

Empresa: Coordinador Eléctrico Nacional

País: Chile

Proyecto: Central Hidroeléctrica Ralco

Descripción: Informe de Pruebas de Potencia Máxima

Código de Proyecto: EE-2021-115

Código de Informe: EE-EN-2021-2134

Revisión: C



1 de junio de 2022



Este documento EE-EN-2021-2134-RC fue preparado para Coordinador Eléctrico Nacional por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Andrés Capalbo

Coordinador 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 78 páginas y ha sido guardado por última vez el 01/06/2022 por Federico Deledda, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev.	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	15/12/2021	Para presentar.	FP/FG	AC	PR
B	25/02/2022	Se incluyen las modificaciones solicitadas en el documento PPM-035-2021-CC-DCO-0.	FD	AC	PR
C	01/06/2022	Se incluyen los resultados de los ensayos a la central completa, se discriminan las pérdidas y consumos internos y se corrigen valores de potencia máxima por cota de embalse.	FD	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.....	9
3.1	Objetivo.....	9
3.2	Condiciones Particulares.....	9
3.3	Experto Técnico.....	9
3.4	Representante empresa generadora.....	10
3.5	Representante del Coordinador Eléctrico Nacional.....	10
3.6	Observador de otro Coordinado.....	10
4	DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD Y CONDICIONES DE PRUEBA.....	11
4.1	Descripción general de la planta.....	11
4.2	Descripción de las unidades de generación.....	12
4.3	Condiciones de referencia y curvas de corrección.....	15
4.3.1	Curvas de corrección.....	16
4.3.2	Metodología de corrección.....	17
4.4	Instrumentación y mediciones.....	17
4.4.1	Metodología.....	18
4.4.2	Instrumentación principal.....	19
4.4.3	Mediciones complementarias.....	20
4.5	Estimación teórica de pérdidas y consumos propios de las unidades.....	21
4.5.1	Consumos propios de servicios auxiliares.....	22
4.5.2	Pérdidas en el transformador principal.....	23
4.5.3	Pérdidas en los transformadores auxiliares y de excitación.....	26
5	REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.....	28
5.1	Chequeos preliminares.....	28
5.2	Desarrollo de las pruebas.....	28
5.2.1	Verificaciones previas.....	28
5.3	Incremento de potencia, estabilización e inicio de la prueba.....	29
5.4	Período de prueba.....	31
6	CALCULOS REALIZADOS Y RESULTADOS.....	33



6.1	Reducción de datos y estabilidad.....	33
6.2	Determinación de la potencia de pérdidas totales (SSAA)	33
6.3	Correcciones aplicables a la potencia bruta.....	35
6.4	Cálculo de la potencia neta corregida.....	37
6.5	Cálculo del promedio final	39
6.6	Tabla Resumen general.....	41
6.7	Incertidumbre	44
6.8	Corrección por cota condición de planta completa	46
6.8.1	Potencia bruta	47
6.8.2	Potencia de perdidas en la central	47
6.8.3	Potencia Neta	50
6.8.4	Resultados	51
7	CONCLUSIONES	52
8	NORMATIVA	54
9	ANEXOS	55
9.1	Registro histórico de cota	55
9.2	Característica potencia máxima vs cota embalse Ralco.....	57
9.3	Características Turbina y Generador.....	58
9.4	Puntos de medición.....	59
9.4.1	Potencia bruta	59
9.4.2	Potencia neta	61
9.5	Certificados de calibración de instrumentos de medición.....	63
9.5.1	Potencia bruta/FP.....	63
9.5.2	Potencia neta	66
9.6	Acta de ensayos.....	69



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 para la Central Hidroeléctrica Ralco** en los términos establecidos en el “*ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras*”.

En este informe se documentan los resultados de las pruebas individuales realizadas en las unidades U1 y U2 de Central Ralco. Los resultados de las pruebas a la Central Completa serán presentados en un informe aparte.

Para la ejecución de las pruebas se siguió el protocolo:

EE-EN-2021-1872-RC_Procedimiento_Potencia_Maxima_CH_Ralco

La Central Hidroeléctrica Ralco 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 Alstom que impulsan generadores sincrónicos marca Alstom.



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 9 y 10 de noviembre de 2021 respectivamente, mientras que las pruebas de la Central completa se realizaron el día 2 de marzo de 2022. Todas las pruebas fueron realizadas en presencia de Mauricio Mella, Alejandro Pérez, José Carvajal y Francisco Camarada por parte del Coordinado (Enel Generación S.A.), Roberto Moller y Eduardo González por parte del Coordinador, y Federico Deledda y Federico García como Experto Técnico (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 Ralco con el siguiente desglose de valores:

Resumen de resultados CH Ralco - Unidad 1		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	389,7856
	Bruta Corregida [MW]	389,5383
	Neta Medida [MW]	387,4069
	Neta Corregida [MW]	387,1596
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	209,5

Tabla 2-1 – Resumen resultados – Unidad 1

Resumen de resultados CH Ralco - Unidad 2		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	391,1863
	Bruta Corregida [MW]	390,9468
	Neta Medida [MW]	388,3915
	Neta Corregida [MW]	388,1520
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	209,5

Tabla 2-2 – Resumen resultados – Unidad 2

Resumen de resultados CH Ralco - Central completa		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	656,6263
	Bruta Corregida [MW]	656,1175
	Neta Medida [MW]	652,0020
	Neta Corregida [MW]	651,4932
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	419,0

Tabla 2-3 – Resumen resultados – Central completa



Resumen de resultados CH Ralco - Central Completa Corrección por Cota		
Potencia Máxima	Bruta Corregida [MW]	679.33
	Neta Corregida [MW]	674.41
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	419,0

Tabla 2-4 – Resumen resultados – Central Completa (Corrección por cota)



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 guio 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 Ralco los inspectores sustitutos fueron **Mauricio Mella**, quien se desempeña como Mantenedor/Operador de la central, **Alejandro Pérez** quien se desempeña como Especialista Sr en Sistemas de Control, **José Carvajal**, quien se desempeña como Especialista en Sistemas de Control y **Francisco Camarada**, quien se desempeña como Plant Unit Biobío.

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 Ralco. Los Expertos Técnicos designados fueron el Ing. **Federico Deledda** y el Ing. **Federico García**. Ellos fueron los responsables de desarrollar el protocolo de pruebas, supervisar la ejecución de todas las actividades descriptas en el mismo y redactar el presente informe.



3.4 Representante empresa generadora

Por parte de Enel Generación S.A., el Coordinado, estuvieron presente durante las pruebas los inspectores sustitutos **Mauricio Mella**, quien se desempeña como Mantenedor/Operador de la central, **Alejandro Pérez** quien se desempeña como Especialista Sr en Sistemas de Control, **José Carvajal**, quien se desempeña como Especialista en Sistemas de Control y **Francisco Camarada**, quien se desempeña como Plant Unit Biobío.

3.5 Representante del Coordinador Eléctrico Nacional

Los Sres. **Roberto Moller** y **Eduardo González** se hicieron presentes durante el desarrollo de las pruebas vía conexión remota.

3.6 Observador de otro Coordinado

No hubo representación de otro Coordinado en terreno 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 Ralco 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 Alstom que impulsan generadores sincrónicos marca Alstom de 402 MVA de potencia aparente.

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

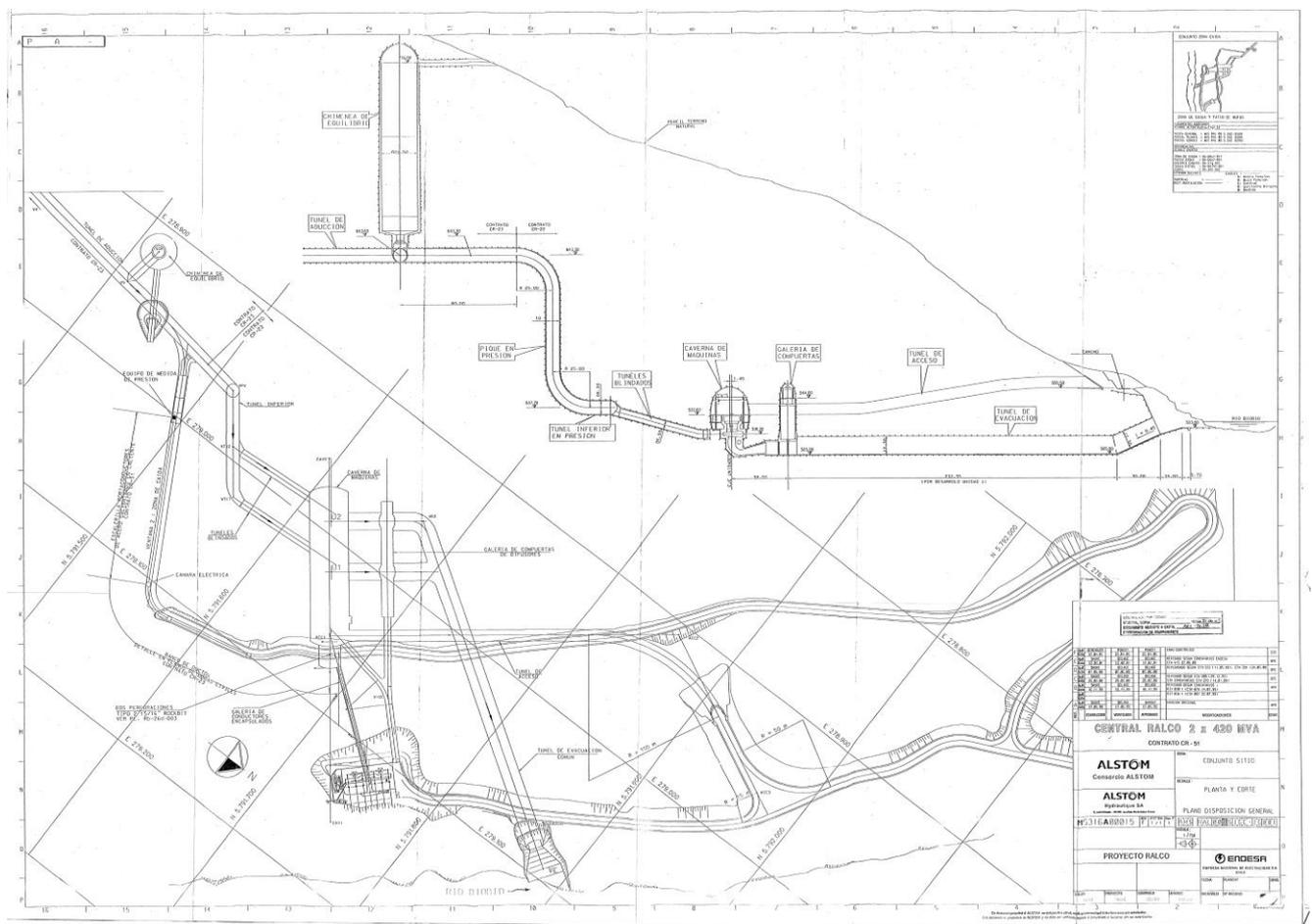


Figura 4-1 – Plano de disposición general de planta



4.2 Descripción de las unidades de generación

Las dos unidades, U1 y U2, pertenecientes a la central Ralco son de idénticas características y están compuestas cada una por una turbina Alstom de eje vertical, vinculada a un generador Alstom, que juntos entregan una potencia bruta aproximada de 690 MW¹. Se presenta a continuación el diagrama unilineal de la central.

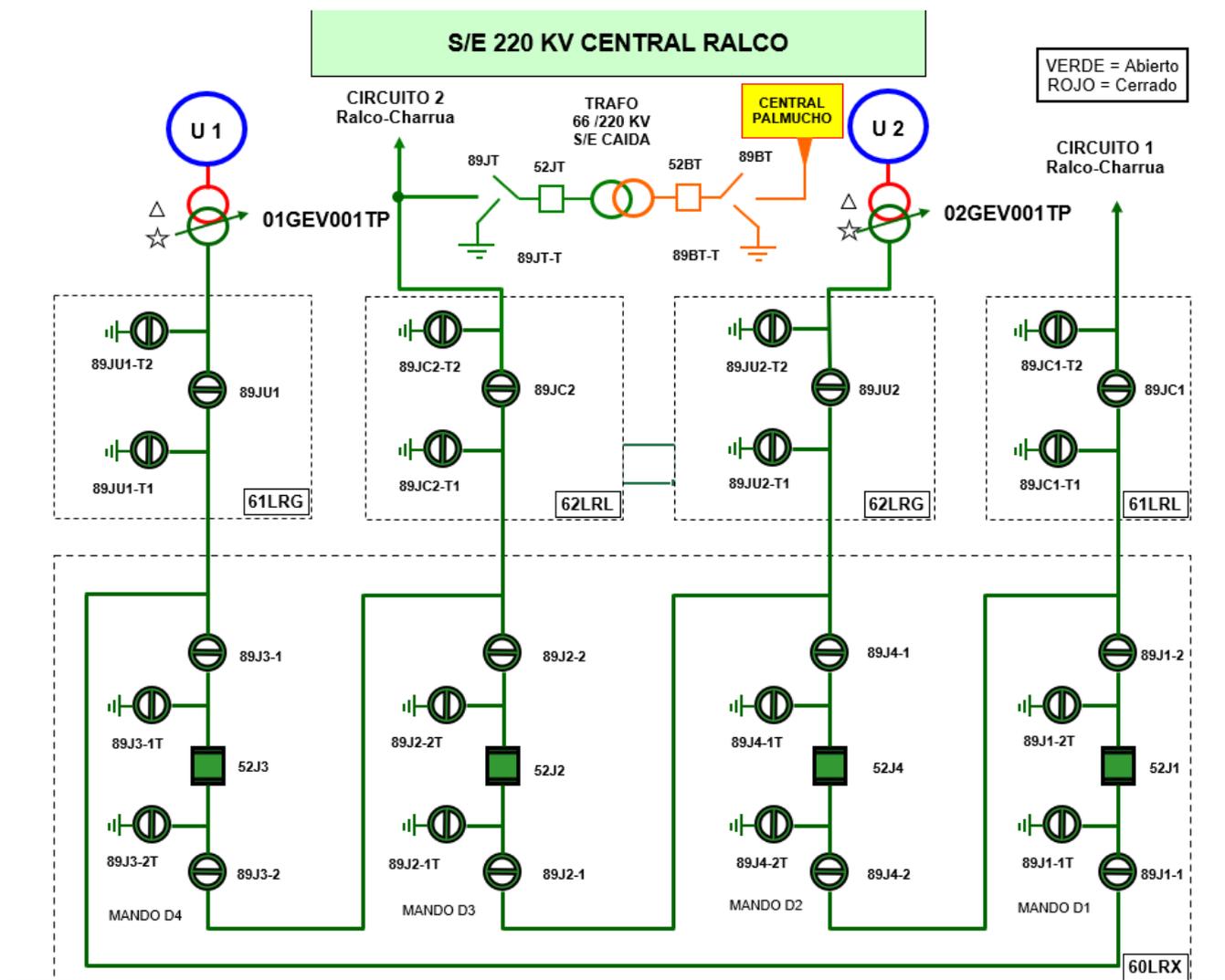


Figura 4-2 – Diagrama unilineal de la central

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



En la Figura 4-3 se presenta un diagrama esquemático general de la distribución de los SSAA de planta:

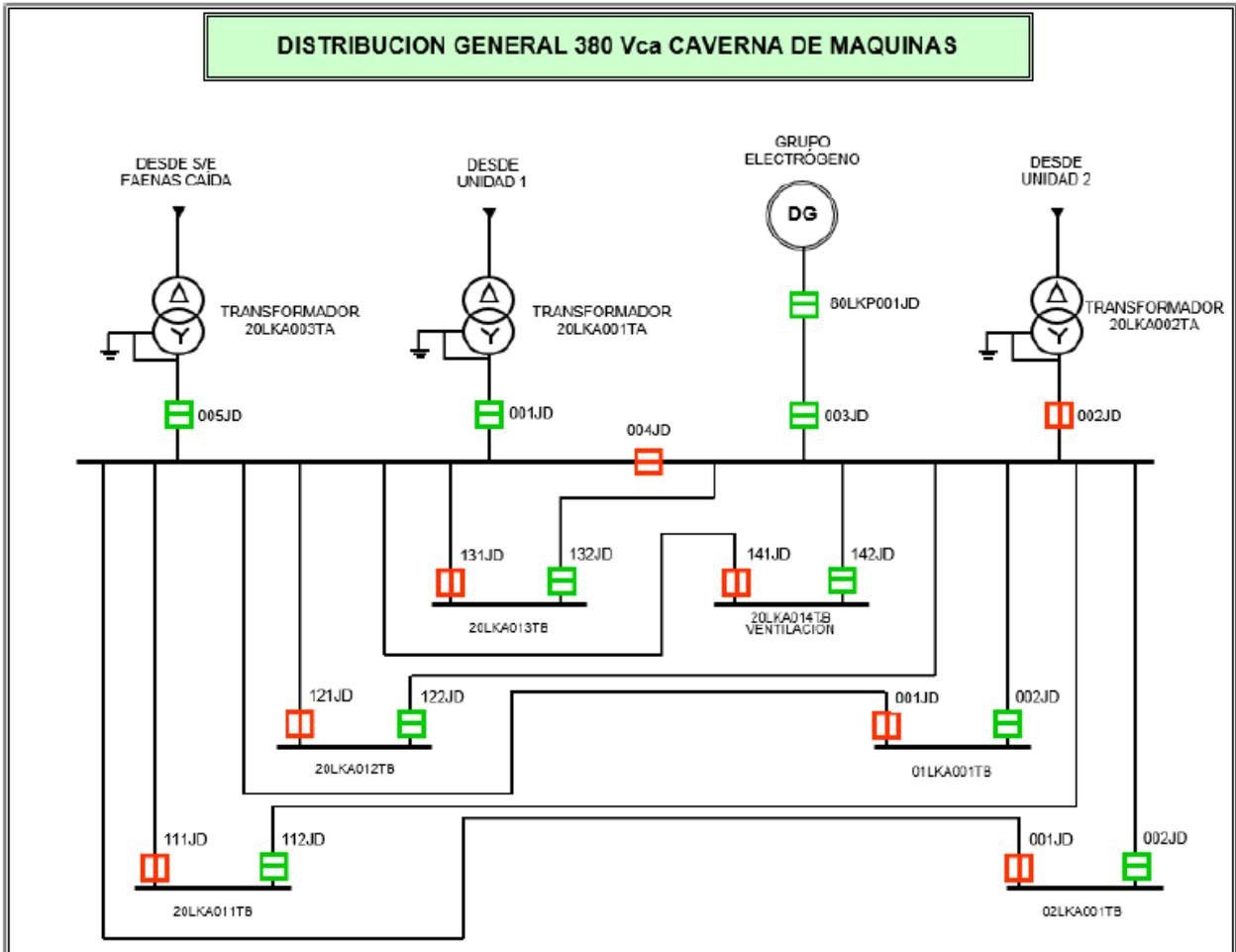


Figura 4-3 - Diagrama unilineal de los servicios auxiliares



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



Figura 4-4 – Datos de placa del generador U1



Figura 4-5 – Datos de placa del generador U2



4.3 Condiciones de referencia y curvas de corrección

A partir 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 Ralco:

Unidad	Potencia Máxima [MW]
CH Ralco – U1	345.0
CH Ralco – U2	345.0

Tabla 4-1 – Valores base de potencia para las unidades

De acuerdo con los parámetros declarados, la potencia máxima bruta esperable de la Central Ralco es de 690 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
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.

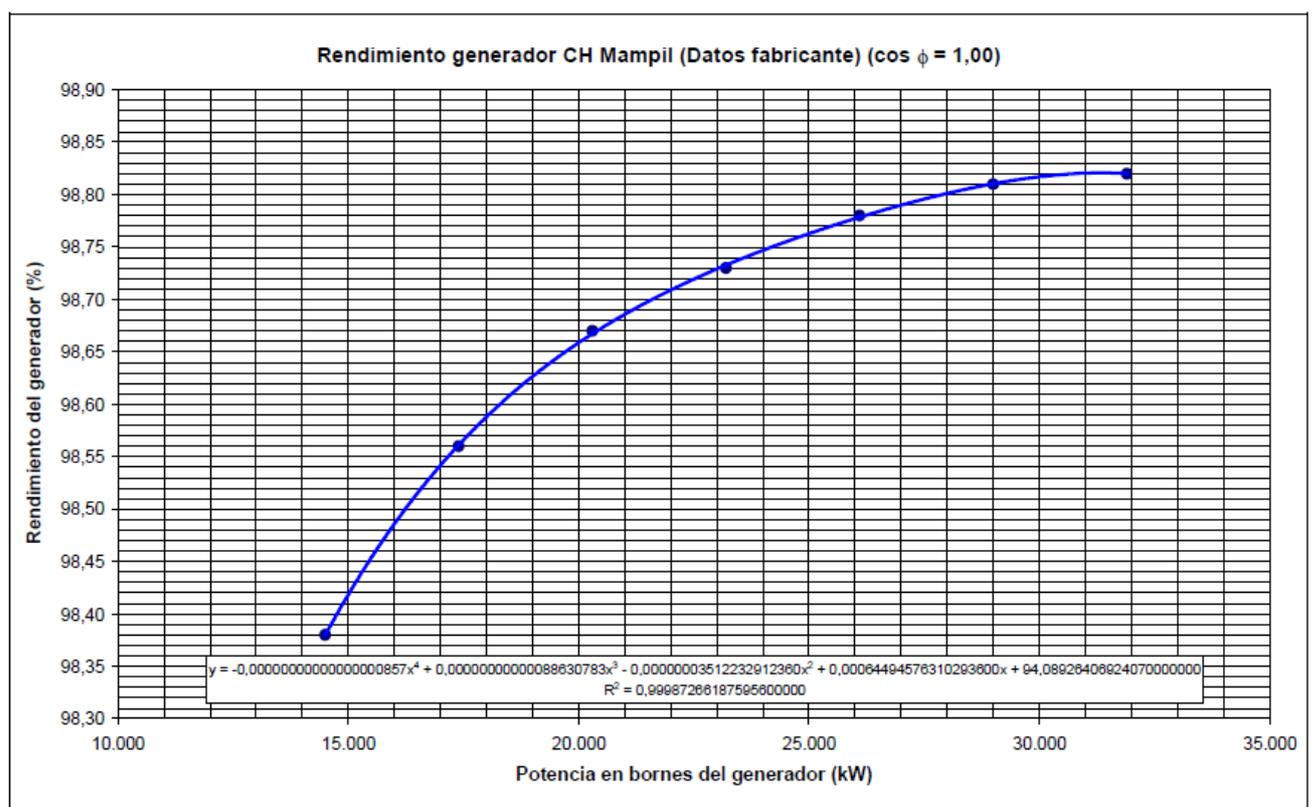


Figura 4-6 – Curva de corrección por factor de potencia

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 4-7 se presenta un diagrama unilineal de planta donde se distinguen los elementos disponibles en este caso.

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

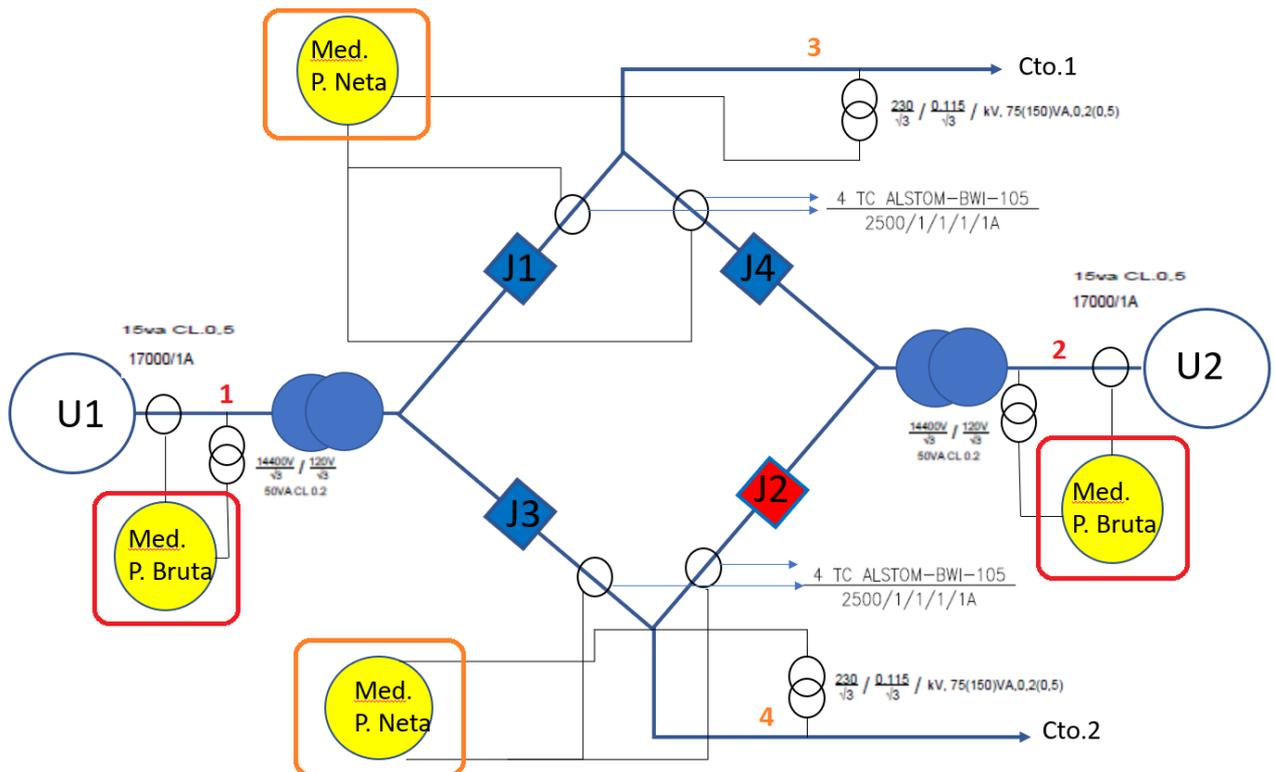


Figura 4-7 – Unilineal de planta esquemático



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 se midió a partir de medidores ubicados en la SE Ralco. La potencia de las pérdidas en los distintos transformadores y de los consumos propios se calculan indirectamente a partir de la diferencia obtenida entre la medición de potencia bruta y la medición de la potencia neta.

Para las mediciones de potencia bruta de cada unidad, se ha utilizado los transformadores de instrumentación (PTs, CTs) que son clase 0.2 y 0.5 respectivamente (puntos “1” y “2” en la Figura 4-7). 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 17000/1A.

Para las mediciones de potencia neta de cada unidad, se ha utilizado los transformadores de instrumentación (PTs, CTs) que son clase 0.2 (puntos “3” y “4” en la Figura 4-7). Para la medición de voltaje se utilizaron transformadores de tensión cuyas relaciones de transformación son 230/0.115 kV. Para la medición de corriente se utilizaron transformadores de corriente cuyas relaciones de transformación son 2500/1A.

Para la medición de potencia neta (medidores en Circuito 1 y Circuito 2) y potencia bruta de cada unidad se ha utilizado los medidores ION 7650 que el Coordinado posee instalados en sus instalaciones. Los mismos son clase 0.2 y cumplen con las exigencias de precisión requeridas. Los antecedentes técnicos y certificados de calibración fueron entregados antes de las pruebas.

En la sección de anexo 9.4 se detallan los puntos desde donde se realizan las mediciones de cada variable, en tanto en la sección de anexo 9.5 se muestran los antecedentes técnicos y certificados de calibración asociados a los equipos de medición.



4.4.2 Instrumentación principal

Se instrumentó tal como se resume en la Tabla 4-3. 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 1	ION 7650 Serie: PJ-1407A627-04	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Anexo 9.5.1	Conectado PTs y CTs clase 0.2 y 0.5, respectivamente en punto 1 del unilineal la Figura 4-7. Borneras y puntos de conexión en Anexo 9.4.	Digital
2	Factor de potencia Unidad 1	ION 7650 Serie: PJ-1407A627-04	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Anexo 9.5.1	Conectado PTs y CTs clase 0.2 y 0.5, respectivamente en punto 1 del unilineal la Figura 4-7. Borneras y puntos de conexión en Anexo 9.4.	Digital
3	Potencia activa neta Circuito 1	ION 7650 Serie: PJ-1407A632-04	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Anexo 9.5.2	Conectado PTs y CTs clase 0.2 en punto 3 del unilineal la Figura 4-7. Borneras y puntos de conexión en Anexo 9.4.	Digital
4	Potencia activa bruta Unidad 2	ION 7650 Serie: PJ-1205A485-03	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Anexo 9.5.1	Conectado PTs y CTs clase 0.2 y 0.5, respectivamente en punto 2 del unilineal la Figura 4-7. Borneras y puntos de conexión en Anexo 9.4.	Digital
5	Factor de potencia Unidad 2	ION 7650 Serie: PJ-1205A485-03	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Anexo 9.5.1	Conectado PTs y CTs clase 0.2 y 0.5, respectivamente en punto 2 del unilineal la Figura 4-7. Borneras y puntos de conexión en Anexo 9.4.	Digital
6	Potencia activa neta Circuito 2	ION 7650 Serie: PJ-1407A631-04	A, 0.2, 1 min	Enel Generación Anexo 9.5.2	Conectado PTs y CTs clase 0.2 en punto 4 del unilineal la Figura 4-7. Borneras y puntos de conexión en Anexo 9.4.	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 9.5.

Los equipos medidores de potencia bruta y neta fueron instalados, configurados y operados por el Coordinado. Se solicitó la entrega de los registros digitales de las pruebas durante y luego de la ejecución da 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	RAL_TH1_SRV_POTGRUPO		RAL_TH2_SRV_POTGRUPO	
Potencia Reactiva	RAL_TH1_GEMEPOT_RACT		RAL_TH2_GEMEPOT_RACT	
Velocidad	RAL_TH1_SRV_VELOCI_		RAL_TH2_SRV_VELOCI_	
Tensión	RAL_TH1_GEVOLTAJE_AB		RAL_TH2_GEVOLTAJE_AB	
Frecuencia	RAL_TH1_GE_FRECUENC_		RAL_TH2_GE_FRECUENC_	
Caudal	Descarga:RAL_CAV_DCG_NIV_DCGA			
Nivel del espejo de agua del embalse o cámara de carga	RAL_OH_PSNIV_EMBPRI			
Altura bruta (Medida de embalse y descarga)	Altura bruta sin Tag			
Temperatura del devanado del estator y cojinetes	Devanado Unidad 1	Cojinetes Unidad 1	Devanados Unidad 2	Cojinetes Unidad 2
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_1	Descanso Guía Superior	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_1	Descanso Guía Superior
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_2	RAL_TH1_GEDGSMEMPTE1	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_2	RAL_TH2_GEDGSMEMPTE1
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_3	RAL_TH1_GEDGSMEMPTE2	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_3	RAL_TH2_GEDGSMEMPTE2
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_4	RAL_TH1_GEDGSMEMPTE2	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_4	RAL_TH2_GEDGSMEMPTE3
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_5		RAL_TH2_GE_ESTEMEN_5	
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_6	Descanso de empuje	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_6	Descanso de empuje
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_7	RAL_TH1_GEDGEMEMPTE1	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_7	RAL_TH2_GEDGEMEMPTE1
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_8	RAL_TH1_GEDGEMEMPTE2	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_8	RAL_TH2_GEDGEMEMPTE2
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_9	RAL_TH1_GEDGEMEMPTE3	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_9	RAL_TH2_GEDGEMEMPTE3
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_10		RAL_TH2_GE_ESTEMEN_10	
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_11	Descanso Guía Inferior	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_11	Descanso Guía Inferior
	RAL_TH1_GE_ESTEMEN_12	RAL_TH1_GEDGEMEGATE1	RAL_TH2_GE_ESTEMEN_12	RAL_TH2_GEDGEMEGATE1
		RAL_TH1_GEDGEMEGATE2		RAL_TH2_GEDGEMEGATE2
		RAL_TH1_GEDGEMEGATE3		RAL_TH2_GEDGEMEGATE3
		Descanso Turbina		Descanso Turbina
		RAL_TH1_TUDGTTEMET1		RAL_TH2_TUDGTTEMET1
		RAL_TH1_TUDGTTEMET2		RAL_TH2_TUDGTTEMET2

Tabla 4-4 – Variables SCADA Central Ralco

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>209.5 kW</i>
<i>Pérdidas en transformador principal</i>	<i>1155 kW</i>
<i>Pérdidas en transformador de SSAA</i>	<i>37.6 kW</i>
<i>Pérdidas en transformador de excitación</i>	<i>24.1 kW</i>
<i>Pérdidas en la red interna³</i>	<i>676.8 kW</i>
Total	2312 kW

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 en ambas unidades menos los valores estimados de pérdidas en los transformadores (1155 kW, 37.6 kW y 24.1 kW) y consumos de SSAA (210 kW).



4.5.1 Consumos propios de servicios auxiliares

A partir de mediciones de potencia realizadas aguas abajo del interruptor (002JD) que vincula al transformador de SS.AA. de la Unidad 2 con la barra principal 50LKA001/002TB se logra obtener los valores de consumos de SS.AA. de cada unidad. En este caso, las mediciones se realizaron durante los ensayos de la central completa con el interruptor de acople de barras (004JD) cerrado. Estos consumos son a modo referencial ya que el medidor utilizado no se encuentra certificado.

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°												
Hora			20:50	21:20	21:50	22:20	22:50	23:20	23:50	0:20	0:50	1:20
Consumos SS.AA.												
P _{SS.AA.}	Potencia de SS.AA. medida en 022JD - Central Completa	[kW]	365,50	398,00	361,00	363,30	395,50	360,50	477,20	478,90	510,30	475,60
P _{SS.AA., PROM}	Potencia de SS.AA.	[kW]	419									

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

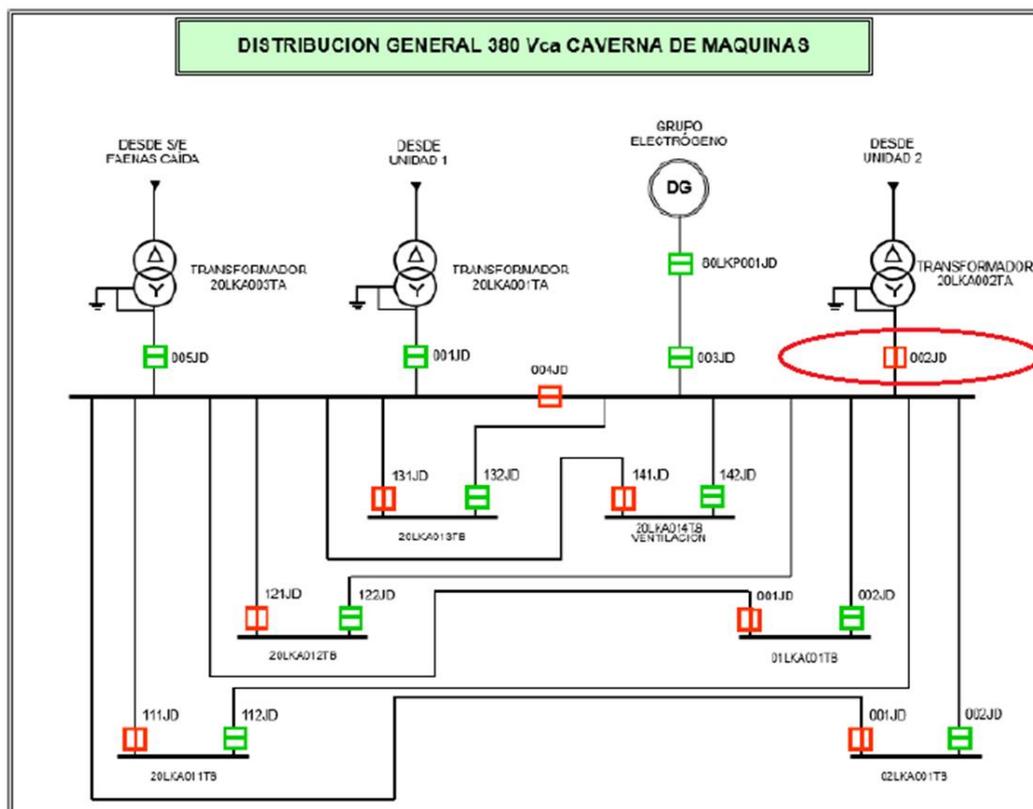


Figura 4-8 - Punto de medición de consumos de SS.AA. durante los ensayos



4.5.2 Pérdidas en el transformador principal

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

FOR TRANSFORMER

INSPECTION & TEST REPORT

Customer	:	COLBUN
Project Name	:	COLBUN-PUERTO CORONEL-CHILE
Applicable Standard	:	IEEE C57.12.00
Cooling Type	:	ONAN / ONAF
Phase	:	3
Frequency	:	50 Hz
Capacity (HV,LV)	:	460 / 490 MVA
Primary Voltage	:	230 kV
Tap Voltage	:	230 kV \pm 2 \times 2.5% steps (5 taps)
Secondary Voltage	:	18 kV
Vector Group	:	YNd1
Quantity	:	1 Set
Serial No.	:	20073772TND014
KKS No.	:	10BAT01

Tabla 4-7 - Valores teóricos de pérdidas en el transformador principal (CT Santa María)

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



Final Test Summary List

Serial No.
20073772TND014

Description	Unit	Guarantee Value	Tolerance	Measured Value/Result
1. Construction & dimension		Approved Spec. & dwg.		Satisfied
2. Winding resistance at 75°C				
a) HV winding (rated tap No. 3)				
- 1U - 1N	Ω	-	-	0.0914008
- 1V - 1N	Ω	-	-	0.0909512
- 1W - 1N	Ω	-	-	0.0905484
b) LV winding				
- 2U - 2V	Ω	-	-	0.00076065
- 2V - 2W	Ω	-	-	0.00076434
- 2W - 2U	Ω	-	-	0.00077349
3. Turns ratio (HV - LV winding)	%	± 0.5	-	-0.006 ~ 0.399
4. Polarity & phase relationship	-	YNd1	-	YNd1
5. Insulation resistance at 1.0min. (Before / After dielectric test)				
a) HV winding to earth	MΩ	> 800	-	4200/3640
b) LV winding to earth	MΩ	> 800	-	4240/4280
c) HV winding to LV winding	MΩ	> 800	-	3490/4000
d) Core to clamp (2000V Megger)	MΩ	> 200	-	698/1050
6. Insulation power factor at 20°C (with oil / without oil)				
a) HV - earth (CH)	%	0.5	-	0.197/0.234
b) LV - earth (CL)	%	0.5	-	0.342/0.353
c) HV - LV (CHL)	%	0.5	-	0.157/0.139
7. No-load losses				
a) 90% rated voltage	kW	151.0	+ 15%	148.085
b) 100% rated voltage	kW	207.0	+ 15%	195.845
c) 110% rated voltage	kW	298.0	+ 15%	275.681
8. Exciting current				
a) 90% rated voltage (HV/LV)	A	1/14	+ 30%	0.45/5.86
b) 100% rated voltage (HV/LV)	A	2/18	+ 30%	0.61/7.94
c) 110% rated voltage (HV/LV)	A	9/113	+ 30%	1.40/18.26
9. Sound pressure level				
a) Without fans (ONAN rating 460MVA base)	dB	77.0	-	69.1
b) With fans (ONAF rating 490MVA base)	dB	78.0	-	70.8
Date of Test : 2009. 02. 14		Tested by : G. T. Kim		

Tabla 4-8 - Valores teóricos de pérdidas en el transformador principal (CT Santa María)


Final Test Summary List

 Serial No.
 20073772TND014

Description	Unit	Guarantee Value	Tolerance	Measured Value/Result
10. % Impedance at 75°C ONAF rating 490MVA base				
a) at Max. tap position (Tap No. 1)	%	14.8	± 7.5%	15.141
b) at Rated tap position (Tap No. 3)	%	15.0	± 7.5%	15.140
c) at Min. tap position (Tap No. 5)	%	15.3	± 7.5%	15.305
11. Zero sequence impedance on ONAF rating 490MVA base				
a) at Max. tap position (Tap No. 1)	%	-	-	15.060
b) at Rated tap position (Tap No. 3)	%	14.998	Approx.	15.050
c) at Min. tap position (Tap No. 5)	%	-	-	15.191
12. Load losses at 75°C, at ONAN rating 460MVA base				
a) at Max. tap position (Tap No. 1)	kW	838.0	+ 15%	828.751
b) at Rated tap position (Tap No. 3)	kW	864.0	+ 15%	843.463
c) at Min. tap position (Tap No. 5)	kW	890.0	+ 15%	886.657
13. Load losses at 75°C, at ONAF rating 490MVA base				
a) at Max. tap position (Tap No. 1)	kW	950.0	+ 15%	940.373
b) at Rated tap position (Tap No. 3)	kW	980.0	+ 15%	957.067
c) at Min. tap position (Tap No. 5)	kW	1010.0	+ 15%	1006.080
14. Total losses at ONAN rating 460MVA base + No-load losses, including cooling aux. loss				
a) at Max. tap position (Tap No. 1)	kW	1045.0	+ 15%	1026.703
b) at Rated tap position (Tap No. 3)	kW	1071.0	+ 15%	1041.415
c) at Min. tap position (Tap No. 5)	kW	1097.0	+ 15%	1084.609
15. Total losses at ONAF rating 490MVA base + No-load losses, including cooling aux. loss				
a) at Max. tap position (Tap No. 1)	kW	1161.0	+ 15%	1138.325
b) at Rated tap position (Tap No. 3)	kW	1191.0	+ 15%	1155.019
c) at Min. tap position (Tap No. 5)	kW	1221.0	+ 15%	1204.032
16. Auxillary loss				
a) at ONAF (10) fans, including heater	kW	4.2	+ 10%	2.107
17. X/R ratio at ONAF rating 490MVA base				
	-	74.993	Approx.	77.636
18. Voltage regulation at ONAF rating 490MVA base rated tap position (Tap No. 3)				
a) 100% load, Power Factor 1.0	%	-	-	1.341
b) 100% load, Power Factor 0.9	%	-	-	7.691
c) 100% load, Power Factor 0.8	%	-	-	9.959
d) 100% load, Power Factor 0.7	%	-	-	11.495
Date of Test : 2009. 02. 14		Tested by : G. T. Kim		

Tabla 4-9 - Valores teóricos de pérdidas en el transformador principal (CT Santa María)



4.5.3 Pérdidas en los transformadores auxiliares y de excitación

Al igual que para la estimación de las pérdidas en el transformador principal, tampoco se tienen datos propios para estimar las pérdidas en los transformadores de SS.AA. y de excitación, por lo cual se tuvo que recurrir a las hojas de datos de equipos de similares características⁵.

COMTRAFO TRANSFORMADORES		RELATÓRIO DOS ENSAIOS DE TRANSFORMADOR		R.Q.: AS-82401.02 Rev.08	
ENSAIO DE ROTINA DO TRANSFORMADOR COM AS CARACTERÍSTICAS ABAIXO:					
CLIENTE :	ENRGIA MODULAR SPA	FREQUÊNCIA [Hz]:	50	CORRENTE A.T. [A]:	100,23
NÚMERO :	340970101	TENSÕES A.T. [kV]:	15,12 a 13,68	CORRENTE B.T. [A]:	3608,44
POTÊNCIA [kVA]:	2500,0	TENSÕES B.T. [V]:	400/231	DATA FABRICAÇÃO:	06/03/2019
FASES :	3	DERIVAÇÕES :	5	ESTADO :	NOVO
LIGAÇÃO:	Triângulo/Estrela Dyn11	A.T. LIGADA EM [kV]:	14,40	MASSA [Kg]:	7100
TIPO :	CORRUGADO	B.T. LIGADA EM [V]:	400	FABRICANTE :	COMTRAFO
MODELO :	OLEO				
ENSAIO DE RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS			DESLOCAMENTO ANGULAR		
H1H2: 0,87 [OHMS]	X1X2: 0,60 [mOHMS]	-30 Graus			
H1H3: 0,87 [OHMS]	X1X3: 0,59 [mOHMS]				
H2H3: 0,87 [OHMS]	X2X3: 0,57 [mOHMS]				
Enrol. TS: Alumínio	Enrol. TI: Alumínio				
TEMPERATURA AMBIENTE [°C]:	32,0				
RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO		TENSÃO APLICADA		TENSÃO INDUZIDA	
LEITURA AT/BT [MOHMS]:	15000	AT/BT À MASSA [kV]:	38,00	TENSÃO INDUZIDA [V]:	800
LEITURA AT/MASSA [MOHMS]:	25000	BT/AT À MASSA [kV]:	3,00	FREQUÊNCIA [Hz]:	120
LEITURA BT/MASSA [MOHMS]:	10000	FREQUÊNCIA [Hz]:	50	TEMPO DO ENSAIO [S]:	60
TENSÃO DO MEGÔMETRO [V]:	2500	TEMPO DO ENSAIO [S]:	60	MÉTODO DO ENSAIO :	NORMAL
ENSAIO DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO					
TAP [V]:	15120	14760	14400	14040	13680
FASE 1 :	65,54	63,95	62,45	60,84	59,25
FASE 2 :	65,54	63,93	62,43	60,84	59,23
FASE 3 :	65,62	64,01	62,51	60,91	59,32
ERRO[%]:	0,23	0,16	0,26	0,20	0,14
ENSAIO EM VAZIO			ENSAIO EM CURTO CIRCUITO		
TENSÃO DO ENSAIO [V]:	400	CORRENTE DE CURTO CIRCUITO [A]:	100,23	TENSÃO DE CURTO CIRCUITO [V]:	914,19
CORRENTE DE EXCITAÇÃO [A]:	11,64	POTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO [W]:	30792	TEMPERATURA AMBIENTE [°C]:	32,0
CORRENTE DE EXCITAÇÃO [%]:	0,32				
PERDAS EM VAZIO [W]:	3561				
VALORES CORRIGIDOS A 75 [°C]			ENSAIO DE PINTURA (*)		
PERDAS NOS ENROLAMENTOS [W]:	34027	Espessura da Camada: (NBR 10443)			
PERDAS TOTAIS [W]:	37588				
RENDIMENTO A PLENA CARGA [%]:	98,5				
IMPEDÂNCIA DE CURTO CIRCUITO [%]:	6,37				
ENSAIOS DO ÓLEO ISOLANTE					
TIPO DO ÓLEO :	OLEO TIPO A	Vol.: 2150 [Litros]			
RIGIDEZ DIELÉTRICA (*):	80,00	[kV] (IEC 60156)			
TENSÃO INTERFACIAL:	47,00	[mN/m] (NBR 6234)			
TEOR DE ÁGUA :	7,00	[ppm] (NBR 10710)			
DENSIDADE :	0,878	[ppm] (NBR 7148)			
ÍND. NEUTRALIZAÇÃO:	<0,01	[mgKOH/g] (NBR 14248)			
F.P. A 100 [°C]:	0,20	[%] (NBR 12133)			
COR :		Teor de PCB: não Detectável			
ESTANQUEIDADE E RESISTÊNCIA À PRESSÃO					
PRESSÃO [Kg/cm2]:	0,1	TEMPO [Horas]:	1		
OBSERVAÇÕES					
PED: 034097/01 NBI 95KV					
Número Cia: IM-0-2581/00					
O transformador referido acima está "APROVADO" pela Garantia da Qualidade. Normas: IEC-60076					
06/03/2019			RAFAEL HONORIO DOS SANTOS		
DATA	EXECUTANTE		RESPONSÁVEL PELO ENSAIO		

Av. Agostinho Ducl, 280 - Pq. Industrial | CEP: 86300-000 - CORNELIO PROCÓPIO - PR Fone:(43) 3520-3891 Fax:(43) 3520-3800
www.comtrafo.com.br

Tabla 4-10 - Valores teóricos de pérdidas del transformador de SS.AA. (S/E Aguas Claras)

⁵ Fuente: <https://infotecnica.coordinador.cl/>



CERTIFICADO DE PRUEBAS



N° CERTIFICADO	: 0000056880	N°SERIE	: 62140	CLIENTE	: EMPRESA DE MONTAJES ELECTRICOS EMELTA S.A.
O.C.N°	: 33314 - 35197 - 35	N° OT	: OT000963-17	FECHA DE EMISIÓN	: 05/10/2017
FABRICANTE	: RHONA S.A	N° TAG	: SIN TAG	TIPO	: SUBESTACION
PRODUCTO	: TRANSFORMADOR 3f 2250 kVA 13.8/0.44 kV				

POTENCIA [kVA]	: 2250	REFRIGERACIÓN	: OA	ELEVACIÓN DE T*	: 65 [°C]
TENSIÓN AT [V]	: 13800	DERIVACIONES	: 14490 - 14145 - 13800 - 13455 - 13110	TENSIÓN BT [V]	: 440
POLARIDAD	: Dyn1	FLUIDO AISLANTE	: Aceite Vegetal	FRECUENCIA	: 50 [Hz]
ALT DE OPERACIÓN	: 1000 [msnm]	FASES	: 3	PESO TOTAL	: 6020 [kg]

PÉRDIDAS EN VACÍO Y CORRIENTE DE EXCITACIÓN

FRECUENCIA [Hz]	ALIMENTACIÓN		I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	CORRIENTE EXCITACIÓN		PÉRDIDAS EN VACÍO [W]
	TERMINAL	[V]				[A]	%	
50	BT	440	15.7	12.8	14.9	14.5	0.49	2519

PÉRDIDAS EN CARGA E IMPEDANCIA

FRECUENCIA [Hz]	ALIMENTACIÓN DERIVACIÓN [V]	I NOMINAL [A]	TEMP° ENSAYO [°C] : 17		A T* [°C] : 75		PÉRDIDAS TOTALES [W]
			Vcc [%]	Wcc [W]	Z[%]	PÉRDIDAS EN CARGA[W]	
50	13800	94.13	6.28	19485	6.29	21615	24134

PÉRDIDAS TOTALES

RESISTENCIA DE BOBINA AT EN OHM X 10E -3

DERIVACIÓN N°	TENSIÓN[V]	RESISTENCIA EN AT: 17[°C]			PROM. A: 75 [°C]
		H1 - H2	H2 - H3	H3 - H1	
1	14490	497.60	499.10	494.70	611.78
2	14145	485.50	487.00	482.60	596.89
3	13800	473.30	474.90	470.30	581.88
4	13455	461.00	462.40	458.20	566.74
5	13110	448.40	449.80	445.80	551.32

RAZÓN DE TRANSFORMACIÓN Y POLARIDAD

H1-H2 X1-X2	H2-H3 X2-X3	H3-H1 X3-X1	I NOMINAL [A]	
			AT	BT
32.976	32.975	32.978	89.7	
32.190	32.192	32.186	91.8	
31.403	31.403	31.399	94.1	
30.615	30.617	30.614	96.5	
29.827	29.826	29.829	99.1	2952.4

RESISTENCIA DE BOBINA BT EN OHM X 10E -3

Medido a: 17 [°C]	X1-X2	X2-X3	X3-X1	PROM. A: 75 [°C]
	0.56680	0.54990	0.56610	0.69500

RESISTENCIA DE AISLACIÓN

REALIZADA CON MEGOHMETRO 2.5 [kV]	TEMP: 17[°C] HUM: 51%		
	AT-BT [MΩ]	AT-MASA [MΩ]	BT-MASA [MΩ]
	> 50000	8500	4510

ENSAYOS DIELECTRICOS

VOLTAJE APLICADO	kV	Seg.	Hz
AT	34	60	50
BT	10	60	50
VOLTAJE INDUCIDO	V	Seg.	Hz
EN LADO : BT	880	36	200

LÍQUIDO AISLANTE

TIPO :	Envirotemp FR3
RIGIDEZ :	> 10 ASTM 877
VOLUMEN:	1470 [L]

- El líquido aislante no contiene Bifenilos Policlorados (PCB)

PRUEBA DE SOBREPRESIÓN :	OK
--------------------------	----

OBSERVACIONES



N° VALIDACIÓN : 50E10A0CD998EB60842581AE004AC785

WWW.RHONA.CL

Tabla 4-11 - Valores teóricos de pérdidas del transformador de excitación (S/E Arica)



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 la banda muerta (a $\pm 100\text{mHz}$ o más) o se ajustó el estatismo lo más alto posible.
 - e. Se consignó un valor de potencia reactiva 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 0.98.



- 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 la prueba individual de la Unidad 1, la misma se encontraba en servicio. El operador incrementó paulatinamente hasta alcanzar el valor correspondiente a potencia máxima.

En el caso de la Unidad 2, la misma se encontraba detenida antes del inicio de la prueba individual. El operador dio orden de partida, sincronizó la misma e incrementó carga 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.

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	09/11/2021 -
Inicio del período de estabilización	20:30 Hs
Fin del período de estabilización	21:15 Hs
Inicio del período de prueba	21:15 Hs
Fin del período de prueba	02:15 Hs (10/11/2021)

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	10/11/2021 19:04 Hs
Inicio del período de estabilización	19:45 Hs
Fin del período de estabilización	20:45 Hs
Inicio del período de prueba	20:45 Hs
Fin del período de prueba	01:45 Hs (11/11/2021)

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

La Tabla 5-3 resume los períodos resultantes del desarrollo de las pruebas para la central completa.

Arranque de la unidad	02/03/2022 -
Inicio del período de estabilización	20:25 Hs
Fin del período de estabilización	20:50 Hs
Inicio del período de prueba	20:50 Hs
Fin del período de prueba	01:50 Hs (03/03/2022)

Tabla 5-3 – Etapas de la prueba para la Central completa



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 5-4 – Máximas variaciones permisibles en las condiciones de operación

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

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	Hora		21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	1:45
Verificación de condiciones de estabilidad												
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	1,50%	0,15%	0,24%	0,17%	0,20%	0,14%	0,22%	0,15%	0,17%	0,13%	0,11%
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1,50%	0,12%	0,21%	0,16%	0,20%	0,17%	0,15%	0,20%	0,19%	0,12%	0,17%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna	1,00%	0,00%	0,00%	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%	0,08%	0,05%	0,07%	0,18%	0,04%	0,05%	0,06%	0,03%	0,05%	0,04%
Frec	Velocidad de Rotación	0,50%	0,06%	0,11%	0,05%	0,05%	0,00%	0,05%	0,09%	0,04%	0,04%	0,03%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?		SI									

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

La

Tabla 5-6 muestra el resumen de las verificaciones de estabilidad realizadas para la Unidad 2.

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	Hora		20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15
Verificación de condiciones de estabilidad												
P _{neta}	Potencia Neta medido en Alta	1,50%	0,15%	0,20%	0,43%	0,11%	0,19%	0,06%	0,19%	0,18%	0,19%	0,21%
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	1,50%	0,07%	0,23%	0,43%	0,08%	0,22%	0,14%	0,19%	0,19%	0,22%	0,24%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna	1,00%	0,00%	0,00%	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%	0,04%	0,07%	0,03%	0,17%	0,04%	0,02%	0,04%	0,04%	0,11%
Frec	Velocidad de Rotación	0,50%	0,05%	0,14%	0,05%	0,07%	0,00%	0,00%	0,09%	0,09%	0,07%	0,04%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?		SI									

Tabla 5-6 – Verificación de estabilidad para la Unidad 2



La Tabla 5-7 muestra el resumen de las verificaciones de estabilidad realizadas para la Central completa.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:50	21:20	21:50	22:20	22:50	23:20	23:50	0:20	0:50	1:20	
Verificación de condiciones de estabilidad												
FP1	Factor de potencia en bornes de máquina - Unidad 1	2,00%	0,18%	0,20%	0,08%	0,26%	0,23%	0,19%	0,24%	0,22%	0,14%	0,27%
P _{BRUTA1}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina - Unidad 1	1,50%	0,15%	0,13%	0,16%	0,22%	0,21%	0,15%	0,19%	0,22%	0,15%	0,19%
P _{Neta1}	Potencia Neta medido en Alta - Unidad 1	1,50%	0,18%	0,14%	0,09%	0,12%	0,18%	0,14%	0,12%	0,12%	0,16%	0,16%
FP2	Factor de potencia en bornes de máquina - Unidad 2	2,00%	0,11%	0,17%	0,15%	0,23%	0,14%	0,22%	0,24%	0,14%	0,12%	0,16%
P _{BRUTA2}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina - Unidad 2	1,50%	0,32%	0,34%	0,26%	0,28%	0,20%	0,33%	0,28%	0,20%	0,29%	0,34%
P _{Neta2}	Potencia Neta medido en Alta - Unidad 2	1,50%	0,19%	0,20%	0,22%	0,12%	0,15%	0,16%	0,13%	0,13%	0,16%	0,16%
Nivel	Altura bruta del nivel de laguna	1,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Frec	Velocidad de Rotación	0,50%	0,09%	0,05%	0,05%	0,11%	0,06%	0,06%	0,10%	0,05%	0,04%	0,03%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?		SI									

Tabla 5-7 – Verificación de estabilidad para la Central completa

Tanto para las pruebas de la Unidad 1 y de la Unidad 2 como para la central completa, 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 9.6.



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 (SSAA)

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			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	ref		21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	1:45
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0,975	0,976	0,978	0,981	0,982	0,982	0,983	0,984	0,982	0,982
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	387,39	390,63	390,73	390,71	390,55	389,95	389,71	389,36	389,50	389,33
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	385,59	387,56	387,72	387,55	387,58	387,67	387,76	387,64	387,60	387,41
Determinación pérdidas totales												
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,80	3,08	3,01	3,16	2,98	2,27	1,94	1,72	1,90	1,93

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			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	ref		20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0,979	0,980	0,981	0,982	0,981	0,979	0,980	0,977	0,977	0,978
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	391,80	391,39	390,37	391,79	391,11	390,97	391,25	391,31	391,13	390,75
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	388,98	388,55	387,44	388,91	388,41	388,44	388,44	388,42	388,32	388,00
Determinación pérdidas totales												
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	2,81	2,84	2,93	2,88	2,70	2,54	2,81	2,89	2,81	2,75

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



La Tabla 6-3 detalla los cálculos realizados para la Central completa.

Períodos			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	ref											
Hora			20:50	21:20	21:50	22:20	22:50	23:20	23:50	0:20	0:50	1:20
VARIABLES PRIMARIAS												
FP1	Factor de potencia en bornes de máquina - Unidad 1	-	0,989	0,989	0,980	0,980	0,982	0,981	0,980	0,983	0,984	0,984
P _{BRUTA1}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina - Unidad 1	[MW]	326,23	326,47	325,97	326,07	326,06	325,75	325,76	326,51	326,81	326,53
P _{Neta1}	Potencia Neta medido en Alta - Unidad 1	[MW]	348,35	348,37	348,21	347,95	347,57	347,49	347,57	347,73	346,87	346,24
FP2	Factor de potencia en bornes de máquina - Unidad 2	-	0,993	0,993	0,986	0,987	0,987	0,987	0,985	0,987	0,986	0,985
P _{BRUTA2}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina - Unidad 2	[MW]	330,86	330,49	330,56	330,89	330,85	330,12	330,21	329,92	330,08	330,12
P _{Neta2}	Potencia Neta medido en Alta - Unidad 2	[MW]	304,19	304,35	304,19	304,23	304,62	304,31	304,39	304,20	304,34	304,84
Determinación pérdidas totales												
P _{Bruta, No Corr}	Potencia Bruta medida - Total	[MW]	657,09	656,96	656,53	656,96	656,91	655,86	655,98	656,44	656,88	656,65
P _{Neta, No Corr}	Potencia Neta medida - Total	[MW]	652,54	652,72	652,41	652,19	652,19	651,80	651,97	651,93	651,21	651,07
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos (SSAA)	[MW]	4,55	4,25	4,13	4,77	4,71	4,06	4,01	4,51	5,68	5,58

Tabla 6-3 - Cálculos de potencia de pérdidas para la Central completa



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 6-4 detalla las correcciones realizadas para la Unidad 1.

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°			21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	1:45
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0,975	0,976	0,978	0,981	0,982	0,982	0,983	0,984	0,982	0,982
P_{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	387,39	390,63	390,73	390,71	390,55	389,95	389,71	389,36	389,50	389,33
P_{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	385,59	387,56	387,72	387,55	387,58	387,67	387,76	387,64	387,60	387,41
Correcciones a la Potencia bruta												
L_{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	199,73	214,75	224,04	251,78	260,98	261,68	266,60	271,59	259,29	262,72
$P_{Bruta, Corr}$	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	387,19	390,42	390,50	390,46	390,29	389,68	389,44	389,09	389,24	389,07

Tabla 6-4 – Correcciones a la Potencia Bruta para la Unidad 1



La Tabla 6-5 detalla las correcciones realizadas para la Unidad 2.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	
Variables Primarias												
FP	Factor de potencia en bornes de máquina	-	0,979	0,980	0,981	0,982	0,981	0,979	0,980	0,977	0,977	0,978
P _{BRUTA}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina	[MW]	391,80	391,39	390,37	391,79	391,11	390,97	391,25	391,31	391,13	390,75
P _{Neta}	Potencia Neta medido en Alta	[MW]	388,98	388,55	387,44	388,91	388,41	388,44	388,44	388,42	388,32	388,00
Correcciones a la Potencia bruta												
L _{FP}	Diferencia en pérdidas por FP	[kW]	240,11	240,20	252,11	262,95	253,86	235,44	243,47	220,42	217,39	229,12
P_{Bruta, Corr}	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	391,56	391,15	390,12	391,53	390,86	390,74	391,01	391,09	390,91	390,52

Tabla 6-5 – Correcciones a la Potencia Bruta para la Unidad 2

La Tabla 6-6 detalla las correcciones realizadas para la central completa.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:50	21:20	21:50	22:20	22:50	23:20	23:50	0:20	0:50	1:20	
Variables Primarias												
FP1	Factor de potencia en bornes de máquina - Unidad 1	-	0,989	0,989	0,980	0,980	0,982	0,981	0,980	0,983	0,984	0,984
P _{BRUTA1}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina - Unidad 1	[MW]	326,23	326,47	325,97	326,07	326,06	325,75	325,76	326,51	326,81	326,53
P _{Neta1}	Potencia Neta medido en Alta - Unidad 1	[MW]	348,35	348,37	348,21	347,95	347,57	347,49	347,57	347,73	346,87	346,24
FP2	Factor de potencia en bornes de máquina - Unidad 2	-	0,993	0,993	0,986	0,987	0,987	0,987	0,985	0,987	0,986	0,985
P _{BRUTA2}	Potencia Bruta medida en bornes de máquina - Unidad 2	[MW]	330,86	330,49	330,56	330,89	330,85	330,12	330,21	329,92	330,08	330,12
P _{Neta2}	Potencia Neta medido en Alta - Unidad 2	[MW]	304,19	304,35	304,19	304,23	304,62	304,31	304,39	304,20	304,34	304,84
Correcciones a la Potencia bruta												
L _{FP, U1}	Diferencia en pérdidas por FP - Unidad 1	[kW]	281,48	278,59	212,85	214,85	224,90	218,39	216,41	236,58	246,25	239,66
L _{FP, U2}	Diferencia en pérdidas por FP - Unidad 2	[kW]	309,16	309,39	260,19	265,50	267,55	269,84	256,34	264,96	260,07	255,06
P_{Bruta, Corr, U1}	Potencia Bruta corregida por los factores permitidos en el Anexo Técnico	[MW]	325,95	326,19	325,76	325,85	325,83	325,53	325,55	326,28	326,56	326,29
P_{Bruta, Corr, U2}		[MW]	330,55	330,18	330,30	330,62	330,58	329,85	329,96	329,66	329,82	329,86

Tabla 6-6 – Correcciones a la Potencia Bruta para la central completa



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

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	1:45	
Determinación pérdidas totales												
$L_{TOTALES}$	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,80	3,08	3,01	3,16	2,98	2,27	1,94	1,72	1,90	1,93
Cálculo promedio final												
$P_{Bruta, Corr}$	Valores utilizados para	[MW]	387,19	390,42	390,50	390,46	390,29	389,68	389,44	389,09	389,24	389,07
$P_{Neta, Corr}$	cálculo de promedio final	[MW]	385,39	387,34	387,49	387,29	387,32	387,41	387,50	387,37	387,34	387,14

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		21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	1:45	
Determinación pérdidas totales												
$L_{TOTALES}$	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	1,80	3,08	3,01	3,16	2,98	2,27	1,94	1,72	1,90	1,93
Cálculo promedio final												
$P_{Bruta, Corr}$	Valores utilizados para	[MW]	387,19	390,42	390,50	390,46	390,29	389,68	389,44	389,09	389,24	389,07
$P_{Neta, Corr}$	cálculo de promedio final	[MW]	385,39	387,34	387,49	387,29	387,32	387,41	387,50	387,37	387,34	387,14

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		20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	
Determinación pérdidas totales												
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos	[MW]	2,81	2,84	2,93	2,88	2,70	2,54	2,81	2,89	2,81	2,75
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para	[MW]	391,56	391,15	390,12	391,53	390,86	390,74	391,01	391,09	390,91	390,52
P _{Neta, Corr}	cálculo de promedio final	[MW]	388,74	388,31	387,19	388,65	388,15	388,20	388,20	388,20	388,11	387,77

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

La Tabla 6-9 detalla los cálculos realizados para la Central completa.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:50	21:20	21:50	22:20	22:50	23:20	23:50	0:20	0:50	1:20	
Determinación pérdidas totales												
P _{Bruta, No Corr}	Potencia Bruta medida - Total	[MW]	657,09	656,96	656,53	656,96	656,91	655,86	655,98	656,44	656,88	656,65
P _{Neta, No Corr}	Potencia Neta medida - Total	[MW]	652,54	652,72	652,41	652,19	652,19	651,80	651,97	651,93	651,21	651,07
L _{TOTALES}	Pérdidas en el transformador de potencia y consumos internos (SSAA)	[MW]	4,55	4,25	4,13	4,77	4,71	4,06	4,01	4,51	5,68	5,58
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para	[MW]	656,50	656,38	656,06	656,48	656,41	655,38	655,50	655,93	656,38	656,15
P _{Neta, Corr}	cálculo de promedio final	[MW]	651,95	652,13	651,93	651,71	651,70	651,31	651,49	651,42	650,70	650,58

Tabla 6-9 – Cálculos de Potencia Neta corregida para la Central completa



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: **389,54 MW**
- Unidad 2: **390,95 MW**
- Central completa: **656,12 MW**

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

- Unidad 1: **387,16 MW**
- Unidad 2: **388,15 MW**
- Central completa: **651,49 MW**

La Tabla 6-10 detalla los valores utilizados para el cálculo del promedio de la Unidad 1.

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°												
Hora			21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	1:45
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para cálculo de promedio final	[MW]	387,19	390,42	390,50	390,46	390,29	389,68	389,44	389,09	389,24	389,07
P _{Neta, Corr}		[MW]	385,39	387,34	387,49	387,29	387,32	387,41	387,50	387,37	387,34	387,14
P_{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	389,54									
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	387,16									

Tabla 6-10 – Promedio Final para la Unidad 1

La Tabla 6-11 detalla los valores utilizados para el cálculo del promedio de la Unidad 2.

Períodos		ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°												
Hora			20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para cálculo de promedio final	[MW]	391,56	391,15	390,12	391,53	390,86	390,74	391,01	391,09	390,91	390,52
P _{Neta, Corr}		[MW]	388,74	388,31	387,19	388,65	388,15	388,20	388,20	388,20	388,11	387,77
P_{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	390,95									
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	388,15									

Tabla 6-11 – Promedio Final para la Unidad 2



La Tabla 6-12 Tabla 6-11 detalla los valores utilizados para el cálculo del promedio de la Central completa.

Períodos												
Test Run n°	ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hora		20:50	21:20	21:50	22:20	22:50	23:20	23:50	0:20	0:50	1:20	
Cálculo promedio final												
P _{Bruta, Corr}	Valores utilizados para cálculo de promedio final	[MW]	656,50	656,38	656,06	656,48	656,41	655,38	655,50	655,93	656,38	656,15
P _{Neta, Corr}		[MW]	651,95	652,13	651,93	651,71	651,70	651,31	651,49	651,42	650,70	650,58

P _{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta	[MW]	656,12
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta	[MW]	651,49

Tabla 6-12 - Promedio Final para la Central completa



6.6 Tabla Resumen general

Todos los cálculos presentados anteriormente se resumen a continuación.

Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15	1:45
ref										
Variables Primarias										
FP	0,975	0,976	0,978	0,981	0,982	0,982	0,983	0,984	0,982	0,982
P _{Bruta}	387,39	390,63	390,73	390,71	390,55	389,95	389,71	389,36	389,50	389,33
P _{Neto}	385,59	387,56	387,72	387,55	387,58	387,67	387,76	387,64	387,60	387,41
Variables Secundarias										
Nivel	723,640	723,638	723,630	723,630	723,630	723,620	723,615	723,610	723,604	723,600
Frec	50,09	50,03	50,02	50,03	50,00	49,99	50,01	50,04	50,04	50,09
Verificación de condiciones de estabilidad										
P _{Neto}	0,15%	0,24%	0,17%	0,20%	0,14%	0,22%	0,15%	0,17%	0,13%	0,11%
P _{Bruta}	0,12%	0,21%	0,16%	0,20%	0,17%	0,15%	0,20%	0,19%	0,12%	0,17%
Nivel	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FP	0,08%	0,05%	0,07%	0,18%	0,04%	0,05%	0,06%	0,03%	0,05%	0,04%
Frec	0,06%	0,11%	0,05%	0,05%	0,00%	0,05%	0,09%	0,04%	0,04%	0,03%
Estabilidad	SI									
¿Se cumplen los criterios para todas las variables?										
Determinación pérdidas totales										
L _{TOTALES}	1,80	3,08	3,01	3,16	2,98	2,27	1,94	1,72	1,90	1,93
L _{TOTALES} = P _{Bruta} , No Corr. - P _{Neto} , No Corr										
Correcciones a la Potencia bruta										
L _{FP}	199,73	214,75	224,04	251,78	260,98	261,68	266,60	271,59	259,29	262,72
Diferencia de kW en la curva de FP (FP _{ens} vs 0,95)										
P _{Bruta, Corr}	387,19	390,42	390,50	390,46	390,29	389,68	389,44	389,09	389,24	389,07
P _{Bruta, Corr} = (P _{Bruta} - L _{FP})										
Cálculo promedio final										
P _{Bruta, Corr}	387,19	390,42	390,50	390,46	390,29	389,68	389,44	389,09	389,24	389,07
P _{Neto, Corr}	385,39	387,34	387,49	387,29	387,32	387,41	387,50	387,37	387,34	387,14
Selección de los test-run promediados										
P _{MAX, Bruta}	389,54									
P _{MAX, Neto}	387,16									

Tabla 6-13 – Resumen general para la Unidad 1



Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	20:45	21:15	21:45	22:15	22:45	23:15	23:45	0:15	0:45	1:15
ref										
Variables Primarias										
FP	0,979	0,980	0,981	0,982	0,981	0,979	0,980	0,977	0,977	0,978
P _{Bruta}	391,80	391,39	390,37	391,79	391,11	390,97	391,25	391,31	391,13	390,75
P _{Neta}	388,98	388,55	387,44	388,91	388,41	388,44	388,44	388,42	388,32	388,00
Variables Secundarias										
Nivel	723,631	723,623	723,620	723,615	723,630	723,630	723,606	723,600	723,600	723,600
Frec	49,93	50,05	50,10	49,98	50,03	50,03	49,99	50,01	50,02	50,06
Verificación de condiciones de estabilidad										
P _{Neta}	1,50%	0,15%	0,20%	0,43%	0,11%	0,19%	0,19%	0,18%	0,19%	0,21%
P _{Bruta}	1,50%	0,07%	0,23%	0,43%	0,08%	0,14%	0,19%	0,19%	0,22%	0,24%
Nivel	1,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FP	2,00%	0,13%	0,04%	0,07%	0,03%	0,17%	0,02%	0,04%	0,04%	0,11%
Frec	0,50%	0,05%	0,14%	0,05%	0,07%	0,00%	0,09%	0,09%	0,07%	0,04%
Estabilidad	¿Se cumplen los criterios para todas las variables?									
Determinación pérdidas totales										
L _{TOTALES}	2,81	2,84	2,93	2,88	2,70	2,54	2,81	2,89	2,81	2,75
Correcciones a la Potencia bruta										
L _{FP}	240,11	240,20	252,11	262,95	253,86	235,44	243,47	220,42	217,39	229,12
P _{Bruta, Corr}	391,56	391,15	390,12	391,53	390,86	390,74	391,01	391,09	390,91	390,52
Diferencia de kW en la curva de FP (FP _{Neta} vs 0,95) $P_{Bruta, Corr} = (P_{Bruta} - L_{FP})$										
Cálculo promedio final										
P _{Bruta, Corr}	391,56	391,15	390,12	391,53	390,86	390,74	391,01	391,09	390,91	390,52
P _{Neta, Corr}	388,74	388,31	387,19	388,65	388,15	388,20	388,20	388,20	388,11	387,77
Selección de los test-run promediables $P_{Neta, Corr} = P_{Bruta, Corr} - L_{Totales}$										
P _{MAX, Bruta}	Potencia Máxima Bruta [MW] 390,95									
P _{MAX, Neta}	Potencia Máxima Neta [MW] 388,15									

Tabla 6-14 – Resumen general para la Unidad 2



Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Test Run n°	20:50	21:20	21:50	22:20	22:50	23:20	23:50	0:20	0:50	1:20
Variables Primarias										
FP1	0,989	0,989	0,980	0,980	0,982	0,981	0,980	0,983	0,984	0,984
P _{BRUTA1}	326,23	326,47	325,97	326,07	326,06	325,75	325,76	326,51	326,81	326,53
P _{Neta1}	348,35	348,37	348,21	347,95	347,57	347,49	347,73	346,87	346,24	346,24
FP2	0,993	0,993	0,986	0,987	0,987	0,987	0,985	0,987	0,986	0,985
P _{BRUTA2}	330,86	330,49	330,56	330,89	330,85	330,12	329,92	330,08	330,12	330,12
P _{Neta2}	304,19	304,35	304,19	304,23	304,62	304,31	304,39	304,20	304,34	304,84
Variables Secundarias										
Nivel	716,394	716,367	716,340	716,307	716,283	716,254	716,223	716,191	716,160	716,135
Frec	50,08	50,00	50,06	49,99	49,97	50,02	50,03	50,04	50,03	50,07
Verificación de condiciones de estabilidad										
FP1	0,18%	0,20%	0,08%	0,26%	0,23%	0,19%	0,24%	0,22%	0,14%	0,27%
P _{BRUTA1}	1,50%	1,13%	0,16%	0,22%	0,21%	0,15%	0,19%	0,22%	0,15%	0,19%
P _{Neta1}	1,50%	0,18%	0,09%	0,12%	0,18%	0,14%	0,12%	0,12%	0,16%	0,16%
FP2	0,11%	0,17%	0,15%	0,23%	0,14%	0,22%	0,24%	0,14%	0,12%	0,16%
P _{BRUTA2}	0,32%	0,34%	0,26%	0,28%	0,20%	0,33%	0,28%	0,20%	0,29%	0,34%
P _{Neta2}	0,19%	0,20%	0,22%	0,12%	0,15%	0,16%	0,13%	0,13%	0,16%	0,16%
Nivel	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Frec	0,09%	0,05%	0,05%	0,11%	0,06%	0,06%	0,10%	0,05%	0,04%	0,03%
Estabilidad	SI									
Cálculos de Desvío Estándar y comparación con el límite establecido por norma										
Determinación pérdidas totales										
P _{Bruta, No Corr}	657,09	656,96	656,53	656,96	656,91	655,86	655,98	656,44	656,88	656,65
P _{Neta, No Corr}	652,54	652,72	652,41	652,19	652,19	651,80	651,97	651,93	651,21	651,07
L _{TOTALES}	4,55	4,25	4,13	4,77	4,71	4,06	4,01	4,51	5,68	5,58
Correcciones a la Potencia bruta										
L _{FP, U1}	281,48	278,59	212,85	214,85	224,90	218,39	216,41	236,58	246,25	239,66
L _{FP, U2}	309,16	309,39	280,19	285,50	267,55	269,84	256,34	264,96	260,07	255,06
Cálculo promedio final										
P _{Bruta, Corr, U1}	325,95	326,19	325,76	325,85	325,83	325,53	325,55	326,28	326,56	326,29
P _{Bruta, Corr, U2}	330,55	330,18	330,30	330,62	330,58	329,85	329,96	329,66	329,82	329,86
Cálculo promedio final										
P _{Bruta, Corr}	656,50	656,38	656,06	656,48	656,41	655,38	655,50	655,93	656,38	656,15
P _{Neta, Corr}	651,95	652,13	651,83	651,71	651,70	651,31	651,49	651,42	650,70	650,58
Potencia Máxima Bruta										
P _{MAX, Bruta}	656,12									
P _{MAX, Neta}	651,49									

Tabla 6-15 – Resumen general para la Central completa



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 6-16 y en la Tabla 6-17 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* θ)	Incertidumbre aleatoria (Sx* θ *ts,v)	
P _{BRUTA}	[kW]	389785,64	655,786	26	2,056	2239,15	128,61	1,006	2252,11	265,95	
FP	[-]	0,981	0,001	21	2,080	0,006	0,0001	-6918,02	-38,97	-2,04	
									U_R	2268,10	[kW]

Tabla 6-16 – 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* θ)	Incertidumbre aleatoria (Sx* θ *ts,v)	
P _{BRUTA}	[kW]	389785,64	655,79	26	2,056	2239,15	128,61	0,006	12,96	1,53	
FP	[-]	0,981	0,001	21	2,080	0,006	0,0001	-6918,024	-38,97	-2,04	
P _{Neta}	[kW]	387406,89	651,87	23	2,069	1342,02	135,925	1,000	1342,02	281,23	
									U_R	1371,78	[kW]

Tabla 6-17 – Cálculo de incertidumbre para la Potencia Neta corregida de la Unidad 1

En la Tabla 6-18 y en la Tabla 6-19 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* θ)	Incertidumbre aleatoria (Sx* θ *ts,v)	
P _{BRUTA}	[kW]	391186,35	785,933	23	2,0690	2247,194	163,88	1,006	2261,00	341,15	
FP	[-]	0,979	0,001	17	2,1100	0,006	0,0002	-8127,75	-45,73	-2,80	
									U_R	2287,05	[kW]

Tabla 6-18 – 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]	391186,35	785,93	23	2,069	2247,19	163,88	0,006	13,80	2,08
FP	[-]	0,979	0,001	17	2,110	0,006	0,0002	-8127,752	-45,73	-2,80
P _{Neta}	[kW]	388391,53	745,22	20	2,086	1345,43	166,636	1,000	1345,43	347,60
U_R									1390,43	[kW]

Tabla 6-19 - Cálculo de incertidumbre para la Potencia Neta corregida de la Unidad 2

En la Tabla 6-20 y en la Tabla 6-21 se presenta el cálculo de incertidumbre para la **Potencia Bruta Corregida** y la **Potencia Neta Corregida** respectivamente para la Central completa, 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* θ)	Incertidumbre aleatoria (Sx* θ *ts,v)
P _{BRUTA-U1}	[kW]	326216,81	581,561	22	2,080	2397,194	123,989	1,007	2412,88	259,59
FP _{U1}	[-]	0,983	0,0020	25	2,064	0,007	0,0004	-4991,38	-36,06	-4,09
P _{BRUTA-U2}	[kW]	330409,48	939,095	23	2,074	2428,004	195,815	1,026	2491,33	416,71
FP _{U2}	[-]	0,988	0,0017	25	2,064	0,007	0,0003	-5183,41	-37,62	-3,55
U_R									3503,21	[kW]

Tabla 6-20 - Cálculo de incertidumbre para la Potencia Bruta corregida de la Central completa
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-U1}	[kW]	326216,81	581,561	22	2,080	2397,194	123,989	0,007	15,69	1,69
FP _{U1}	[-]	0,983	0,0020	25	2,064	0,007	0,0004	-4991,38	-36,06	-4,09
P _{neta-U1}	[kW]	347635,44	485,436	26	2,060	1204,244	95,202	1,00	1204,24	196,12
P _{BRUTA-U2}	[kW]	330409,48	939,095	23	2,074	2428,004	195,815	0,026	63,33	10,59
FP _{U2}	[-]	0,988	0,0017	25	2,064	0,007	0,0003	-5183,41	-37,62	-3,55
P _{neta-U2}	[kW]	304366,58	491,17	21	2,086	1054,357	107,182	1,00	1054,36	223,58
U_R									1630,17	[kW]

Tabla 6-21 - Cálculo de incertidumbre para la Potencia Neta corregida de la Central completa



6.8 Corrección por cota condición de planta completa

Durante el desarrollo de las pruebas la central completa, las unidades no pudieron operar a plena carga producto de las limitaciones existentes en la cota del embalse Ralco.

El valor promedio de cota medida ($Cota_{Med}$) durante la prueba fue de:

$$Cota_{Med} = 716.3 \text{ m. s. n. m}$$

Por lo tanto, la potencia bruta máxima del Central Hidroeléctrica Ralco podría ser corregida en base a los valores históricos de las cotas y la curva de generación máxima de la Central en función de la cota del embalse Ralco, los cuales han sido estimados en la sección 9.1 y 9.2.

Según se muestra, se ha determinado que el valor promedio de cota de sitio ($Cota_{sitio}$) es de 720.4 m.s.n.m. Utilizando la función polinómica de generación máxima presentada en el capítulo 9.2 se estiman los valores de potencia máxima que desarrollaría la central para los valores de cota medida y cota de sitio. Los valores determinados son los siguientes:

$$P(Cota_{Med}) = 655.44 \text{ MW}$$

$$P(Cota_{sitio}) = 678.65 \text{ MW}$$



6.8.1 Potencia bruta

La corrección por cota se realiza considerando la diferencia de potencia activa entre la condición de cota de sitio y la condición de cota media. Esta diferencia o salto de potencia se suma al valor final de **Potencia Máxima Bruta Corregida** ($P_{MAX,Bruta,Corr}$), detallado en la Tabla 2-3.

Por lo anterior, la **Potencia Máxima Bruta Corregida por cota** ($P_{MAX,Bruta,Corr,Cota}$) es estimada de la siguiente manera:

$$P_{MAX,Bruta,Corr,Cota} = P_{MAX,Bruta,Corr} + (P(Cota_{sitio}) - P(Cota_{Med}))$$

$$P_{MAX,Bruta,Corr,Cota} = 656.12 \text{ MW} + (678.65 \text{ MW} - 655.44 \text{ MW})$$

$$P_{MAX,Bruta,Corr,Cota} = 679.33 \text{ MW}$$

6.8.2 Potencia de pérdidas en la central

A Partir de los resultados finales de potencia máxima, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre **Potencia Máxima Bruta Medida** y **Potencia Máxima Neta Medida**, detallados en la Tabla 2-3.

$$L_{Totales,Central} = P_{MAX,Bruta,Med} - P_{MAX,Neta,Med}$$

$$L_{Totales,Central} = 656.6263 \text{ MW} - 652.0020 \text{ MW} = 4.6243 \text{ MW}$$

Este valor de pérdidas totales considera las pérdidas en carga en los transformadores principales de la central, las pérdidas resistivas asociadas al nivel de carga en la condición de ensayo y la potencia asociadas a los consumos internos.

$$L_{Totales,Central} = P_{Perd,carga,Central} + P_{Perd,SSAA} = 4.6243 \text{ MW} \quad (1)$$

Los valores de **Potencia asociadas a los consumos internos** ($P_{Perd,SSAA}$) se consideran como constantes y no dependen del despacho de la central. Estos valores deben ser desglosado en los siguientes valores:

- Consumos asociados a servicios auxiliares (P_{SSAA})
- Pérdidas en los transformadores de servicios auxiliares ($P_{Perd,trSSAA}$)



- Pérdidas en los transformadores de excitación ($P_{Perd,trExcit.}$)

En base a lo presentado en la Tabla 4-6, se debe considerar el consumo de potencia de servicios auxiliares estimado en 419 kW. Por otra parte, la potencia de pérdida de cada transformador de servicios auxiliares fue estimada en 37.6 kW mientras que la potencia de pérdida de cada transformador de excitación fue estimada en 24.1 kW.

Por lo tanto, el valor estimado de **Potencia asociadas a los consumos internos** ($P_{Perd,SSAA}$) se puede calcular como:

$$P_{Perd,SSAA} = P_{SSAA} + 2 \cdot P_{Perd,trSSAA} + 2 \cdot P_{Perd,trExcit.}$$

$$P_{Perd,SSAA} = 419 \text{ kW} + 75.2 \text{ kW} + 48.2 \text{ kW} = 542.4 \text{ kW}$$

A su vez, el valor de **Potencia de Pérdidas en carga en la central** ($P_{Perd,carga,Central}$) debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en los transformadores principales ($P_{Perd,trppales}$)
- Pérdidas en red interna ($P_{Perd,red}$)

$$P_{Perd,carga,Central} = P_{Perd,trppales} + P_{Perd,red}$$

La potencia de pérdida en cada transformador fue estimada en 1155 kW⁶ según lo especificado en la Tabla 4-5, por lo que la potencia total por pérdida en los transformadores principales equivale a:

$$P_{Perd,trppales} = 2 \times 1155 \text{ kW} = 2310 \text{ kW}$$

Este valor de pérdidas ($P_{Perd,trppales}$) representa aproximadamente un 50% de las pérdidas totales ($L_{Totales,Central}$). Para el caso de la red interna ($P_{Perd,red}$) no se dispone de la información de pérdidas, por lo tanto, considerando la experiencia del Experto técnico, para los fines de cálculo se estimaron las mismas como la diferencia entre las pérdidas totales de la central y la suma de las pérdidas en los transformadores principales y las pérdidas asociadas a los consumos internos, es decir:

⁶ Fuente: <https://infotecnica.coordinador.cl/>



$$P_{Perd,red} = L_{Totales,Central} - (P_{Perd,tr_{ppales}} + P_{Perd,SSAA})$$

$$P_{Perd,red} = 4.6243 \text{ MW} - (2310 \text{ kW} + 542.4 \text{ kW}) = 1771.9 \text{ kW}$$

A partir de lo anterior, se determina el valor de **Potencia de Pérdidas en carga en la central** ($P_{Perd,carga,Central}$):

$$P_{Perd,carga,Central} = P_{Perd,tr_{ppales}} + P_{Perd,red}$$

$$P_{Perd,carga,Central} = 2310 \text{ kW} + 1771.9 \text{ kW} = 4081.9 \text{ kW}$$

Este valor de pérdidas debe ser corregido para el despacho en escenario de **Potencia Máxima Bruta Corregida por cota**. La siguiente expresión muestra la **Potencia de Pérdidas en carga en la central corregida** ($P_{Perd,carga,Central,Corr}$).

$$P_{Perd,carga,Central,Corr} = P_{Perd,carga,Central} \times \left(\frac{P_{MAX,Bruta,Corr,Cota}}{P_{MAX,Bruta,Corr}} \right)^2$$

$$P_{Perd,carga,Central,Corr} = 4081.9 \text{ kW} \times \left(\frac{679.33 \text{ MW}}{656.12 \text{ MW}} \right)^2 = 4375.8 \text{ kW}$$

Entonces el valor total de **Pérdidas en la central corregida** ($L_{Totales,Central,Corr}$) queda determinado por la siguiente expresión.

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

$$L_{Totales,Central,Corr} = 4375.8 \text{ kW} + 542.4 \text{ kW} = 4918.2 \text{ kW}$$



6.8.3 Potencia Neta

Para obtener el valor de **Potencia Máxima Neta Corregida por cota** ($P_{MAX,Neta,Corr,Cota}$) se utilizará el valor de **Potencia Máxima Bruta Corregida por cota** y el valor de **Potencia de Pérdidas en la central corregida**, según la siguiente expresión

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

$$P_{MAX,Neta,Corr,Cota} = 679.33 \text{ MW} - 4.9182 \text{ MW} = 674.41 \text{ MW}$$



6.8.4 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Resumen de resultados CH Ralco - Central Completa Corrección por Cota		
Potencia Máxima	Bruta Corregida [MW]	679.33
	Neta Corregida [MW]	674.41
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	419,0

Tabla 6-22 – Resumen resultados – Central Completa (Corrección por cota)



7 CONCLUSIONES

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

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 la Central Hidroeléctrica Ralco con el siguiente desglose de valores:

Resumen de resultados CH Ralco - Unidad 1		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	389,7856
	Bruta Corregida [MW]	389,5383
	Neta Medida [MW]	387,4069
	Neta Corregida [MW]	387,1596
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	209,5

Tabla 7-1 – Resumen resultados – Unidad 1

Resumen de resultados CH Ralco - Unidad 2		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	391,1863
	Bruta Corregida [MW]	390,9468
	Neta Medida [MW]	388,3915
	Neta Corregida [MW]	388,1520
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	209,5

Tabla 7-2 – Resumen resultados – Unidad 2

Resumen de resultados CH Ralco - Central completa		
Potencia Máxima	Bruta Medida [MW]	656,6263
	Bruta Corregida [MW]	656,1175
	Neta Medida [MW]	652,0020
	Neta Corregida [MW]	651,4932
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	419,0

Tabla 7-3 – Resumen resultados – Central Completa



Resumen de resultados CH Ralco - Central Completa Corrección por Cota		
Potencia Máxima	Bruta Corregida [MW]	679.33
	Neta Corregida [MW]	674.41
Servicios Auxiliares	Potencia [kW]	419,0

Tabla 7-4 – Resumen resultados – Central Completa (Corrección por cota)



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 Registro histórico de cota

En la presente sección se muestra la estimación de la cota de sitio para el Central Hidroeléctrica Ralco en base a los valores históricos de las cotas. Se busca determinar las condiciones de sitio que representan el escenario diario más favorable para la producción de potencia activa de la planta en el período de un año.

En la siguiente figura se presenta el registro histórico de cotas en el periodo 2004-2021:

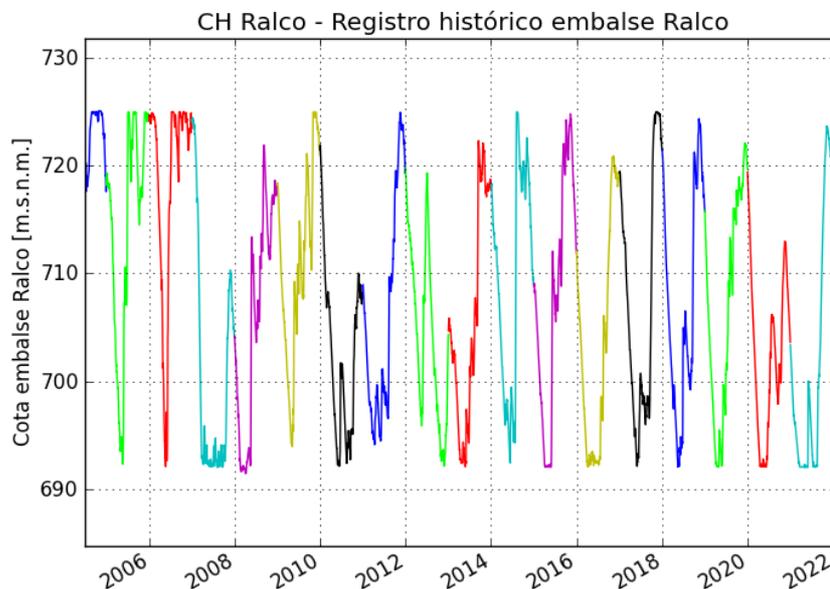


Figura 9-1 – Registro histórico de cotas (2004-2021)

Para la determinación del valor de cota máxima en cada periodo anual se consideraron los valores de cota registrados durante los meses de octubre a diciembre, considerando este período como de avenida. A partir de lo anterior, en la siguiente figura se presentan los valores de cota máximos obtenidos para cada año.

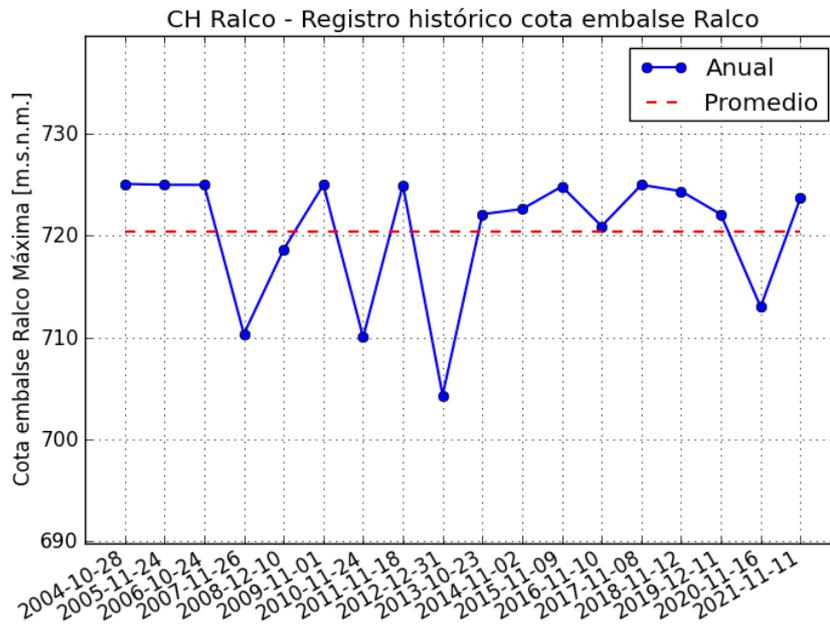


Figura 9-2 – Cota máxima por año (2004 - 2021)

Como puede observarse, el valor promedio de cota es de 720.4 m.s.n.m., considerando el período completo 2004-2021. Por lo tanto, para la estimación de la cota de sitio solo se considera este valor promedio.



9.2 Característica potencia máxima vs cota embalse Ralco

En la siguiente figura se presenta curva de generación de Central Ralco en función de la cota del embalse Ralco informada por el Coordinado. Es importante destacar que, por condiciones de diseño, el nivel máximo del embalse es de 725 m.s.n.m., mientras que el nivel mínimo es de 692 m.s.n.m.

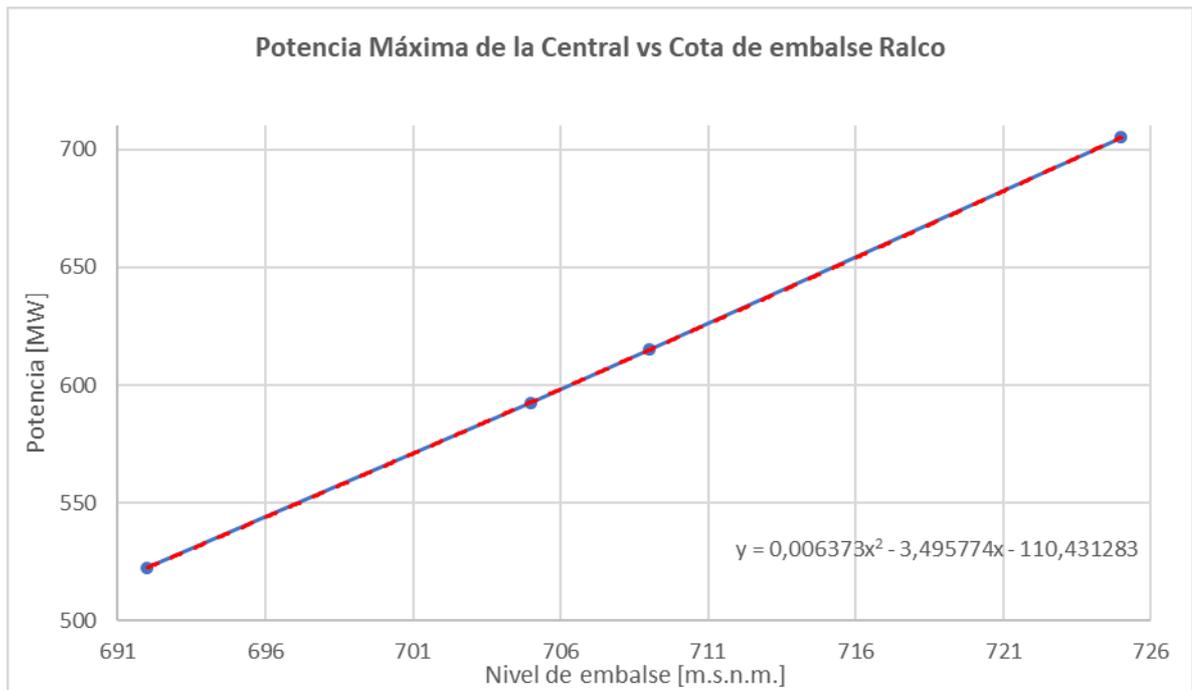


Figura 9-3 – Potencia máxima vs cota embalse Ralco - CH Ralco

Como puede observarse la generación real en función de la cota del embalse puede ser estimada a partir de la siguiente función polinómica:

$$P_{(x)} = 0,006373x^2 - 3,495774x - 110,431283$$

A partir de históricos informados por el Coordinado, la máxima potencia desarrollada por la Central durante los períodos 2004-2021 fue de 690 MW. Según la curva mostrada en la Figura 9-3, esta potencia se podría alcanzar a partir de un nivel de embalse de 722.4 m.s.n.m. Es decir que para niveles de embalse entre 722.4 m.s.n.m. y 725 m.s.n.m. la potencia de la Central se encuentra limitada a dicho valor máximo.



9.3 Características Turbina y Generador

Parámetros eléctricos máquinas generadoras	G1	G2
Tensión nominal [kV]	13,8	13,8
Potencia nominal [MVA]	402	402
Factor de potencia (cosφ)	0,95	0,95
Método de conexión del neutro a tierra	YN	YN
Reactancia sincrónica eje directo Xd [p.u.]	1,682	1,682
Reactancia sincrónica eje en cuadratura Xq [p.u.]	0,982	0,982
Reactancia subtransitoria saturada X"d sat [p.u.]	0,2	0,2
Resistencia de estator rstr [p.u.]	0	0
Reactancia de secuencia cero X0 [p.u.]	0,119	0,119
Resistencia de secuencia cero R0 [p.u.]	0	0
Reactancia de secuencia negativa X2 [p.u.]	0,235	0,235
Resistencia de secuencia negativa R2 [p.u.]	0	0
Reactancia transitoria eje directo X'd [p.u.]	0,317	0,317
Reactancia transitoria eje en cuadratura X'q [p.u.]	---	---
Reactancia subtransitoria eje directo X''d [p.u.]	0,22	0,22
Reactancia subtransitoria eje en cuadratura X''q [p.u.]	0,25	0,25
Constante de tiempo transitoria eje directo T'd [s]	13,3	13,3
Constante de tiempo subtransitoria eje directo T''d [s]	0,083	0,083
Constante de tiempo subtransitoria eje en cuadratura T''q [s]	0,26	0,26

Figura 9-4 - Hoja de datos del generador

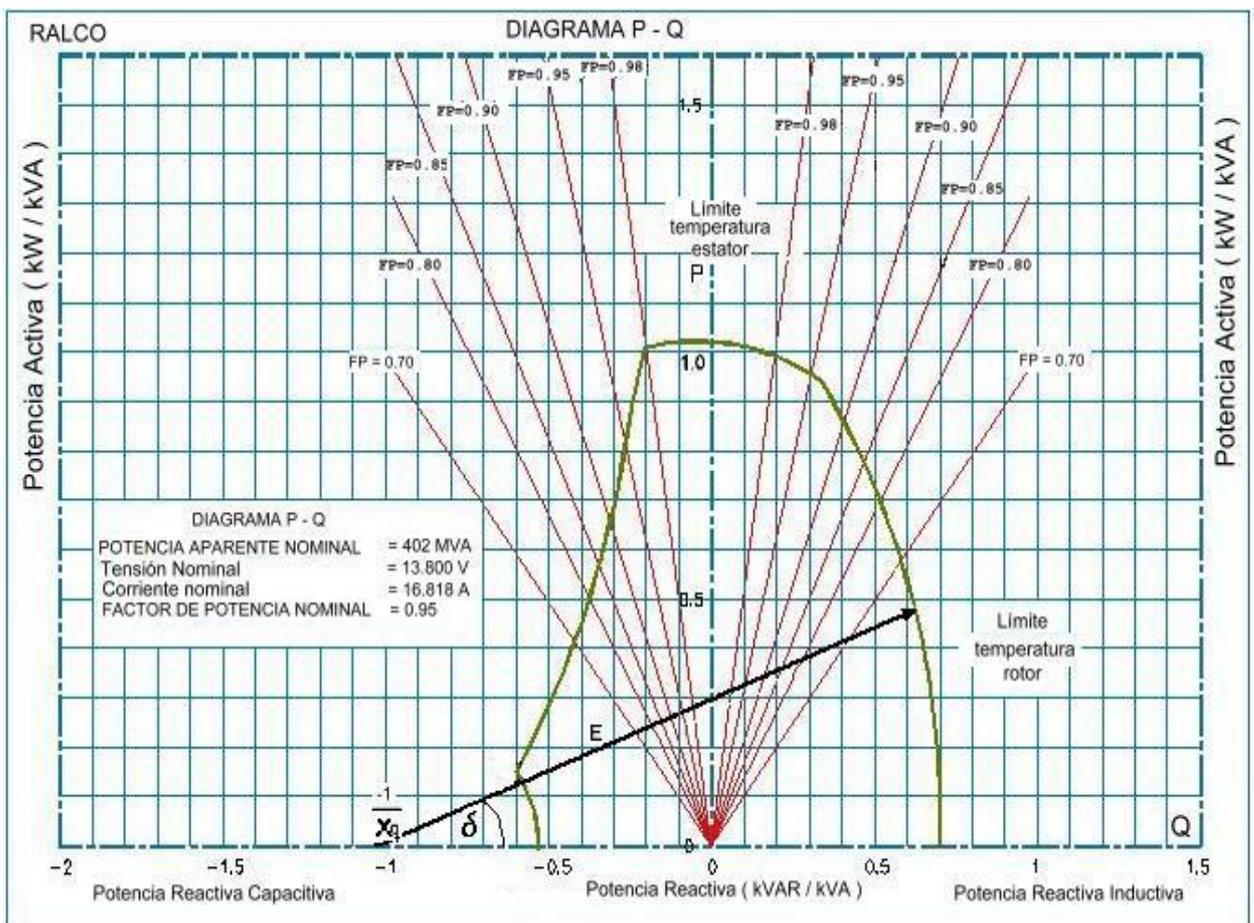


Figura 9-5 - Curva de Capacidad



9.4 Puntos de medición

9.4.1 Potencia bruta

Para la medición de potencia bruta se utilizó el medidor ION 7650, que el Coordinado posee instalado en sus instalaciones. Para las mediciones se utilizaron los transformadores TTCC y TTPP que el generador tiene de fábrica, clase 0.5 y 0.2 respectivamente. La relación de transformación del TTCC es 17000/1 A y la relación del TTPP es de 14400/120 V.

En las siguientes imágenes se presentan las fotos de placa de los medidores y borneras de conexión de corriente y tensión.



Figura 9-6 – Datos de placa medidor de potencia bruta y factor de potencia - Unidad 1

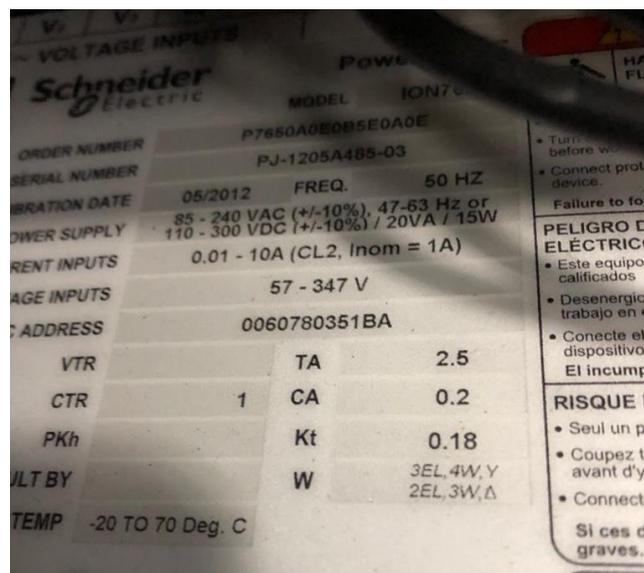


Figura 9-7 – Datos de placa medidor de potencia bruta y factor de potencia - Unidad 2



Figura 9-8 – Bornes medidor de potencia bruta – Unidad 1

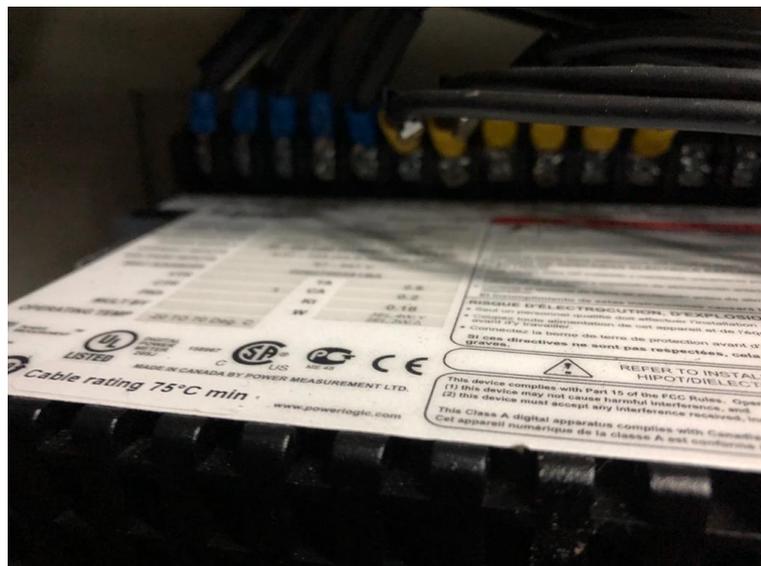


Figura 9-9 – Bornes medidor de potencia bruta – Unidad 2



9.4.2 Potencia neta

Para la medición de potencia neta se utilizaron los medidores ION 7650 (Circuito 1 y Circuito 2), que el Coordinado tiene en sus instalaciones. El equipo se conecta a los núcleos de los transformadores de corriente y tensión de clase 0.2. La relación de transformación del TTCC es 2500/1 A y la relación del TTPP es de 23000/115 V.

En las siguientes imágenes se presentan las fotos de placa de los medidores y borneras de conexión de corriente y tensión.

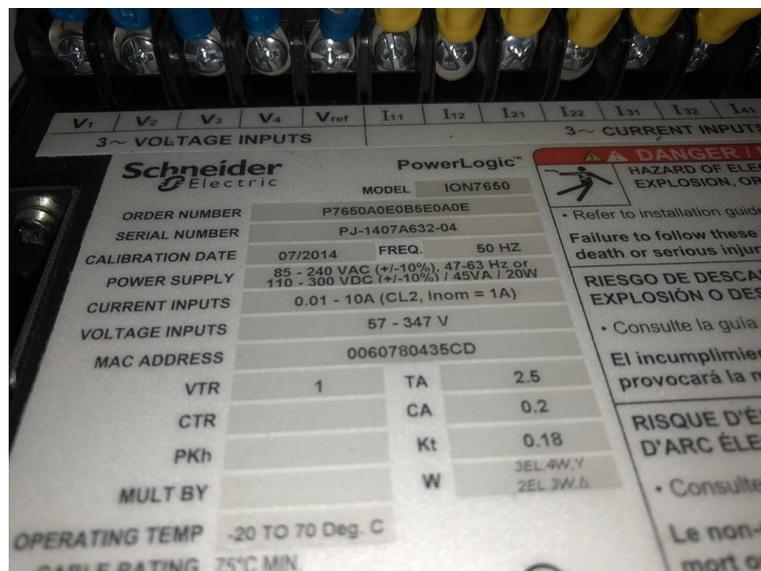


Figura 9-10 – Datos de placa medidor de potencia neta – Circuito 1



Figura 9-11 – Datos de placa medidor de potencia neta – Circuito 2

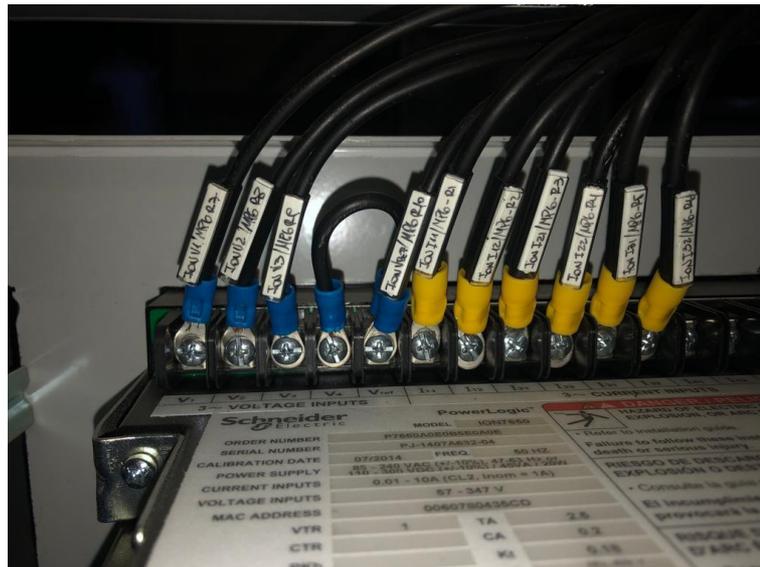


Figura 9-12 – Bornes medidor de potencia neta – Circuito 1



Figura 9-13 – Bornes medidor de potencia neta – Circuito 2



9.5 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.

9.5.1 Potencia bruta/FP

Se ha utilizado el medidor que el Coordinado 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. El registro de datos se ha realizado con una tasa de muestreo de 1 muestra por minuto y se ha entregado en formato csv.

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: 38455

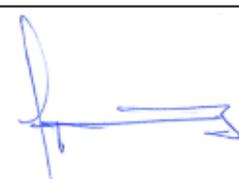
ANTECEDENTES DEL CLIENTE				RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA				
N° / Fecha de Solicitud	:	OC 4500343161			Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
Fecha Calibración	:	28.10.2021			Error (%)	Limite Norma (%)	Error(%)	Limite Norma (%)
Medidor	:	ION 7650						
Cliente	:	Enel Chile S.A.						
Instalación	:	Unidad 1						
Subestación	:	Central Ralco						
ANTECEDENTES DEL MEDIDOR				RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA				
Marca	:	Schneider Electric			Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
Modelo	:	P7650A0E0B5E0A0E			Error (%)	Limite Norma (%)	Error(%)	Limite Norma (%)
N° de Serie	:	PJ-1407A627-04						
Estado	:	En Servicio						
Año Fabricación	:	2014						
Clase Exactitud (%)	:	0,2						
Constante Med.	:	1						
PATRON DE CALIBRACION				RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA				
Marca	:	Applied Precision			Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
Modelo	:	PTE 2300			Error (%)	Limite Norma (%)	Error(%)	Limite Norma (%)
N° Serie	:	2615020128						
Clase de Exactitud	:	0,05						
Trazabilidad	:	Laboratorio Tecnored						
CONDICIONES DE MEDIDA				RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA				
Lugar de Calibración	:	Central Ralco			Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
Tipo de Medida	:	W. ESTRELLA/ACTIVO			Error (%)	Limite Norma (%)	Error(%)	Limite Norma (%)
Tensión Aplicada	:	63,5	(V)					
Corriente Nominal	:	1	(A)					
N° de Elementos	:	3						
Método Calibración	:	Comparación Directa						
Frecuencia (Hz)	:	50	(HZ)					
Temperatura (C°)	:	21.7						
Humedad (%)	:	56.6						
Calibrador	:	O. Vergara - I.Llanos						
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 9-14 – 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 ELÉCTRICA**

FOLIO: 38468

ANTECEDENTES DEL CLIENTE				RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
Nº / Fecha de Solicitud	: Correo			N	Fase	Cte. %	Factor	Componente Activa			
Fecha Calibración	: 29-10-2021							Directa	Componente Activa Reversa		
Medidor	: ION 7650			Error (%)	Limite Norma (%)	Error (%)	Limite Norma (%)				
Cliente	: Enel Chile S.A.			1	123	100	1	-0,113	± 0,2	-0,110	± 0,2
Instalación	: Unidad 2			2	123	100	0,5	-0,089	± 0,3	-0,087	± 0,3
Subestación	: Central Ralco			3	123	10	1	-0,111	± 0,2	-0,109	± 0,2
ANTECEDENTES DEL MEDIDOR				4	123	10	0,5	-0,088	± 0,3	-0,086	± 0,3
Marca	: Schneider Electric			5	1	100	1	-0,144	± 0,3	-0,141	± 0,3
Modelo	: P7650A0E0B5E0A0E			6	2	100	1	-0,060	± 0,3	-0,059	± 0,3
Nº de Serie	: PJ-1205A485-03			7	3	100	1	-0,133	± 0,3	-0,132	± 0,3
Estado	: En Servicio			8	1	100	0,5	-0,123	± 0,4	-0,119	± 0,4
Año Fabricación	: 2012			9	2	100	0,5	-0,044	± 0,4	-0,045	± 0,4
Clase Exactitud (%)	: 0,2			10	3	100	0,5	-0,108	± 0,4	-0,108	± 0,4
Constante Med.	: 1			RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
PATRON DE CALIBRACION				N	Fase	Cte. %	Factor	Componente Reactiva			
Marca	: Applied Precision							Directa	Componente Reactiva Reversa		
Modelo	: PTE 2300			Error (%)	Limite Norma (%)	Error (%)	Limite Norma (%)				
Nº Serie	: 2615020128			1	123	100	1	-0,088	± 2,0	-0,087	± 2,0
Clase de Exactitud	: 0,05			2	123	100	0,5	-0,108	± 2,0	-0,108	± 2,0
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored			3	123	10	1	-0,085	± 2,0	-0,085	± 2,0
CONDICIONES DE MEDIDA				4	123	10	0,5	-0,140	± 2,0	-0,140	± 2,0
Lugar de Calibración	: Central Ralco			5	1	100	1	-0,056	± 3,0	-0,055	± 3,0
Tipo de Medida	: W,ESTRELLA/ACTIVO			6	2	100	1	-0,132	± 3,0	-0,131	± 3,0
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)			7	3	100	1	-0,118	± 3,0	-0,119	± 3,0
Corriente Nominal	: 1 (A)			8	1	100	0,5	-0,042	± 3,0	-0,040	± 3,0
Nº de Elementos	: 3			9	2	100	0,5	-0,108	± 3,0	-0,105	± 3,0
Método Calibración	: Comparación Directa			10	3	100	0,5	-0,107	± 3,0	-0,108	± 3,0
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)			OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES							
Temperatura (C°)	: 21,7°C			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.							
Humedad (%)	: 56,8%RH										
Calibrador	: O. Vergara - I.Llanos										
 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 medidor de potencia bruta y factor de potencia (Unidad 2)



9.5.2 Potencia neta

Se han utilizado 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.

El Coordinado ha realizado pruebas de certificación de este equipo previo al desarrollo de las pruebas. El registro de datos se ha realizado con una tasa de muestreo de 1 muestra por minuto y se ha entregado en formato csv.

A continuación, se incluyen los certificados de calibración.



FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38456

ANTECEDENTES DEL CLIENTE			
N° / Fecha de Solicitud	: OC 4500343161		
Fecha Calibración	: 28.10.2021		
Medidor	: ION 7650		
Cliente	: Enel Chile S.A.		
Instalación	: Línea 1 Ralco-Charrua		
Subestación	: Central Ralco		

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR			
Marca	: Schneider Electric		
Modelo	: P7650A0E0B5E0A0E		
N° de Serie	: PJ-1407A632-04		
Estado	: En Servicio		
Año Fabricación	: 2014		
Clase Exactitud (%)	: 0,2		
Constante Med.	: 1		

PATRON DE CALIBRACION			
Marca	: Applied Precision		
Modelo	: PTE 2300		
N° Serie	: 2615020128		
Clase de Exactitud	: 0,05		
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored		

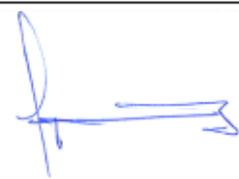
CONDICIONES DE MEDIDA			
Lugar de Calibración	: Central Ralco		
Tipo de Medida	: W,ESTRELLA/ACTIVO		
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)		
Corriente Nominal	: 1 (A)		
N° de Elementos	: 3		
Método Calibración	: Comparación Directa		
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)		
Temperatura (C°)	: 21,7		
Humedad (%)	: 54,6		
Calibrador	: O. Vergara - I.Llanos		

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	-0,019	± 0,2	-0,015	± 0,2
2	123	100	0,5	0,007	± 0,3	0,012	± 0,3
3	123	10	1	-0,020	± 0,2	-0,017	± 0,2
4	123	10	0,5	0,006	± 0,3	0,009	± 0,3
5	1	100	1	-0,039	± 0,3	-0,036	± 0,3
6	2	100	1	-0,004	± 0,3	-0,003	± 0,3
7	3	100	1	-0,011	± 0,3	-0,010	± 0,3
8	1	100	0,5	-0,025	± 0,4	-0,021	± 0,4
9	2	100	0,5	0,032	± 0,4	0,033	± 0,4
10	3	100	0,5	0,022	± 0,4	0,022	± 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	-0,015	± 2,0	-0,015	± 2,0
2	123	100	0,5	0,012	± 2,0	0,013	± 2,0
3	123	10	1	-0,015	± 2,0	-0,015	± 2,0
4	123	10	0,5	0,013	± 2,0	0,010	± 2,0
5	1	100	1	-0,036	± 3,0	-0,036	± 3,0
6	2	100	1	-0,001	± 3,0	-0,001	± 3,0
7	3	100	1	-0,009	± 3,0	-0,009	± 3,0
8	1	100	0,5	-0,023	± 3,0	-0,020	± 3,0
9	2	100	0,5	0,036	± 3,0	0,035	± 3,0
10	3	100	0,5	0,023	± 3,0	0,023	± 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 9-16 – Certificado de calibración medidor de potencia neta (Circuito 1)



FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38467

ANTECEDENTES DEL CLIENTE				RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA			
N° / Fecha de Solicitud	: OC 4500343161	N	Fase	Cte. %	Factor	Error (%)	Límite Norma (%)
Fecha Calibración	: 28.10.2021	1	123	100	1	-0,020	± 0,2
Medidor	: ION 7650	2	123	100	0,5	0,008	± 0,3
Cliente	: Enel Chile S.A.	3	123	10	1	-0,019	± 0,2
Instalación	: Línea 2 Ralco-Charrua	4	123	10	0,5	0,004	± 0,3
Subestación	: Central Ralco	5	1	100	1	-0,003	± 0,3
		6	2	100	1	-0,033	± 0,3
		7	3	100	1	-0,023	± 0,3
		8	1	100	0,5	0,018	± 0,4
		9	2	100	0,5	-0,003	± 0,4
		10	3	100	0,5	0,010	± 0,4

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR				RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA			
Marca	: Schneider Electric	N	Fase	Cte. %	Factor	Error (%)	Límite Norma (%)
Modelo	: P7650A0E0B5E0A0E	1	123	100	1	-0,017	± 2,0
N° de Serie	: PJ-1407A631-04	2	123	100	0,5	0,011	± 2,0
Estado	: En Servicio	3	123	10	1	-0,017	± 2,0
Año Fabricación	: 2014	4	123	10	0,5	0,010	± 2,0
Clase Exactitud (%)	: 0,2	5	1	100	1	0,032	± 3,0
Constante Med.	: 1	6	2	100	1	-0,031	± 3,0
		7	3	100	1	-0,024	± 3,0
		8	1	100	0,5	0,022	± 3,0
		9	2	100	0,5	-0,001	± 3,0
		10	3	100	0,5	0,011	± 3,0

PATRON DE CALIBRACION				CONDICIONES DE MEDIDA			
Marca	: Applied Precision	Lugar de Calibración	: Central Ralco	Tipo de Medida	: W,ESTRELLA/ACTIVO	Método Calibración	: Comparación Directa
Modelo	: PTE 2300	Tensión Aplicada	: 63,5 (V)	Tensión Aplicada	: 63,5 (V)	Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)
N° Serie	: 2615020128	Corriente Nominal	: 1 (A)	Corriente Nominal	: 1 (A)	Temperatura (C°)	: 22,6
Clase de Exactitud	: 0,05	N° de Elementos	: 3	N° de Elementos	: 3	Humedad (%)	: 50,5
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnoled	Método Calibración	: Comparación Directa	Método Calibración	: Comparación Directa	Calibrador	: O. Vergara - I.Llanos

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Los errores encontrados cumplen con la Normativa Vigente IEC 62053-22 (ITEM 8.1). Tecnoled 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 9-17 – Certificado de calibración medidor de potencia neta (Circuito 2)



9.6 Acta de ensayos

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

ESTUDIOS ELECTRICOS			
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA			
ACTA DE ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA			
Fecha	09/11/2021	Empresa	ENEL Generación S.A.
ID Proyecto	EE-2021-115	Ubicación	Alto Biobío, Región del Biobío, Chile
Denominación de la unidad	Unidad 1		
Responsables durante la prueba			
Empresa	Nombre	Firmas	
ENEL Generación S.A. (Coordinado)	Mauricio Mella G. - Mantenedor/Operador		
	Alejandro Pérez R. - Especialista Sr Sistemas de Control		
	José Carvajal L. - Especialista Sistemas de Control		
	Francisco Camarada U. - Plant Unit Biobio		
Coordinador Eléctrico Nacional	Roberto Moller - Ingeniero del Departamento de Control de la Operación		
	Eduardo González - Ingeniero del Departamento de Control de la Operación		
Estudios Eléctricos	Federico García - Experto Técnico		
	Federico Deledda - Experto Técnico		
<small>www.estudios-electricos.com</small>			

Figura 9-18 – Acta de tareas para la Unidad 1 (1 de 3)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Datos de la unidad

Potencia aparente nominal [MVA]	402	Corriente de estator nominal [A]	16818
Tensión de estator nominal [kV]	13.8	Factor de potencia nominal	0.95
Potencia activa máxima [MW]	345 <i>Declarado CEN</i>	Corriente de excitación nominal [A]	2205
Mínimo Técnico [MW]	-	Tensión de excitación nominal [V]	260

Datos de la prueba

Estado previo de las unidades	<i>Despachada</i>	Arranque de la unidad (fecha-hora)	09/11/2021 -
Inicio del período de estabilización	20:30 Hs	Fin del período de estabilización	21:15 Hs
Inicio del período de prueba Potencia Máxima	21:15 Hs	Fin del período de prueba Potencia Máxima	02:15 Hs (10/11/2021)
Protocolo aplicable	EE-EN-2021-1872 Rev C	Desvíos del protocolo	Si

Instrumental

Magnitud	Descripción de equipos y punto de conexión
Potencia neta	Circuito 1: ION 7650 - N° Serie: PJ-1407A632-04. Circuito 2: ION 7650 - N° Serie: PJ-1407A631-04. Equipos de medida de planta clase 0.2, conectados a TTCC y TTPP clase 0.2.
Potencia bruta y factor de potencia	ION 7650 - N° Serie: PJ-1407A627-04. Equipo de medida de planta clase 0.2, conectado a TTCC clase 0.5 y TTPP clase 0.2.
Potencia SSAA	No se mide.

www.estudios-electricos.com

Figura 9-19 – 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]	389.2	390.7	390.3	389.5	389.4

Observaciones

Desvíos del protocolo: ENEL Generación confirma que el valor de potencia máxima para la operación de una sola unidad es 390 MW.

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 a máxima potencia nominal 390 MW, la regulación de frecuencia estuvo operativa con un estatismo configurado de 7% y el AGC deshabilitado. Para estabilizar la carga en 390 MW la unidad operó limitada con el limitador de apertura ajustado en 86%.

Debido a que las condiciones del Sistema no permitieron aumentar la inyección de reactivos no fue posible que la unidad alcance a operar en factor de potencia de 0.95.

Se logró consignar el valor de potencia reactiva en 80 MVar, lo que permitió tener un factor de potencia cercano a 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 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 (interruptor 001JD cerrado e interruptor de acople de barras 004JD cerrado), estando el interruptor de alimentación externa 005JD (Alimentación desde S/E Ralco) abierto.

Conclusiones: Se verificó con éxito que la unidad 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 9-20 – Acta de tareas para la Unidad 1 (3 de 3)

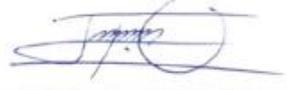


ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

ACTA DE ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Fecha	10/11/2021	Empresa	ENEL Generación S.A.
ID Proyecto	EE-2021-115	Ubicación	Alto Biobío, Región del Biobío, Chile
Denominación de la unidad	Unidad 2		

Responsables durante la prueba

Empresa	Nombre	Firmas
ENEL Generación S.A. (Coordinado)	Mauricio Mella G. - Mantenedor/Operador	
	Alejandro Pérez R. - Especialista Sr Sistemas de Control	
	José Carvajal L. - Especialista Sistemas de Control	
	Francisco Camarada U. - Plant Unit Biobío	
Coordinador Eléctrico Nacional	Roberto Moller - Ingeniero del Departamento de Control de la Operación	
	Eduardo González - Ingeniero del Departamento de Control de la Operación	
Estudios Eléctricos	Federico García - Experto Técnico	
	Federico Deledda - Experto Técnico	

www.estudios-electricos.com

Figura 9-21 - Acta de tareas para la Unidad 2 (1 de 3)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Datos de la unidad

Potencia aparente nominal [MVA]	402	Corriente de estator nominal [A]	16818
Tensión de estator nominal [kV]	13.8	Factor de potencia nominal	0.95
Potencia activa máxima [MW]	345 <i>Declarado CEN</i>	Corriente de excitación nominal [A]	2205
Mínimo Técnico [MW]	-	Tensión de excitación nominal [V]	260

Datos de la prueba

Estado previo de las unidades	<i>Detenida</i>	Arranque de la unidad (fecha-hora)	10/11/2021 19:04
Inicio del período de estabilización	19:45 Hs	Fin del período de estabilización	20:45 Hs
Inicio del período de prueba Potencia Máxima	20:45 Hs	Fin del período de prueba Potencia Máxima	01:45 Hs (11/11/2021)
Protocolo aplicable	EE-EN-2021-1872 Rev C	Desvíos del protocolo	Si

Instrumental

Magnitud	Descripción de equipos y punto de conexión
Potencia neta	<i>Círculo 1: ION 7650 - N° Serie: PJ-1407A632-04. Equipos de medida de planta clase 0.2, conectados a TTCC y TTPP clase 0.2.</i>
Potencia bruta y factor de potencia	<i>ION 7650 - N° Serie: PJ-1205A485-03. Equipo de medida de planta clase 0.2, conectado a TTCC clase 0.5 y TTPP clase 0.2.</i>
Potencia SSAA	<i>No se mide.</i>

www.estudios-electricos.com

Figura 9-22 – Acta de tareas para la Unidad 2 (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]	390.7	390.7	391.1	391.2	390.2

Observaciones

Desvíos del protocolo: ENEL Generación confirma que el valor de potencia máxima para la operación de una sola unidad es 390 MW.

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 a máxima potencia nominal 390 MW, la regulación de frecuencia estuvo operativa con un estatismo configurado de 7% y el AGC deshabilitado. Para estabilizar la carga en 390 MW la unidad operó limitada con el limitador de apertura ajustado en 85.8%.

Debido a que las condiciones del Sistema no permitieron aumentar la inyección de reactivos no fue posible que la unidad alcance a operar en factor de potencia de 0.95.

Se logró consignar el valor de potencia reactiva en 80 MVAR, lo que permitió tener un factor de potencia cercano a 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 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 2 a través del transformador de SSAA N°02 (interruptor 002JD cerrado e interruptor de acople de barras 004JD cerrado), estando el interruptor de alimentación externa 005JD (Alimentación desde S/E Ralco) abierto.

Conclusiones: Se verificó con éxito que la unidad 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 9-23 – Acta de tareas para la Unidad 2 (3 de 3)

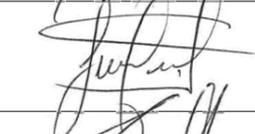


ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

ACTA DE ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Fecha	02/03/2022	Empresa	ENEL Generación S.A.
ID Proyecto	EE-2021-115	Ubicación	Alto Biobío, Región del Biobío, Chile
Denominación de la unidad	Central Ralco Unidades 1 y 2		

Responsables durante la prueba

Empresa	Nombre	Firmas
ENEL Generación S.A. (Coordinado)	José Carvajal L. – Especialista Sistemas de Control	
	Jaime Reyes A. – Mantenedor/Operador	
	Andrés Basso C. – Unidad de Negocio Sur O&M Hydro	
Estudios Eléctricos	Federico García – Experto Técnico	

www.estudios-electricos.com

Figura 9-24 – Acta de tareas para la central completa (1 de 3)



ESTUDIOS ELECTRICOS 
ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA

Datos de las unidades U1 y U2

Potencia aparente nominal [MVA]	402	Corriente de estator nominal [A]	16818
Tensión de estator nominal [kV]	13.8	Factor de potencia nominal	0.95
Potencia activa máxima [MW]	345 <i>Declarado CEN</i>	Corriente de excitación nominal [A]	2205
Mínimo Técnico [MW]	-	Tensión de excitación nominal [V]	260

Datos de la prueba

Estado previo de las unidades	<i>U1 Despachada U2 Despachada</i>	Arranque de la unidad (fecha-hora)	02/03/2022 -
Inicio del período de estabilización	20:25	Fin del período de estabilización	20:50
Inicio del período de prueba Potencia Máxima	20:50	Fin del período de prueba Potencia Máxima	03/03/2022 01:50
Protocolo aplicable	EE-EN-2021-1872 Rev C	Desvíos del protocolo	Si

Instrumental

Magnitud	Descripción de equipos y punto de conexión
Potencia neta	<i>Circuito 1: ION 7650 - N° Serie: PJ-1407A632-04. Circuito 2: ION 7650 - N° Serie: PJ-1407A631-04. Equipos de medida de planta clase 0.2, conectados a TTCC y TTPP clase 0.2.</i>
Potencia bruta y factor de potencia Unidad 1	<i>ION 7650 - N° Serie: PJ-1407A627-04. Equipo de medida de planta clase 0.2, conectado a TTCC clase 0.5 y TTPP clase 0.2.</i>
Potencia bruta y factor de potencia Unidad 2	<i>ION 7650 - N° Serie: PJ-1205A485-03. Equipo de medida de planta clase 0.2, conectado a TTCC clase 0.5 y TTPP clase 0.2.</i>
Potencia SSAA	<i>No se mide.</i>

www.estudios-electricos.com

Figura 9-25 – Acta de tareas para la central completa (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]	656.79	656.84	656.26	656.25	656.68

Observaciones

Desvíos del protocolo:

- Se registra desvío respecto a la potencia máxima alcanzada por la central dada la limitación operativa proporcionada por el nivel de cota del embalse.
- Se le solicita a Enel información complementaria:
 - Registros históricos del nivel de cota del embalse
 - Curva de generación máxima de Central Ralco en función del nivel de cota.

Desarrollo de la prueba: Las unidades logran 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 central operó a una máxima potencia de 657 MW, dada la condición de nivel de cota del embalse, cuyo valor registrado durante las pruebas fue 716.25 msnm (cota nominal 725 msnm). La regulación de frecuencia estuvo operativa con un estatismo configurado de 7% y el AGC deshabilitado.

Debido a que las condiciones del Sistema no permitieron aumentar la inyección de reactivos no fue posible que las unidades alcancen a operar en factor de potencia de 0.95. Para cada unidad se logró consignar el valor de potencia reactiva entre 55 a 60 MVAR, lo que permitió tener un factor de potencia cercano a 0.98.

Estabilidad durante las pruebas: Se observó operación estable de las unidades. 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 2 a través del transformador de SSAA N°02 (interruptor 002JD cerrado e interruptor de acople de barras 004JD cerrado), estando el interruptor de alimentación externa 005JD (Alimentación desde S/E Ralco) abierto.

Conclusiones: Se verificó con éxito que las unidades de Central Ralco pueden 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 9-26 – Acta de tareas para la central completa (3 de 3)



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco