guaranteed value	Tolerance	Measured value	
1.	No-load loss (KW)	93.0	+ 10.0 %	87.97	
2.	No-load current (A) Exciting capacity (KVA)	14.22 340.0	+ 30.0 %	14.17 338.69	
3.	Load loss (H.V. ~ L.V.) (KW)	—	—	565.33	
4.	% Impedance voltage (%)	H.V. ~ L.V.	15.0	+ 7.5 %	15.69
		H.V. ~ T.V.	—	—	—
		L.V. ~ T.V.	—	—	—
5.	Auxiliary loss (KW)	15.0	—	10.6	
6.	Total losses (KW)	682.0	+ 6.0 %	663.90	
7.	Efficiency (%) (H.V. ~ L.V.)	—	—	99.62	
8.	Audible sound level (dB)	—	—	—	
9.	Voltage regulation (%)	Load	p.f.	—	1.55
		100 %	1.0	—	8.11
		"	0.9	—	10.43
	"	0.8	—	—	
10.	Temperature rise (degC)	Top oil	35.0	—	—
		HV. winding	50.0	—	—
		LV. winding	50.0	—	—

Tabla 4-7 - Valores medidos de pérdidas en el transformador principal



4.5.3 Pérdidas en los transformadores auxiliares y de excitación

Para estimar las pérdidas en los transformadores de SS.AA. y de excitación se tuvo que recurrir a las hojas de datos de equipos de similares características⁴ ya que no se contaba con los datos propios de la unidad. En la generalidad, los valores obtenidos se encuentran dentro de lo esperado para la potencia nominal de este tipo de transformadores.

GENERAL DATA				ELECTRIC CHARACTERISTICS			
Type	Resiglas			Frequency (Hz)	50		
Specification/Norm	IEC 60076-11			Phases Number	3		
Protection Degree	IP-21			Vector Group (Phase Angle)	Dyn1		
Installation	Indoor			Dielectric test	HV	LV	
Max Installation Height (m)	1000			Voltage Class (kV)	17.5	1.1	
Atmosphere	Not Aggressive			NBI (kV)	95	0	
Max Temperature Ambient (°C)	40			Withstand Voltage test (kV)	38	3	
Potency (kVA)	AN	AF	Windings	Tension (V)			Connection
1000	—	—	High Voltage	14490/14145/13800/13455/13110			Delta
			Low Voltage	380/220			Star
					HV	LV	
Temperature rise of windings (°C)				Medium	100	100	
				Hottest Place	110	110	
Temperature class of Material Windings Isolated				F - 155°C		F - 155°C	
Load	EFFICIENCY (%)			REGULATION (%)			
Factor (%)	Cos φ = 0,8	Cos φ = 0,9	Cos φ = 1,0	Cos φ = 0,8	Cos φ = 0,9	Cos φ = 1,0	
25	98.52	98.68	98.81	1.16	0.96	0.37	
50	98.66	98.8	98.92	2.32	1.92	0.74	
75	98.44	98.61	98.75	3.47	2.88	1.1	
100	98.14	98.34	98.5	4.63	3.84	1.47	
—	—	—	—	—	—	—	
WARRANTED VALUES (13800v - 100°C)				Tests (Accordant Norm IEC 60076-11)			
No load loss (W)	2200			Routine + Partial Discharge	Yes		
Load loss (W)	13000			Type / Special (Accordant Inspection and Test Plan)	Yes		
Total loss (W)	15200			OBSERVATIONS			
No load current (Excitation) (%)	0.65			- Material Windings: Copper			
Impedance (%)	6			- Increase 40% in Potency (1400kVA) with the installation of Ventilation circuit			
Sound Pressure Level (dB)	64						
Partial Discharge (pC)	10						
Factor K	1						
Inrush Current (x In)	1.3						
ACCESSORIES							
Jack Support							
Skid Base Transformer Support							
Steel Cable to Transformer's Lift							
Box to Auxiliary Service							
Temperature Monitor (Type: T-154, Feeding: 24...240 Vca/Vcc)							
Ventilators (Provision for Future Installation)							
TC of HV (Relation: 200-1-1A, 10P20, 30VA)							
Ground Terminal (Gauge: 95mm ²)							
R-04	ALTERAÇÕES CONFORME E-MAIL DO DIA 13/11/08					14/11/08	LEANDRO
R-03	AS BUILT					10/11/08	LEANDRO
R-02	ADDED OBSERVATIONS					05/08/08	DIOGO
R-01	ACCORDING SOLICITATION CLIENT (E-MAIL 02/07/08)					04/07/08	DIOGO
Number	REVISION'S DESCRIPTIONS					DATE	RESP.
 WALTEC Equipamentos Eléctricos Ltda.				 WALTEC'S REF.: 4423.017 CLIENT'S REF.: TRA1/TRA2			
DESIGN BY:	UDO	SIGN:	[Signature]	DATE:	04/06/08	DATA SHEET	
DRAWN BY:	DIOGO	SIGN:	[Signature]	DATE:	04/06/08	RESIN EPOXY ENCAPSULATED DRY TYPE TRANSFORMER	
CHECKED BY:	UDO	SIGN:	[Signature]	DATE:	04/06/08	DRAWN NUMBER:	4423017F SHEET: 1/1

Tabla 4-8 - Valores teóricos de pérdidas del transformador de SSAA. (CH La Higuera)

⁴ Fuente: <https://infotecnica.coordinador.cl/>



		HOJA DE DATOS		CLIENTE: Voith Hydro Ltda
		TRANSFORMADOR SECO		REF. COMTRAFO: 022673-001
1 - CARACTERÍSTICAS		ITEM 1		
- MODELO	-	TRs-1240/17,5		
- POTENCIA (AN)	kVA	1240		
- MATERIAL AISLANTE	-	RESINA EPOXI		
- RÉGIMEN DE SERVICIO	-	CONTINUO		
- REFRIGERACIÓN	-	AN		
- NÚMERO DE FASES	-	3		
- MATERIAL DE LOS DEVANADOS AT	-	ALUMINIO		
- MATERIAL DE LOS DEVANADOS BT	-	ALUMINIO		
- FRECUENCIA NOMINAL	Hz	50		
- CLASE DE AISLAMIENTO AT	kV	17,5		
- CLASE DE AISLAMIENTO BT	kV	1,1		
- NIVEL BÁSICO DE IMPULSO (NBI) AT	kV	110		
- NIVEL BÁSICO DE IMPULSO (NBI) BT	kV	-		
- ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR	m	≤ 1400		
- CLASE DEL MATERIAL AISLANTE AT	-	F (155 °C)		
- ELEVACIÓN DE TEMP. EM LOS DEVANADOS	°C	100		
- TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA	°C	40		
- TENSIÓN NOMINAL AT	V	15000		
- DERIVACIONES AT	V	±2x2,5%		
- RELIGACIÓN AT	V	-		
- LIGACIÓN AT	-	ESTRELLA		
- TENSIÓN BT	V	350		
- DERIVACIONES BT	V	-		
- LIGACIÓN BT	-	DELTA		
- GRUPO DE LIGACIÓN	-	Yd1		
- FACTOR K	-	8		
2 - DATOS GARANTIZADOS		1240kVA-15,0-0,35kV		
- PÉRDIDAS EN VACÍO	W	4500		
- PÉRDIDAS EN CARGA	W	11600		
- PÉRDIDAS TOTALES	W	16100		
- CORRIENTE DE EXCITACIÓN	%	1,00		
- IMPEDANCIA (TEMP. REF.120 °C)	%	7,00		
3 - EFICIENCIA / REGULACIÓN:		cos fi 1,0	cos fi 0,8	
- EFICIENCIA	FC 25 %	98,3425	97,9366	
	FC 50 %	98,8205	98,5300	
	FC 75 %	98,8284	98,5398	
	FC 100 %	98,7183	98,4029	
- REGULACIÓN:		1,1736	5,0292	
4 - DATOS CONSTRUCTIVOS		SECO IP-21		
- TIPO CONSTRUCTIVO		SUPERIOR / SUPERIOR		
- ENTRADA Y SALIDA DE CABLES AT / BT		SI / NO		
- CAJA BRIDADA EN LA AT / BT		BIDRECCIONALES		
- RUEDAS		PROTEGIDO		
- TIPO DE INSTALACIÓN		RAL 7032		
- PINTURA				
5 - ACCESORIOS		IEC-60076-11		
- ESTÁNDAR				
6 - DOCUMENTOS DE REFERENCIA		IEC-60076-11		
- NORMA		IM-3-6193/00		
- DISEÑO DIMENSIONAL				
7 - OBSERVACIONES				
HECHO:		FLAVIO	REVISIÓN:	0
VERIFICADO:		RODRIGO	FECHA REV.:	
APROBADO:		RODRIGO	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	
FECHA:		11/05/16	EMISIÓN INICIAL.	

Tabla 4-9 - Valores teóricos de pérdidas del transformador de excitación (Central Las Lajas – Alto Maipo)



5 REALIZACIÓN DE LA PRUEBA

Como se indicó, debido al contexto sanitario de pandemia COVID-19, 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 en las unidades se realizó una inspección virtual 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

Lo indicado en el presente apartado aplica por igual a las pruebas realizadas en las dos unidades.

5.2.1 Verificaciones previas

1. 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. La unidad estaba disponible para operar a máxima potencia.
 - d. El control primario de frecuencia (CPF) no pudo ser desactivado en ninguna de las unidades, por lo tanto, se mantuvo operativo durante la prueba. Por esta razón, en todos los ensayos se modificó el valor de estatismo a un 6%, lo más alto posible.
 - e. Se consignó un valor de potencia reactiva de 38MVAR para tener un factor de potencia cercano a 0.95 durante toda la prueba. No fue posible operar con un factor de potencia cercano a 0.95 debido a que las condiciones del Sistema no permitieron aumentar la inyección de reactivos para lograr dicho valor. Por esta razón, se operó en un factor de potencia cercano a 0.975.



- f. La barra de SSAA estuvo aislada de conexiones externas a la central o consumos que no reflejen consumos propios de la unidad bajo prueba.
- g. Durante las pruebas individuales la otra unidad de la central estuvo fuera de servicio.

5.3 Incremento de potencia, estabilización e inicio de la prueba

Previo al inicio de las pruebas individuales de las Unidades 1 y 2, las mismas se encontraba en servicio respectivamente (13 y 12 de octubre). El operador incrementó paulatinamente hasta alcanzar el valor correspondiente a potencia máxima.

En dicho punto se verificaron las condiciones de prueba establecidas en la Tabla 4.1 del procedimiento, las cuales son: deshabilitar el control primario de frecuencia y ajustar el factor de potencia al valor más cercano posible a 0.95 que permita la red. En este caso en particular, las unidades no permitían deshabilitar el control primario de frecuencia por lo que se procedió a aumentar el valor de estatismo a un valor de 10%.

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 1.

Arranque de la unidad	13/10/2022 -
Inicio del período de estabilización	19:40 Hs
Fin del período de estabilización	20:00 Hs
Inicio del período de prueba	20:00 Hs
Fin del período de prueba	01:00 Hs (14/10/2022)

Tabla 5-1 – Etapas de la prueba para la Unidad 1



La Tabla 5-2 resume los períodos resultantes del desarrollo de las pruebas para la Unidad 2.

Arranque de la unidad	12/10/2022 -
Inicio del período de estabilización	19:40 Hs
Fin del período de estabilización	20:00 Hs
Inicio del período de prueba	20:15 Hs
Fin del período de prueba	01:15 Hs (12/10/2022)

Tabla 5-2 – Etapas de la prueba para la Unidad 2



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%
Altura bruta del nivel de laguna	1%
Velocidad de rotación de la Turbina	0.5%

Tabla 5-3 – Máximas variaciones permisibles en las condiciones de operación

La Tabla 5-4 muestra el resumen de las verificaciones de estabilidad realizadas para la Unidad 1.

Períodos												
Test Run n°		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hora			20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30
Verificación de condiciones de estabilidad												
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	1,50%	0,28%	0,18%	0,10%	0,09%	0,14%	0,10%	0,06%	0,11%	0,10%	0,06%
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1,50%	0,29%	0,16%	0,10%	0,10%	0,11%	0,06%	0,14%	0,07%	0,11%	0,11%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Laja)	1,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Polcura)	1,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	2,00%	0,13%	0,27%	0,09%	0,12%	0,07%	0,08%	0,06%	0,04%	0,05%	0,04%
Frec	Velocidad de Rotación	0,50%	0,11%	0,13%	0,04%	0,09%	0,05%	0,09%	0,08%	0,04%	0,06%	0,04%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?		SI									

Tabla 5-4 – Verificación de estabilidad para la Unidad 1

La Tabla 5-5 muestra el resumen de las verificaciones de estabilidad realizadas para la Unidad 2.

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 _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	1,50%	0,12%	0,11%	0,10%	0,12%	0,07%	0,09%	0,10%	0,13%	0,12%	0,17%
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1,50%	0,15%	0,07%	0,13%	0,07%	0,11%	0,15%	0,12%	0,17%	0,13%	0,13%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Laja)	1,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Polcura)	1,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	2,00%	0,02%	0,04%	0,02%	0,03%	0,06%	0,04%	0,07%	0,07%	0,09%	0,09%
Frec	Velocidad de Rotación	0,50%	0,04%	0,06%	0,06%	0,06%	0,07%	0,06%	0,06%	0,15%	0,06%	0,07%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?		SI									

Tabla 5-5 – Verificación de estabilidad para la Unidad 2



Tanto para las pruebas de la Unidad 1 y de la Unidad 2, 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 9.4.



6 CALCULOS 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 de pérdidas totales

Considerando que se cuenta con la medición de potencia bruta y potencia neta, pueden calcularse las pérdidas totales como:

$$L_{Totales} = P_{Bruta, No Corr} - P_{Neta, No Corr}$$

Donde:

- $P_{Neta, No Corr}$: Potencia Neta No Corregida (medición directa)
- $P_{Bruta, No Corr}$: Potencia Bruta No Corregida (medición directa)
- $L_{Totales}$: Pérdidas y consumos internos de la planta en todo concepto

La Tabla 6-1 detalla los cálculos realizados para la Unidad 1.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0,975	0,973	0,971	0,973	0,976	0,971	0,970	0,972	0,976	0,977
P_{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	163,93	164,35	164,66	164,92	164,87	164,94	164,95	164,98	164,70	164,83
P_{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	162,66	163,10	163,49	163,64	163,62	163,55	163,59	163,70	163,48	163,45
Determinación pérdidas totales												
$L_{TOTALES}$	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,27	1,25	1,17	1,28	1,25	1,39	1,36	1,27	1,21	1,37

Tabla 6-1 – Cálculos de potencia de pérdidas para la Unidad 1

La Tabla 6-2 detalla los cálculos realizados para la Unidad 2.



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	-	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,994	0,995
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	163,79	163,98	164,23	164,37	164,54	164,60	164,91	165,17	165,19	165,67
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	162,65	162,75	163,00	163,10	163,30	163,45	163,76	164,02	163,94	164,35
Determinación pérdidas totales												
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,15	1,23	1,23	1,27	1,24	1,14	1,15	1,15	1,26	1,33

Tabla 6-2 - Cálculos de potencia de pérdidas para la Unidad 2

6.2.1 Desglose de la potencia de pérdidas totales

Considerando que la determinación de las pérdidas totales no permite especificar los valores de pérdidas y consumos propios de cada unidad, se realiza un desglose de cada una de ellas a partir de los datos estimados en el capítulo 4.5.

En la Tabla 6-3 y la Tabla 6-4 se resumen los resultados del desglose de pérdidas de cada una de las unidades respectivamente.

Consumos – Unidad 1	Potencia estimada
<i>Consumos de SSAA</i>	<i>235,51 kW</i>
<i>Pérdidas en transformadores principales</i>	<i>653,3 kW</i>
<i>Pérdidas en transformadores de SSAA</i>	<i>30,4 kW</i>
<i>Pérdidas en transformadores de excitación</i>	<i>16,1 kW</i>
<i>Pérdidas en la red interna</i>	<i>348,59 kW</i>
Total	1283,9 kW

Tabla 6-3 – Valores de pérdidas y consumos propios - Unidad 1



Consumos – Unidad 2	Potencia estimada
<i>Consumos de SSAA</i>	<i>235,51 kW</i>
<i>Pérdidas en transformadores principales</i>	<i>653,3 kW</i>
<i>Pérdidas en transformadores de SSAA</i>	<i>30,4 kW</i>
<i>Pérdidas en transformadores de excitación</i>	<i>16,1 kW</i>
<i>Pérdidas en la red interna</i>	<i>277,79 kW</i>
Total	1213,1 kW

Tabla 6-4 – Valores de pérdidas y consumos propios - Unidad 2

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 (10 períodos) 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 calculará según la siguiente ecuación:

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

Dónde:

- $P_{Bruta,Corr}$: Potencia Bruta Corregida
- P_{Bruta} : Potencia Bruta Medida
- 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 de la sección 4.3.1.



La Tabla 6-5 detalla las correcciones realizadas para la Unidad 1.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0,975	0,973	0,971	0,973	0,976	0,971	0,970	0,972	0,976	0,977
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	163,93	164,35	164,66	164,92	164,87	164,94	164,95	164,98	164,70	164,83
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	162,66	163,10	163,49	163,64	163,62	163,55	163,59	163,70	163,48	163,45
Correcciones a la Potencia bruta												
L _{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	86,46	80,14	71,86	79,50	90,46	72,09	68,75	76,32	88,29	93,21
P Bruta, Corr	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	163,85	164,27	164,59	164,84	164,78	164,87	164,88	164,90	164,61	164,73

Tabla 6-5 – Correcciones a la Potencia Bruta para la Unidad 1

La Tabla 6-6 detalla las correcciones realizadas para la Unidad 2.

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	-	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,994	0,995
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	163,79	163,98	164,23	164,37	164,54	164,60	164,91	165,17	165,19	165,67
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	162,65	162,75	163,00	163,10	163,30	163,45	163,76	164,02	163,94	164,35
Correcciones a la Potencia bruta												
L _{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	153,63	154,58	153,75	152,99	153,97	151,41	146,04	146,24	150,41	153,52
P Bruta, Corr	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	163,64	163,83	164,07	164,22	164,38	164,44	164,76	165,02	165,04	165,52

Tabla 6-6 – Correcciones a la Potencia Bruta para la Unidad 2



6.4 Cálculo de la potencia 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:

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

$$L_{Totales} = P_{Bruta,No Corr} - P_{Neta,No Corr}$$

Dónde:

- $P_{Neta,Corr}$: Potencia Neta Corregida
- $P_{Neta,No Corr}$: Potencia Neta No Corregida (medición directa)
- $P_{Bruta,Corr}$: Potencia Bruta Corregida
- $P_{Bruta,No Corr}$: Potencia Bruta No Corregida (medición directa)
- $L_{Totales}$: Pérdidas y consumos internos de la planta en todo concepto

La Tabla 6-7 detalla los cálculos realizados para la Unidad 1.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	
Determinación pérdidas totales												
$L_{TOTALES}$	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,27	1,25	1,17	1,28	1,25	1,39	1,36	1,27	1,21	1,37
Cálculo promedio final												
$P_{Bruta, Corr}$	Valores utilizados para	[MW]	163,85	164,27	164,59	164,84	164,78	164,87	164,88	164,90	164,61	164,73
$P_{Neta, Corr}$	cálculo de promedio final	[MW]	162,58	163,02	163,41	163,56	163,53	163,48	163,52	163,63	163,40	163,36

Tabla 6-7 – Cálculos de Potencia Neta corregida para la Unidad 1

La Tabla 6-8 detalla los cálculos realizados para la Unidad 2.

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		
Determinación pérdidas totales													
$L_{TOTALES}$	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,15	1,23	1,23	1,27	1,24	1,14	1,15	1,15	1,26	1,33	$L_{Totales} = P_{Bruta, No Corr} - P_{Neta, No Corr}$
Cálculo promedio final													
$P_{Bruta, Corr}$	Valores utilizados para	[MW]	163,64	163,83	164,07	164,22	164,38	164,44	164,76	165,02	165,04	165,52	Selección de los test-run promediabiles $P_{Neta, corr} = P_{Bruta, corr} - L_{Totales}$
$P_{Neta, Corr}$	cálculo de promedio final	[MW]	162,49	162,59	162,85	162,95	163,15	163,30	163,61	163,87	163,78	164,19	

Tabla 6-8 – Cálculos de Potencia Neta corregida para la Unidad 2



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**:

- Unidad 1: **164,63 MW**
- Unidad 2: **164,49 MW**

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

- Unidad 1: **163,35 MW**
- Unidad 2: **163,28 MW**

La Tabla 6-9 detalla los valores utilizados para el cálculo del promedio de la Unidad 1.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, corr}	Valores utilizados para	[MW]	163,85	164,27	164,59	164,84	164,78	164,87	164,88	164,90	164,61	164,73
P _{Neta, corr}	cálculo de promedio final	[MW]	162,58	163,02	163,41	163,56	163,53	163,48	163,52	163,63	163,40	163,36
P_{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	164,63									
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	163,35									

Tabla 6-9 – Promedio Final para la Unidad 1

La Tabla 6-10 detalla los valores utilizados para el cálculo del promedio de la Unidad 2.

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]	163,64	163,83	164,07	164,22	164,38	164,44	164,76	165,02	165,04	165,52	Selección de los test-run promediabiles
P _{Neta, corr}	cálculo de promedio final	[MW]	162,49	162,59	162,85	162,95	163,15	163,30	163,61	163,87	163,78	164,19	$P_{Neta, corr} = P_{Bruta, corr} - L_{Totales}$
P_{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	164,49										
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	163,28										

Tabla 6-10 – Promedio Final para la Unidad 2



6.6 Tabla Resumen general

Todos los cálculos presentados anteriormente se resumen a continuación.

Períodos			ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	Hora			20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30
Variables Primarias													
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-		0,975	0,973	0,971	0,973	0,976	0,971	0,970	0,972	0,976	0,977
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]		163,93	164,35	164,66	164,92	164,87	164,94	164,95	164,98	164,70	164,83
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]		162,66	163,10	163,49	163,64	163,62	163,55	163,59	163,70	163,48	163,45
Variables Secundarias													
Nivel	Altura bruta del nivel de presa (Laja)	[msnm]		749,415	749,368	749,421	749,356	749,399	749,435	749,424	749,372	749,397	749,404
Nivel	Altura bruta del nivel de presa (Polcura)	[msnm]		735,651	735,852	735,974	736,071	736,116	736,135	736,145	736,151	736,149	736,141
Frec	Velocidad de Rotación - Para estabilidad	[Hz]		50,11	50,06	49,87	49,95	50,04	50,03	49,95	49,96	50,11	50,08
Verificación de condiciones de estabilidad													
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	1,50%		0,28%	0,18%	0,10%	0,09%	0,14%	0,10%	0,06%	0,11%	0,10%	0,06%
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1,50%		0,29%	0,16%	0,10%	0,10%	0,11%	0,06%	0,14%	0,07%	0,11%	0,11%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Laja)	1,00%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Polcura)	1,00%		0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	2,00%		0,13%	0,27%	0,09%	0,12%	0,07%	0,08%	0,06%	0,04%	0,05%	0,04%
Frec	Velocidad de Rotación	0,50%		0,11%	0,13%	0,04%	0,09%	0,05%	0,09%	0,08%	0,04%	0,06%	0,04%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?			SI									
Determinación pérdidas totales													
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]		1,27	1,25	1,17	1,28	1,25	1,39	1,36	1,27	1,21	1,37
Correcciones a la Potencia bruta													
L _{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]		86,46	80,14	71,86	79,50	90,46	72,09	68,75	76,32	88,29	93,21
P_{Bruta, Corr}	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]		163,85	164,27	164,59	164,84	164,78	164,87	164,88	164,90	164,61	164,73
Cálculo promedio final													
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para	[MW]		163,85	164,27	164,59	164,84	164,78	164,87	164,88	164,90	164,61	164,73
P _{Neta, Corr}	cálculo de promedio final	[MW]		162,58	163,02	163,41	163,56	163,53	163,48	163,52	163,63	163,40	163,36
P_{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]		164,63									
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]		163,35									

Tabla 6-11 – Resumen general para la Unidad 1


Periodos

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

Variable	Descripción	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,994	0,993	0,993	0,994	0,995
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	163,79	163,98	164,23	164,37	164,54	164,60	164,91	165,17	165,19	165,67
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	162,65	162,75	163,00	163,10	163,30	163,45	163,76	164,02	163,94	164,35

Variables Secundarias

Variable	Descripción	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nivel	Altura bruta del nivel de presa (Laja)	[msnm]	749,434	749,407	749,410	749,430	749,427	749,401	749,287	749,340	749,307	749,357
Nivel	Altura bruta del nivel de presa (Polcura)	[msnm]	734,753	734,882	735,010	735,139	735,272	735,394	735,515	735,642	735,785	736,014
Frec	Velocidad de Rotación - Para estabilidad	[Hz]	50,06	50,05	50,03	50,00	50,07	50,09	50,05	49,93	50,07	50,08

Verificación de condiciones de estabilidad

Variable	Descripción	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	1,50%	0,12%	0,11%	0,10%	0,12%	0,07%	0,09%	0,10%	0,13%	0,12%	0,17%
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1,50%	0,15%	0,07%	0,13%	0,07%	0,11%	0,15%	0,12%	0,17%	0,13%	0,13%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Laja)	1,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna (Polcura)	1,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	2,00%	0,02%	0,04%	0,02%	0,03%	0,06%	0,04%	0,07%	0,07%	0,09%	0,09%
Frec	Velocidad de Rotación	0,50%	0,04%	0,06%	0,06%	0,06%	0,07%	0,06%	0,06%	0,15%	0,06%	0,07%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?		SI									

Determinación pérdidas totales

Variable	Descripción	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,15	1,23	1,23	1,27	1,24	1,14	1,15	1,15	1,26	1,33

Correcciones a la Potencia bruta

Variable	Descripción	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L _{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	153,63	154,58	153,75	152,99	153,97	151,41	146,04	146,24	150,41	153,52

Variable	Descripción	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P _{Bruta, Corr}	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	163,64	163,83	164,07	164,22	164,38	164,44	164,76	165,02	165,04	165,52

Cálculo promedio final

Variable	Descripción	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para cálculo de promedio final	[MW]	163,64	163,83	164,07	164,22	164,38	164,44	164,76	165,02	165,04	165,52
P _{Neta, Corr}		[MW]	162,49	162,59	162,85	162,95	163,15	163,30	163,61	163,87	163,78	164,19

P _{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	164,49
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	163,28

Tabla 6-12 – Resumen general para la Unidad 2



6.7 Incertidumbre

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

En la Tabla 6-13 y en la Tabla 6-14 se presenta el cálculo de incertidumbre para la **Potencia Bruta Corregida** y la **Potencia Neta Corregida** respectivamente para la Unidad 1, 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]	164712,16	205,412	26	2,056	1948,90	40,28	1,001	1951,14	82,92	
FP	[-]	0,974	0,001	21	2,080	0,012	0,0002	-135,91	-1,57	-0,06	
									U_R	1952,90	[kW]

Tabla 6-13 – Cálculo de incertidumbre para la Potencia Bruta corregida de la Unidad 1

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]	164712,16	205,41	26	2,056	1948,90	40,28	0,001	2,24	0,10	
FP	[-]	0,974	0,001	21	2,080	0,012	0,0002	-135,906	-1,57	-0,06	
P_{Neta}	[kW]	163428,24	199,58	23	2,069	766,55	41,616	1,000	766,55	86,10	
									U_R	771,37	[kW]

Tabla 6-14 – Cálculo de incertidumbre para la Potencia Neta corregida de la Unidad 1

En la Tabla 6-15 y en la Tabla 6-16 se presenta el cálculo de incertidumbre para la **Potencia Bruta Corregida** y la **Potencia Neta Corregida** respectivamente para la Unidad 2, 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]	164645,11	204,445	26	2,056	1948,11	40,09	1,003	1954,01	82,69	
FP	[-]	0,994	0,001	21	2,080	0,012	0,0001	-387,75	-4,56	-0,09	
									U_R	1955,77	[kW]

Tabla 6-15 – Cálculo de incertidumbre para la Potencia Bruta corregida de la Unidad 2



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* θ)	Incertidumbre aleatoria (Sx* θ *ts,v)
P _{BRUTA}	[kW]	164645,11	204,45	26	2,056	1948,11	40,09	0,003	5,91	0,25
FP	[-]	0,994	0,001	21	2,080	0,012	0,0001	-387,749	-4,56	-0,09
P _{Neta}	[kW]	163432,05	185,32	23	2,069	766,56	38,643	1,000	766,56	79,95

U_R	770,76	[kW]
----------------------	---------------	-------------

Tabla 6-16 – Cálculo de incertidumbre para la Potencia Neta corregida de la Unidad 2



7 CONCLUSIONES

Se realizaron con éxito las pruebas de Potencia Máxima de la Unidad 1 y de la Unidad 2 para la Central Hidroeléctrica Antuco.

Cada unidad 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 valores de **Potencia Máxima Bruta** de las Unidades 1 y 2 de Central Hidroeléctrica Antuco con el siguiente desglose de valores:

Resumen de resultados CH Antuco - Unidad 1		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	164,7122
	Bruta Corregida [MW]	164,6315
	Neta Medida [MW]	163,4282
	Neta Corregida [MW]	163,3475
Pérdidas y consumos internos	Consumos de SSAA [kW]	235,51
	Pérdidas en transformador principal [kW]	653,30
	Pérdidas en transformadores de SS.AA. [kW]	30,40
	Pérdidas en transformadores de excitación [kW]	16,10
	Pérdidas en la red interna [kW]	348,59
	Pérdidas totales [kW]	1283,90

Tabla 7-1 – Resumen resultados – Unidad 1

Resumen de resultados CH Antuco - Unidad 2		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	164,6451
	Bruta Corregida [MW]	164,4935
	Neta Medida [MW]	163,4321
	Neta Corregida [MW]	163,2804
Pérdidas y consumos internos	Consumos de SSAA [kW]	235,51
	Pérdidas en transformador principal [kW]	653,30
	Pérdidas en transformadores de SS.AA. [kW]	30,40
	Pérdidas en transformadores de excitación [kW]	16,10
	Pérdidas en la red interna [kW]	277,79
	Pérdidas totales [kW]	1213,10

Tabla 7-2 – Resumen resultados – Unidad 2



8 NORMATIVA

- Anexo Técnico: “Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”.
- Norma Internacional IEC 60041
- Norma ASME PTC 19.1 “Test Uncertainty”



9 ANEXOS

9.1 Características Turbina y Generador

2. PARÁMETROS DE LOS GENERADORES

2.1. Datos del fabricante

Valores nominales:

$U_n = 13800 \text{ V}$

$S_n = 160 \text{ MVA}$ (175 MVA máximo)

$I_n = 6693.9 \text{ A}$ (7321.5 A máximo)

$\cos(\phi)_n = 0.95$

$X_d = 1.17 \text{ pu}$ / $X'_d = 0.27 \text{ pu}$ (voltage recovery method)

$X_q = 0.8 \text{ pu}$

$X''_d = 0.17 \text{ pu}$ / $X''_q = 0.19 \text{ pu}$

$X_l = 0.108 \text{ pu}$

$X_2 = 0.163 \text{ pu}$ / $X_o = 0.10 \text{ pu}$

$T'_{do} = 8.3 \text{ seg}$ (voltage recovery method)

$T''_{do} = 0.06 \text{ seg}$

$T_a = 0.3 \text{ seg}$

$SCR = 1.03$ (short circuit ratio)

$GD^2 = 8652 \text{ ton}\cdot\text{m}^2$ (fly-wheel effect formula - Hitachi)

Figura 9.1 – Hoja de datos del generador

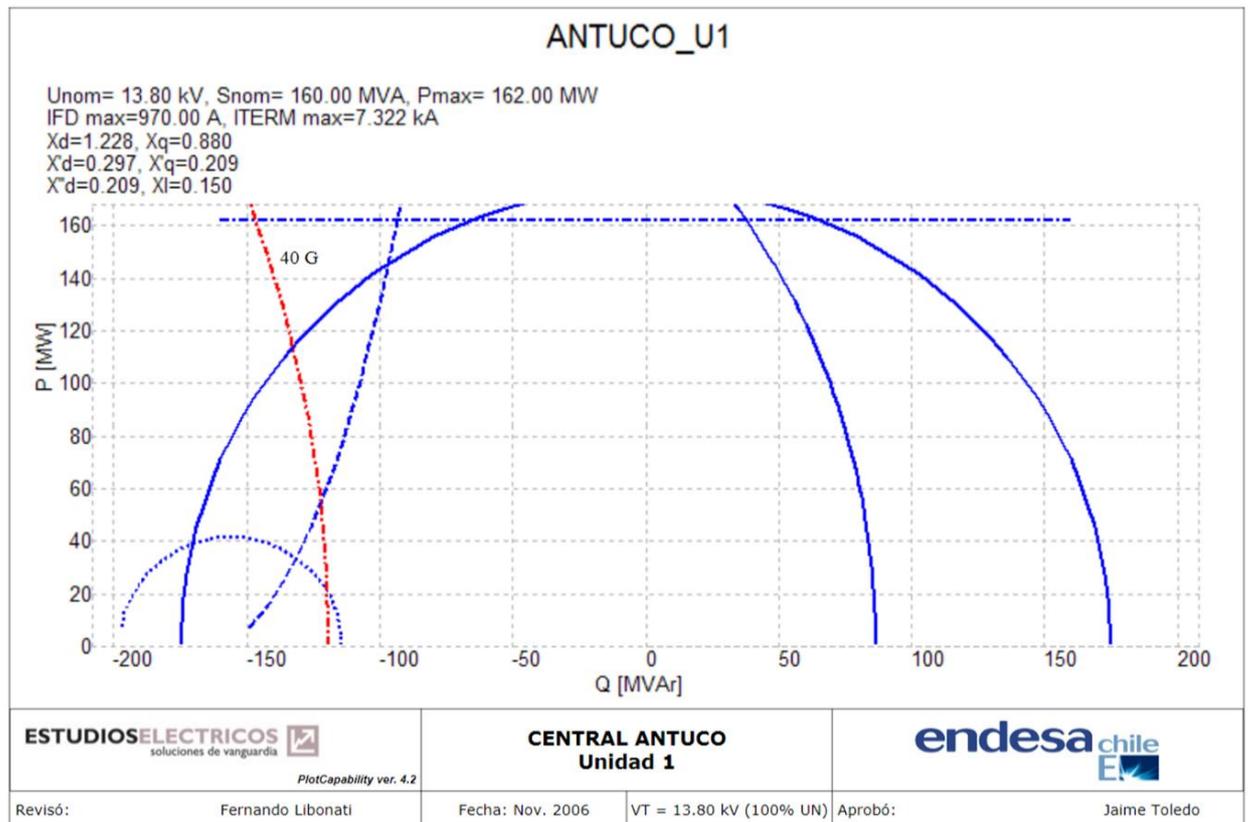


Figura 9.2 – Curva de Capacidad



9.2 Puntos de medición

9.2.1 Potencia bruta

Para la medición de potencia bruta se utilizaron medidores Schneider PowerLogic ION 7650 que el Coordinado tiene en sus instalaciones. En los siguientes diagramas trifilares se pueden identificar los puntos de medición de la potencia bruta, los cuales son análogos para las dos unidades. La relación de transformación del TTCC es 8000/5 A y la relación de transformación del TTPP es de 14.4/0.12 kV.

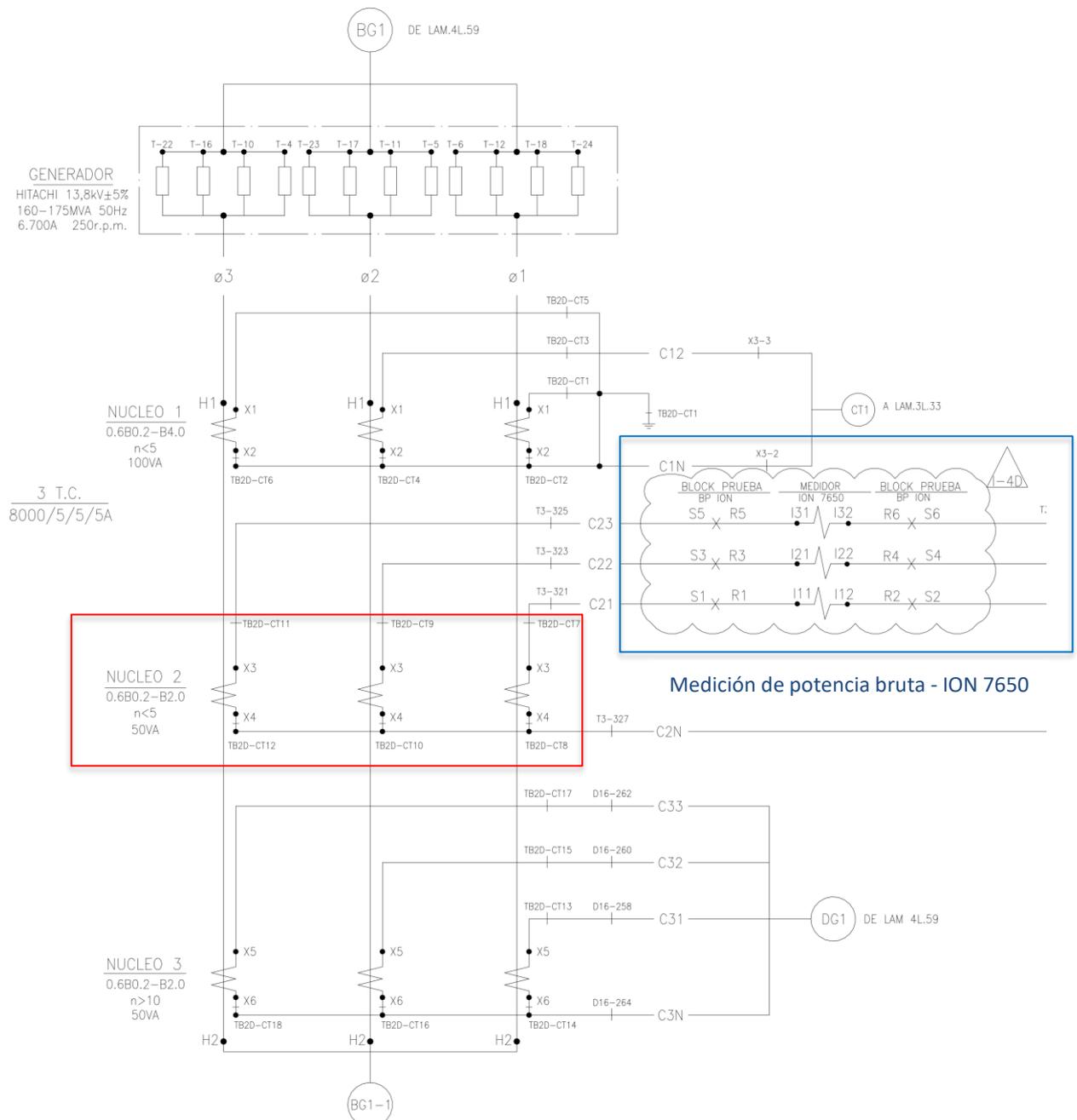


Figura 9-3 - Puntos de medición de corriente para el medidor de potencia bruta y factor de potencia

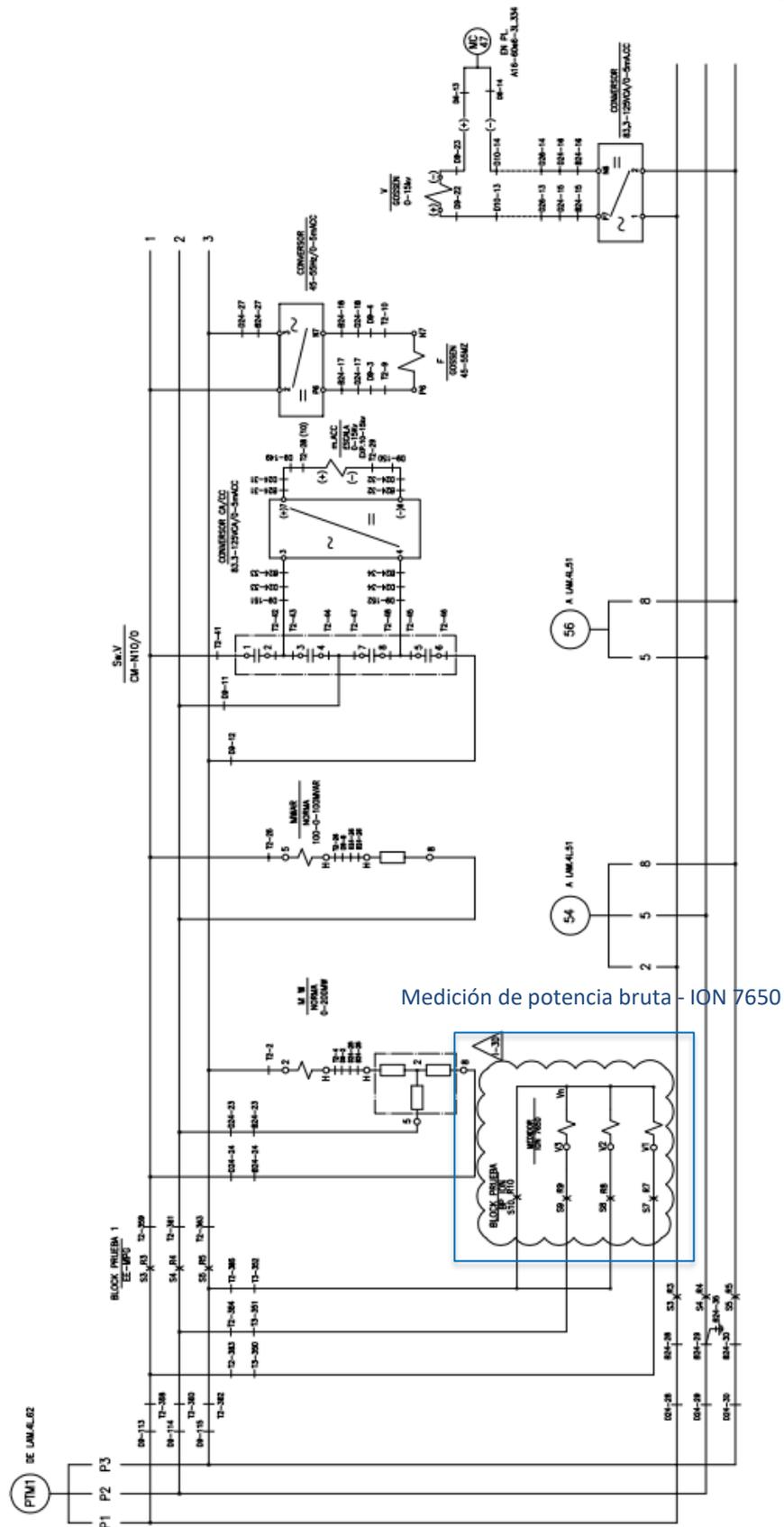


Figura 9-4 - Puntos de medición de tensión para el medidor de potencia bruta y factor de potencia



En las siguientes imágenes se presentan las fotos de placa de los medidores de potencia bruta:



Figura 9-5 – Datos de placa medidor de potencia bruta y factor de potencia - Unidad U1

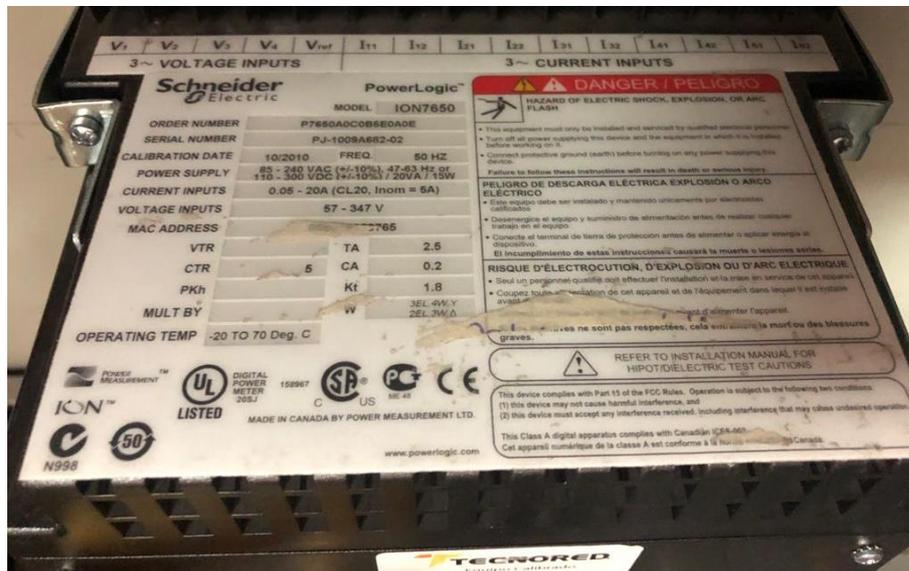


Figura 9-6 – Datos de placa medidor de potencia bruta y factor de potencia - Unidad U2



9.2.2 Potencia neta

Para la medición de potencia neta se utilizará el medidor Schneider PowerLogic ION 7650, que el Coordinado tiene en sus instalaciones. En el siguiente diagrama unifilar se pueden identificar los puntos de medición de la potencia bruta, los cuales son análogos para las dos unidades. La relación de transformación del TTCC es 300/5 A y la relación de transformación del TTPP es de 230/0.115 kV.

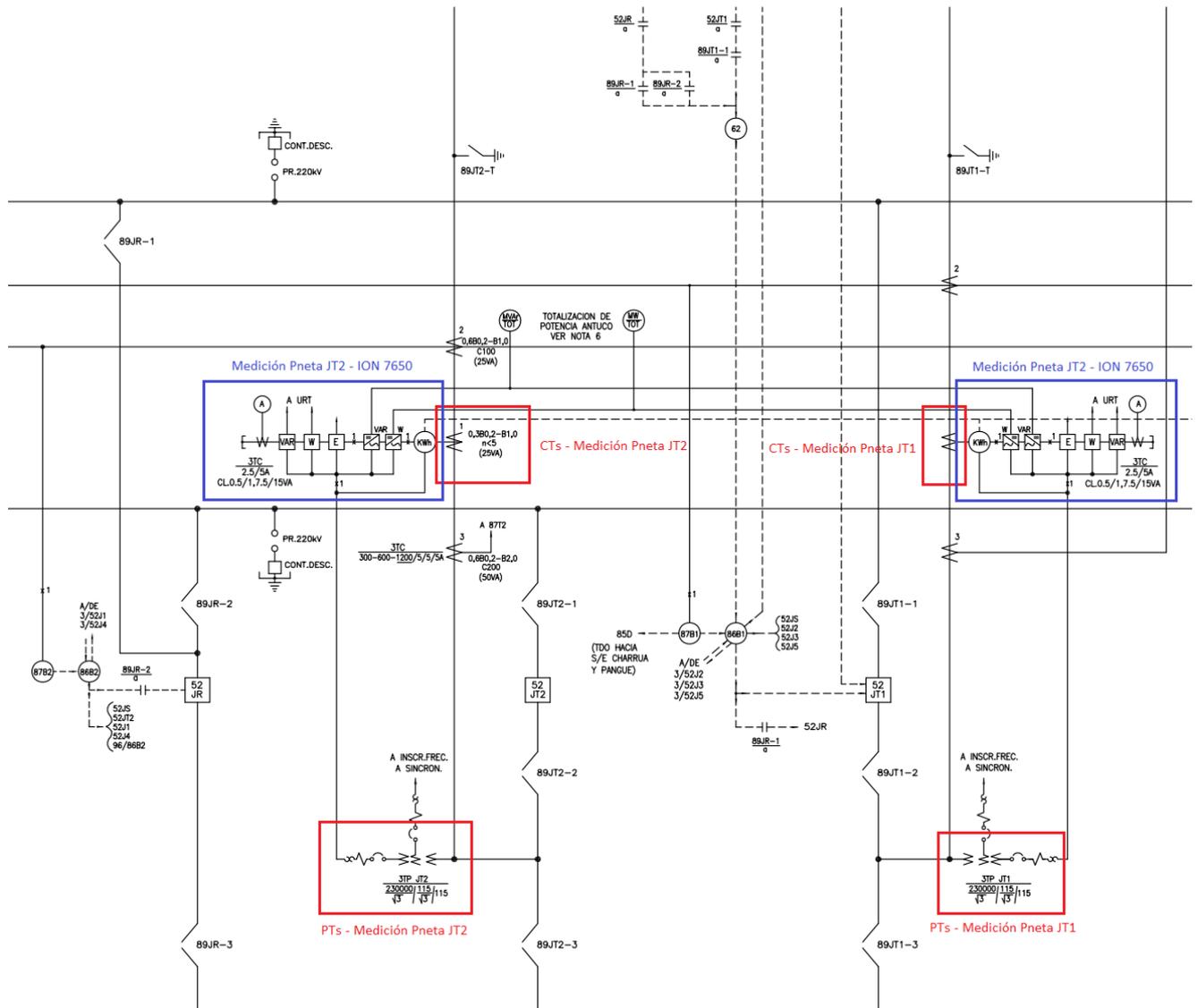


Figura 9-7 - Puntos de medición de corriente y tensión para el medidor de potencia neta



En las siguientes imágenes se presentan las fotos de placa de los medidores de potencia neta:

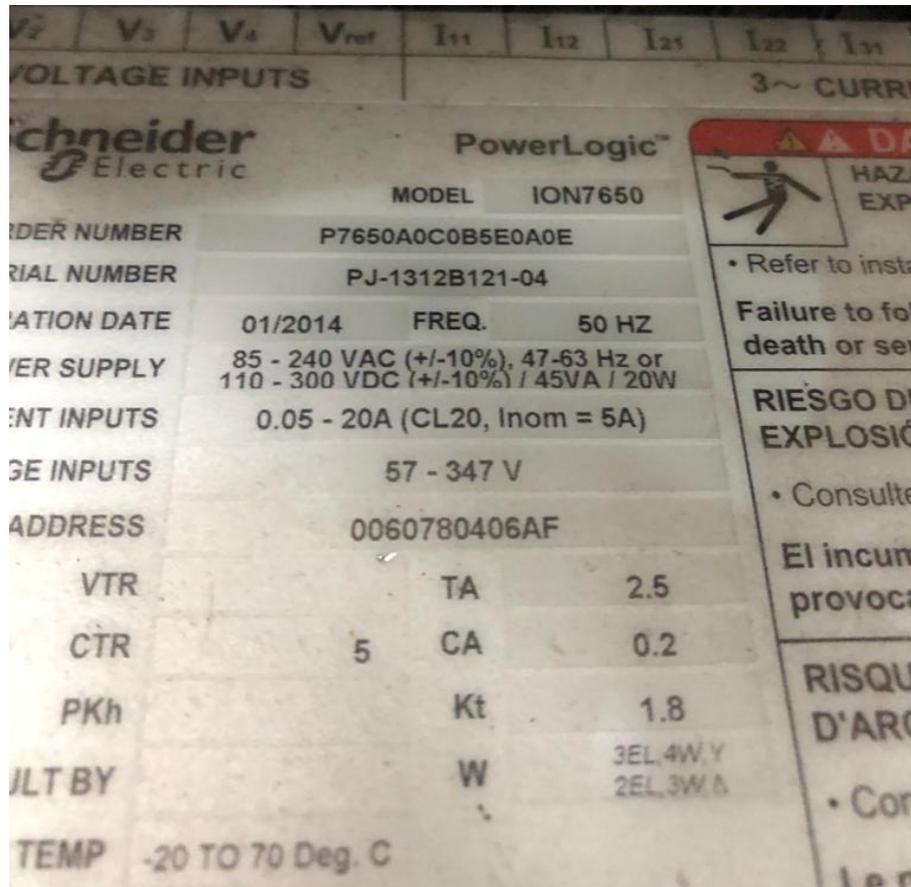


Figura 9-8 – Datos de placa medidor de potencia neta - Unidad U1



Schneider Electric		PowerLogic™	
MODEL	ION7650		
ORDER NUMBER	P7650A0C0B5E0A0E		
SERIAL NUMBER	PJ-1401A796-04		
INSTALLATION DATE	01/2014	FREQ.	50 HZ
VOLTAGE SUPPLY	85 - 240 VAC (+/-10%), 47-63 Hz or 110 - 300 VDC (+/-10%) / 45VA / 20W		
CURRENT INPUTS	0.05 - 20A (CL20, Inom = 5A)		
VOLTAGE INPUTS	57 - 347 V		
MAC ADDRESS	006078040CF0		
VTR		TA	2.5
CTR	5	CA	0.2
PKh		Kt	1.8
MULT BY		W	3EL, 4W, Y 2EL, 3W, Δ
STORAGE TEMP	-20 TO 70 Deg. C		
TEMPERATURE RATING	75°C MIN.		

Figura 9-9 – Datos de placa medidor de potencia neta - Unidad U2



9.3 Certificados de calibración de instrumentos de medición

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

9.3.1 Potencia bruta/FP

Se utilizará los medidores que el Coordinado tiene dentro de sus instalaciones. Estos medidores son clase 0.2 y cumplen con los requerimientos establecidos en el anexo técnico.

Los registros de datos se realizarán con una tasa de muestreo cada 1 minuto y serán entregados en formato csv.

El Coordinado ha realizado pruebas de certificación de estos equipos previo al desarrollo de las pruebas. A continuación, se incluyen los certificados de calibración.



FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38476

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
N° / Fecha de Solicitud	: OC 4500343161		
Fecha Calibración	: 11.11.2021		
Medidor	: ION 7650		
Cliente	: Enel Chile S.A.		
Instalación	: Unidad 1		
Subestación	: Central Antuco		

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR			
Marca	: Schneider Electric		
Modelo	: P7650A0C0B5E0A0E		
N° de Serie	: PJ-1203A113-03		
Estado	: En Servicio		
Año Fabricación	: 2012		
Clase Exactitud (%)	: 0,2		
Constante Med.	: 1		

PATRON DE CALIBRACIÓN			
Marca	: MTE		
Modelo	: PTS 3.3 genX		
N° Serie	: 95502		
Clase de Exactitud	: 0,05		
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored		

CONDICIONES DE MEDIDA			
Lugar de Calibración	: Central Antuco		
Tipo de Medida	: W.ESTRELLA/ACTIVO		
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)		
Corriente Nominal	: 5 (A)		
N° de Elementos	: 3		
Método Calibración	: Comparación Directa		
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)		
Temperatura (C°)	: 22.1		
Humedad (%)	: 53.2		
Calibrador	: O. Vergara - I.Llanos		

RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	-0,036	± 0,2	-0,039	± 0,2
2	123	100	0,5	-0,059	± 0,3	-0,054	± 0,3
3	123	10	1	-0,026	± 0,2	-0,035	± 0,2
4	123	10	0,5	-0,055	± 0,3	-0,055	± 0,3
5	1	100	1	-0,050	± 0,3	-0,066	± 0,3
6	2	100	1	-0,096	± 0,3	-0,099	± 0,3
7	3	100	1	0,037	± 0,3	0,044	± 0,3
8	1	100	0,5	-0,013	± 0,4	-0,003	± 0,4
9	2	100	0,5	-0,089	± 0,4	-0,061	± 0,4
10	3	100	0,5	0,029	± 0,4	0,010	± 0,4

RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	-0,034	± 2,0	-0,031	± 2,0
2	123	100	0,5	-0,058	± 2,0	-0,058	± 2,0
3	123	10	1	-0,031	± 2,0	-0,029	± 2,0
4	123	10	0,5	-0,060	± 2,0	-0,058	± 2,0
5	1	100	1	-0,092	± 3,0	-0,027	± 3,0
6	2	100	1	-0,094	± 3,0	-0,086	± 3,0
7	3	100	1	0,037	± 3,0	0,042	± 3,0
8	1	100	0,5	-0,032	± 3,0	-0,019	± 3,0
9	2	100	0,5	-0,086	± 3,0	-0,090	± 3,0
10	3	100	0,5	0,013	± 3,0	0,026	± 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 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 9-10 - Certificado de calibración medidor de potencia bruta y factor de potencia (Unidad 1)



FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38475

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
Nº / Fecha de Solicitud	: OC 4500343161		
Fecha Calibración	: 11.11.2021		
Medidor	: ION 7650		
Cliente	: Enel Chile S.A.		
Instalación	: Unidad 2		
Subestación	: Central Antuco		

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR			
Marca	: Schneider Electric		
Modelo	: P7650A0C0B5E0A0E		
Nº de Serie	: PJ-1009A682-02		
Estado	: En Servicio		
Año Fabricación	: 2010		
Clase Exactitud (%)	: 0,2		
Constante Med.	: 1		

PATRON DE CALIBRACIÓN			
Marca	: MTE		
Modelo	: PTS 3.3 genX		
Nº Serie	: 95502		
Clase de Exactitud	: 0,05		
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored		

CONDICIONES DE MEDIDA			
Lugar de Calibración	: Central Antuco		
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°)	: 21,3		
Humedad (%)	: 25,3		
Calibrador	: O. Vergara - I.Llanos		

RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	-0,029	± 0,2	-0,025	± 0,2
2	123	100	0,5	-0,030	± 0,3	-0,041	± 0,3
3	123	10	1	-0,034	± 0,2	-0,038	± 0,2
4	123	10	0,5	-0,032	± 0,3	-0,032	± 0,3
5	1	100	1	-0,005	± 0,3	0,002	± 0,3
6	2	100	1	-0,027	± 0,3	-0,010	± 0,3
7	3	100	1	-0,020	± 0,3	-0,022	± 0,3
8	1	100	0,5	-0,006	± 0,4	-0,006	± 0,4
9	2	100	0,5	-0,045	± 0,4	-0,006	± 0,4
10	3	100	0,5	-0,013	± 0,4	-0,038	± 0,4

RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	-0,025	± 2,0	-0,025	± 2,0
2	123	100	0,5	-0,015	± 2,0	-0,028	± 2,0
3	123	10	1	-0,038	± 2,0	-0,029	± 2,0
4	123	10	0,5	-0,031	± 2,0	-0,036	± 2,0
5	1	100	1	-0,039	± 3,0	0,002	± 3,0
6	2	100	1	0,018	± 3,0	-0,024	± 3,0
7	3	100	1	-0,045	± 3,0	-0,075	± 3,0
8	1	100	0,5	0,000	± 3,0	-0,006	± 3,0
9	2	100	0,5	-0,016	± 3,0	-0,003	± 3,0
10	3	100	0,5	-0,058	± 3,0	0,051	± 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 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 9-11 - Certificado de calibración medidor de potencia bruta y factor de potencia (Unidad 2)



9.3.2 Potencia neta

Se utilizará los medidores que el Coordinado tiene dentro de sus instalaciones. Estos medidores son clase 0.2 y cumplen con los requerimientos establecidos en el anexo técnico.

Los registros de datos se realizarán con una tasa de muestreo cada 1 minuto y serán entregados en formato csv.

El Coordinado ha realizado pruebas de certificación de estos equipos previo al desarrollo de las pruebas. A continuación, se incluyen los certificados de calibración.



FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38477

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
N° / Fecha de Solicitud	: OC 4500343161		
Fecha Calibración	: 11.11.2021		
Medidor	: ION 7650		
Cliente	: Enel Chile S.A.		
Instalación	: JT1		
Subestación	: Antuco		

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR			
Marca	: Schneider Electric		
Modelo	: P7650A0C0B5E0A0E		
N° de Serie	: PJ-1312B121-04		
Estado	: En Servicio		
Año Fabricación	: 2013		
Clase Exactitud (%)	: 0,2		
Constante Med.	: 1		

PATRON DE CALIBRACIÓN			
Marca	: MTE		
Modelo	: PTS 3.3 genX		
N° Serie	: 95502		
Clase de Exactitud	: 0,05		
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored		

CONDICIONES DE MEDIDA			
Lugar de Calibración	: SE Antuco		
Tipo de Medida	: W.ESTRELLA/ACTIVO		
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)		
Corriente Nominal	: 5 (A)		
N° de Elementos	: 3		
Método Calibración	: Comparación Directa		
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)		
Temperatura (C°)	: 22,5		
Humedad (%)	: 59,2		
Calibrador	: O. Vergara - I.Llanos		

RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	0,002	± 0,2	0,014	± 0,2
2	123	100	0,5	-0,004	± 0,3	-0,004	± 0,3
3	123	10	1	-0,011	± 0,2	-0,008	± 0,2
4	123	10	0,5	-0,009	± 0,3	-0,017	± 0,3
5	1	100	1	-0,012	± 0,3	0,016	± 0,3
6	2	100	1	-0,003	± 0,3	-0,020	± 0,3
7	3	100	1	0,030	± 0,3	0,024	± 0,3
8	1	100	0,5	0,029	± 0,4	-0,022	± 0,4
9	2	100	0,5	0,013	± 0,4	0,013	± 0,4
10	3	100	0,5	0,045	± 0,4	0,029	± 0,4

RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	0,002	± 2,0	0,004	± 2,0
2	123	100	0,5	0,014	± 2,0	0,011	± 2,0
3	123	10	1	-0,009	± 2,0	-0,008	± 2,0
4	123	10	0,5	-0,001	± 2,0	-0,001	± 2,0
5	1	100	1	0,009	± 3,0	-0,009	± 3,0
6	2	100	1	-0,009	± 3,0	0,007	± 3,0
7	3	100	1	0,035	± 3,0	0,035	± 3,0
8	1	100	0,5	0,013	± 3,0	-0,042	± 3,0
9	2	100	0,5	0,022	± 3,0	0,038	± 3,0
10	3	100	0,5	0,061	± 3,0	0,026	± 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 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 9-12 - Certificado de calibración medidor de potencia neta (Unidad 1)



FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38478

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
N° / Fecha de Solicitud	: OC 4500343161		
Fecha Calibración	: 12.11.2021		
Medidor	: ION 7650		
Cliente	: Enel Chile S.A.		
Instalación	: JT2		
Subestación	: Antuco		

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR			
Marca	: Schneider Electric		
Modelo	: P7650A0COB5E0A0E		
N° de Serie	: PJ-1401A796-04		
Estado	: En Servicio		
Año Fabricación	: 2014		
Clase Exactitud (%)	: 0,2		
Constante Med.	: 1		

PATRON DE CALIBRACIÓN			
Marca	: MTE		
Modelo	: PTS 3.3 genX		
N° Serie	: 95502		
Clase de Exactitud	: 0,05		
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored		

CONDICIONES DE MEDIDA			
Lugar de Calibración	: SE Antuco		
Tipo de Medida	: W.ESTRELLA/ACTIVO		
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)		
Corriente Nominal	: 5 (A)		
N° de Elementos	: 3		
Método Calibración	: Comparación Directa		
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)		
Temperatura (C°)	: 18.3		
Humedad (%)	: 55.2		
Calibrador	: O. Vergara - I.Llanos		

RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error (%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	0,050	± 0,2	0,055	± 0,2
2	123	100	0,5	0,045	± 0,3	0,050	± 0,3
3	123	10	1	0,070	± 0,2	0,074	± 0,2
4	123	10	0,5	0,080	± 0,3	0,070	± 0,3
5	1	100	1	0,055	± 0,3	0,084	± 0,3
6	2	100	1	0,067	± 0,3	0,044	± 0,3
7	3	100	1	0,054	± 0,3	0,067	± 0,3
8	1	100	0,5	0,074	± 0,4	0,090	± 0,4
9	2	100	0,5	0,080	± 0,4	0,090	± 0,4
10	3	100	0,5	0,029	± 0,4	0,061	± 0,4

RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	0,059	± 2,0	0,048	± 2,0
2	123	100	0,5	0,076	± 2,0	0,062	± 2,0
3	123	10	1	0,077	± 2,0	0,073	± 2,0
4	123	10	0,5	0,083	± 2,0	0,069	± 2,0
5	1	100	1	0,055	± 3,0	0,046	± 3,0
6	2	100	1	0,048	± 3,0	0,071	± 3,0
7	3	100	1	0,078	± 3,0	0,084	± 3,0
8	1	100	0,5	0,070	± 3,0	0,083	± 3,0
9	2	100	0,5	0,093	± 3,0	0,080	± 3,0
10	3	100	0,5	0,077	± 3,0	0,093	± 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 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 9-13 - Certificado de calibración medidor de potencia neta (Unidad 2)



9.4 Acta de ensayos

Se incluye a continuación las actas confeccionadas al finalizar los ensayos en planta.

ESTUDIOS ELÉCTRICOS

ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

ACTA DE ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Fecha	13/10/2022	Empresa	ENEL Generación S.A.
ID Proyecto	EE-2021-115	Ubicación	Comuna Alto Bio Bio, Región del Bio Bio
Denominación de la unidad	CH Antuco - Unidad 1		

Responsables durante la prueba

Empresa	Nombre	Firmas
	Juan Carlos Sanchez O. - Especialista Sistemas de Control	
ENEL Generación S.A. (Coordinado)	Alejandro Perez R. - Especialista Sr Sistemas de Control	
	Alejandro Cortés V. - Mantenedor/Operador	
	Victor Saez A. - Plant Unit Laja	
Coordinador Eléctrico Nacional	Sin participantes durante las pruebas.	-
Estudios Eléctricos	Federico Garcia - Experto Técnico	

www.estudios-electricos.com

Figura 9.14 – Acta de tareas para la Unidad 1 (1 de 3)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Datos de la unidad

Potencia aparente nominal [MVA]	175	Corriente de estator nominal [A]	6700
Tensión de estator nominal [kV]	13.8	Factor de potencia nominal	0.95
Potencia activa máxima [MW]	160 <i>Declarado CEN</i>	Corriente de excitación nominal [A]	970
Mínimo Técnico [MW]	5	Tensión de excitación nominal [V]	375

Datos de la prueba

Estado previo de las unidades	<i>Despachada</i>	Arranque de la unidad (fecha-hora)	-
Inicio del período de estabilización	<i>19:40 Hs</i>	Fin del período de estabilización	<i>20:00 Hs</i>
Inicio del período de prueba Potencia Máxima	<i>20:00 Hs</i>	Fin del período de prueba Potencia Máxima	<i>01:00 Hs (14/10/2022)</i>
Protocolo aplicable	<i>EE-EN-2021-1917 Rev B</i>	Desvíos del protocolo	<i>No</i>

Instrumental

Magnitud	Descripción de equipos y punto de conexión
Potencia neta	<i>ION 7650 – N° Serie: PJ-1312B121-04, Equipo de medida de planta clase 0.2.</i>
Potencia bruta y factor de potencia	<i>ION 7650 – N° Serie: PJ-1203A113-03, Equipo de medida de planta clase 0.2.</i>
Potencia SSAA [kW]	<i>235.51</i>

www.estudios-electricos.com

Figura 9.15 – Acta de tareas para la Unidad 1 (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 pruebas obtenidos durante el desarrollo de las pruebas de potencia máxima:

Período	1	2	3	4	5
Potencia Bruta [MW]	164.14	164.79	164.91	164.96	164.76

Observaciones

Desvíos del protocolo: No se registraron desvíos.

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 se operó en carga base a máxima potencia, la regulación de frecuencia estuvo operativa con un estatismo configurado de 6% y se consignó el valor de potencia reactiva en 38 MVAR, lo que permitió tener un factor de potencia cercano a 0.975 durante toda la prueba. No se pudo lograr operar con un factor de potencia de 0.95 dadas las condiciones del sistema.

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 neta y bruta se encuentran sincronizados. Se verificó correcta tasa de muestreo de 1 minuto de ambos 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 neta y Potencia bruta) y sistema SCADA de planta.

Los servicios auxiliares quedan alimentados únicamente desde la Unidad 1 a través del transformador de SSAA N°01 (interruptores 52TR1 y 52CTR1 cerrados).

Conclusiones: Se verificó con éxito que la unidad puede operar a máxima potencia por un periodo 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.

Figura 9.16 – Acta de tareas para la Unidad 1 (3 de 3)

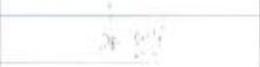


ESTUDIOS ELÉCTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

ACTA DE ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Fecha	12/10/2022	Empresa	ENEL Generación S.A.
ID Proyecto	EE-2021-115	Ubicación	Comuna Alto Bio Bio, Región del Bio Bio
Denominación de la unidad	CH Antuco - Unidad 2		

Responsables durante la prueba

Empresa	Nombre	Firmas
	Juan Carlos Sanchez O. - Especialista Sistemas de Control	
	Alejandro Perez R. - Especialista Sr Sistemas de Control	
ENEL Generación S.A. (Coordinado)	Alejandro Cortés V. - Mantenedor/Operador	
	Victor Saez A. - Plant Unit Laja	
Coordinador Eléctrico Nacional	Sin participantes durante las pruebas.	-
Estudios Eléctricos	Federico Deledda - Experto Técnico	

www.estudios-electricos.com

Figura 9.17 – Acta de tareas para la Unidad 2 (1 de 3)



ESTUDIOS ELÉCTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Datos de la unidad

Potencia aparente nominal [MVA]	175	Corriente de estator nominal [A]	6700
Tensión de estator nominal [kV]	13.8	Factor de potencia nominal	0.95
Potencia activa máxima [MW]	160 <i>Declarado CEN</i>	Corriente de excitación nominal [A]	970
Mínimo Técnico [MW]	5	Tensión de excitación nominal [V]	375

Datos de la prueba

Estado previo de las unidades	Despachada	Arranque de la unidad (fecha-hora)	-
Inicio del periodo de estabilización	19:40 Hs	Fin del periodo de estabilización	20:00 Hs
Inicio del periodo de prueba Potencia Máxima	20:15 Hs	Fin del periodo de prueba Potencia Máxima	01:15 Hs (13/10/2022)
Protocolo aplicable	EE-EN-2021-1917 Rev B	Desvíos del protocolo	No

Instrumental

Magnitud	Descripción de equipos y punto de conexión
Potencia neta	ION 7650 - N° Serie: PJ-1401A796-04. Equipo de medida de planta clase 0.2.
Potencia bruta y factor de potencia	ION 7650 - N° Serie: PJ-1009A682-02. Equipo de medida de planta clase 0.2.
Potencia SSAA [kW]	235.51

www.estudios-electricos.com/

Figura 9.18 – Acta de tareas para la Unidad 2 (2 de 3)

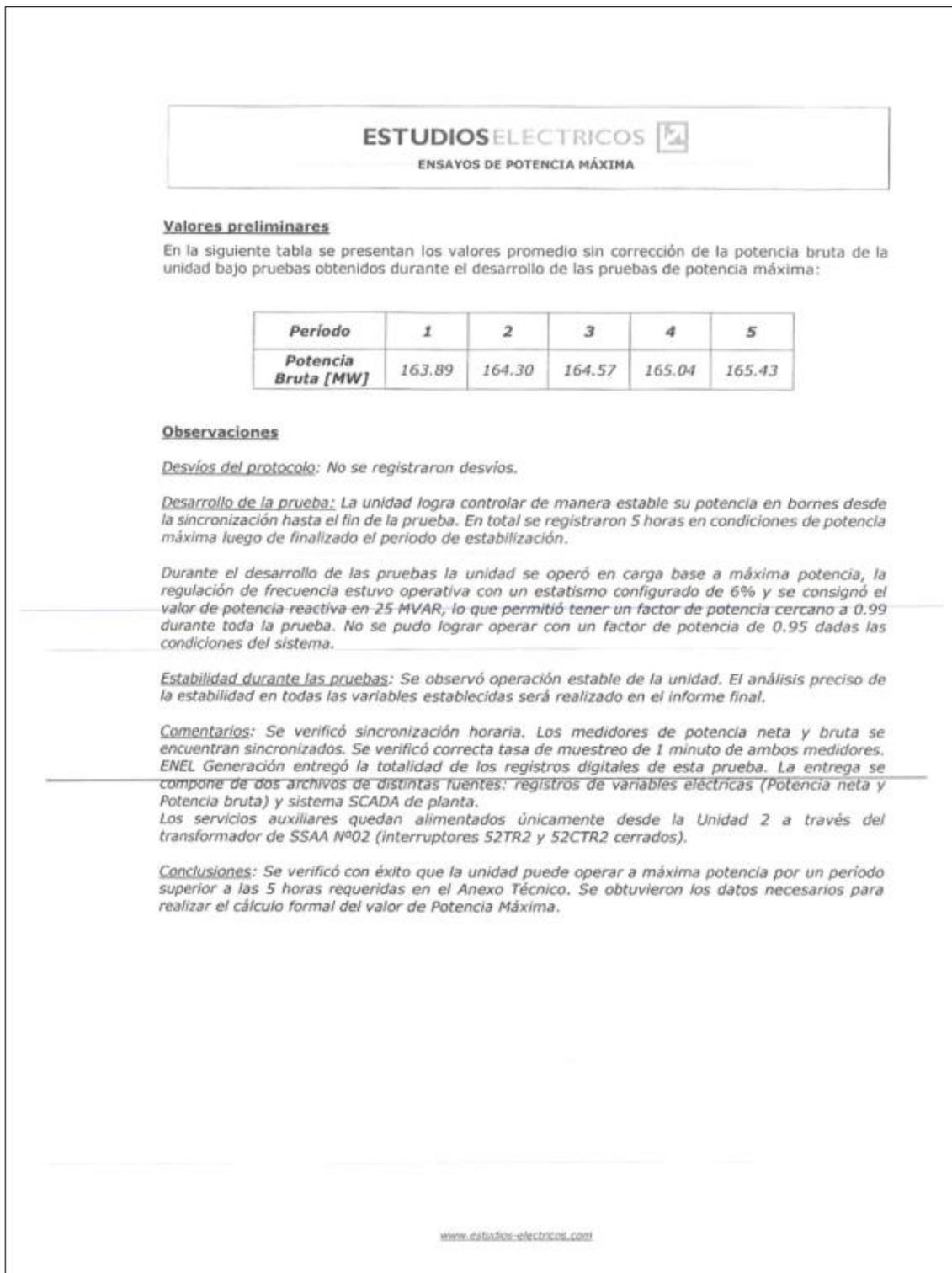


Figura 9.19 – Acta de tareas para la Unidad 2 (3 de 3)



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco