

**TRACTEBEL ENGINEERING S.A.**

Avenida Andrés Bello 2325, piso 7, Providencia  
Providencia, Zip Code 7511308 - Santiago – CHILE  
tel. +56 2 2715 8000 - fax +56 2 2715 8001  
engineering-cl@tractebel.engie.com  
tractebel-engie.com

## INFORME TÉCNICO

Código de Documento: P018082-2-GE-INF-00001

**Ciente:** Coordinador Eléctrico Nacional  
**Proyecto:** Pruebas de Potencia Máxima en Central TER Santa Fe  
**Asunto:** Informe de Prueba  
**Comentarios:**

B	09/12/2021	Revisión cliente	Alfredo Osses	Tomás Salinger	Luis Garrido	Eduardo Andrzejewski
A	02/11/2021	Revisión Interna	Felipe Alday	Tomás Salinger	Luis Garrido	Eduardo Andrzejewski
<b>REV.</b>	<b>DD/MM/AA</b>	<b>ESTATUS</b>	<b>AUTOR</b>	<b>VERIFICADOR</b>	<b>APROBADOR</b>	<b>VALIDADOR</b>

## Informe de Prueba

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO .....	1
1. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA PRUEBA .....	2
2. DEFINICIONES Y ABREVIACIONES.....	2
3. DOCUMENTOS Y NORMAS APLICADAS .....	4
4. PARTICIPANTES DEL ENSAYO .....	4
5. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL.....	5
5.1. Descripción de la Unidad .....	5
5.2. Calderas de Biomasa y Turbina .....	6
5.3. Condiciones de Referencia .....	6
6. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....	7
7. MEDICIONES.....	7
7.1. Verificación de Condiciones Normales de proceso .....	7
7.2. Potencia Activa Bruta, Neta y Factor de Potencia.....	8
7.3. Mediciones Ambientales y Temperatura de Agua de Enfriamiento.....	9
8. CÁLCULOS .....	10
8.1. Potencia Máxima Corregida .....	10
9. ANEXOS.....	12

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este informe es reportar la Potencia Máxima obtenida como resultado de las pruebas realizadas del 15 al 19 de noviembre de 2021 en la **Central TER Santa Fe**, ubicada en la comuna de Nacimiento, Región del Bío-Bío.

La **Central TER Santa Fe** utiliza energía renovable no convencional (ERNC) en forma de biomasa para producir vapor en una caldera, y posteriormente electricidad en una turbina de vapor. La generación eléctrica es inyectada al Sistema Interconectado en el punto de conexión barra Nacimiento 220 kV, que a su vez conecta con la S/E Charrúa 220 kV.

La metodología utilizada se rige por el Anexo Técnico “Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras” y el correspondiente Protocolo de Pruebas.

La Potencia Máxima Bruta y Neta declarada de la Central CMPC TER Santa Fe se indica en la Tabla 1.

	<b>Potencia Máxima Bruta</b> [MW]	<b>Potencia Máxima Neta</b> [MW]
<b>Sin corregir</b>	68,776	62,624
<b>Corregida</b>	<b>68,785</b>	<b>62,633</b>

Tabla 1: Potencia Máxima bruta y neta de la Central TER Santa Fe



Figura 1: Central TER Santa Fe

# 1. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA PRUEBA

Conforme resolución de la Comisión Nacional de Energía, las empresas generadoras deberán validar el valor de Potencia Máxima de sus unidades en conformidad a las disposiciones del Anexo Técnico: “Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras” de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad De Servicio - Resolución exenta N°375.

El presente documento tiene como objetivo reportar los resultados obtenidos durante las Pruebas de Potencia Máxima de la **Central TER Santa Fe**.

# 2. DEFINICIONES Y ABREVIACIONES

## Definiciones

Condiciones normales del proceso	Flujos, temperaturas, presiones dentro de los rangos normales del proceso, definidos según registros de datos históricos.
Consumos eléctricos auxiliares	Potencia eléctrica auxiliar demandada por el bloque de potencia (caldera, turbina y sus subsistemas), para la generación de potencia eléctrica.
Mediciones Primarias	Mediciones necesarias para los cálculos y correcciones de la potencia máxima.
Mediciones Secundarias	Mediciones complementarias que se utilizan para corroborar el funcionamiento normal de la unidad generadora.
Potencia Máxima Bruta	Máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener una unidad generadora, como promedio de un período mínimo de 5 horas continuas.
Unidad	Turbina de vapor acoplada a su respectivo generador eléctrico.

## Abreviaciones

CB	Caldera de Biomasa
DCS	<i>Distributed Control System</i> . Sistema de Control Distribuido
FCD	Factor de corrección por temperatura de enfriamiento del condensador
FP	Factor de Potencia
FFP	Factor de corrección por factor de potencia
HR	Humedad Relativa [%]
Pmax	Potencia Máxima
Pneta	Potencia Neta
SCADA	Supervisión, control y adquisición de datos
SSAA	Servicios Auxiliares
TG	Turbogenerador, en este caso Turbina de Vapor
[...]M, [...]R	Subíndice M y R indican variable medida o de referencia.

### 3. DOCUMENTOS Y NORMAS APLICADAS

Los documentos, que son aplicables para la realización de las pruebas, son los siguientes:

- Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras
- ASME PTC 46 – Overall Plant Performance
- ASME PTC 4 – Fired Steam Generators
- ASME PTC 6 – Steam Turbines
- P018082-2-GE-PRG-00001 - Protocolo de Prueba Pmax TER Santa Fe

### 4. PARTICIPANTES DEL ENSAYO

El personal participante de las pruebas de Potencia Máxima se describe a continuación:

Participante	Cargo	Nombre
<b>Tractebel</b>	Líder del equipo de pruebas	Eduardo Andrzejewski
	Ingeniero Coordinador de Pruebas	Luis Garrido
	Ingeniero de Pruebas	Tomás Salinger
<b>Empresa Generadora</b> Bioenergías Forestales Spa	Subgerente de mercados eléctricos	Sergio Zamora
	Jefe del área de generación de energía	Gabriel Estrada
<b>Coordinador Eléctrico Nacional</b>	Ingeniero Depto. De Control de la Operación	Eduardo González
	Ingeniero Depto. De Control de la Operación	Camilo Levil

Tabla 2: Participantes del ensayo

En el ANEXO B se encuentra el Acta de Prueba con el listado de asistencia.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

### 5.1. Descripción de la Unidad

La central TER Santa Fe, de Bioenergías Forestales, utiliza energía renovable no convencional en forma de biomasa para producir electricidad mediante una turbina de vapor. La generación eléctrica es inyectada al Sistema Interconectado en el punto de conexión barra Nacimiento 220 kV, que a su vez conecta con la S/E Charrúa 220 kV.

Esta central es una planta exclusiva de generación eléctrica, ubicada en la planta CMPC Santa Fe Celulosa. Está compuesta por una caldera de biomasa (CB2) y una turbina de condensación (TG4) acoplada a su respectivo generador eléctrico. La central posee dos interconexiones de vapor con el resto de la planta. La interconexión de vapor principal permaneció cerrada según lo definido por el protocolo de pruebas, mientras que la interconexión de baja presión permaneció abierta. Esta interconexión de baja presión recibe una pequeña porción de vapor saturado la cual es usada en el estanque desaireador y corresponde a condiciones normales de operación.

La Figura 2, muestra un esquema simplificado de la central y la Tabla 3 indica las características principales de la central TER Santa Fe.

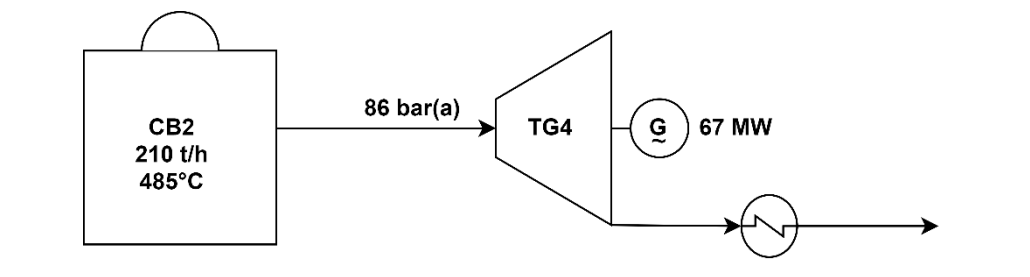


Figura 2: Esquema simplificado central TER Santa Fe

## 5.2. Calderas de Biomasa y Turbina

Central SF Energía	Caldera Biomasa CB2	Turbina Vapor TG4
Fabricante	Metso Power	MAN
Modelo	HYBEX	DK100/400R
Tipo	Lecho Fluidizado Burbujeante	Condensación
Capacidad Nominal <sup>1</sup>	210 tonVAP/h 86 bar(a) @485°C	92 MW
Generación Normal	67,0 MW	
Potencia Neta Declarada	60,7 MW	
Mínimo Técnico	21,5 MW	
Consumos Eléctricos Internos	6,3 MW	
Combustibles	Biomasa Interna y Externa	

Tabla 3: Características de operación normal de equipos principales Central TER Santa Fe

Datos técnicos adicionales de la caldera de biomasa y la turbina de vapor se entregan en el ANEXO E

## 5.3. Condiciones de Referencia

En la Tabla 4 se indican las condiciones de referencia de la central.

Parámetro	Valor	Fuente
<b>Factor de Potencia Generador TG4</b>	0,95	Condición Anexo Técnico
<b>Temperatura agua de enfriamiento del Condensador TG4</b>	22 °C	Condición referencia del ciclo <sup>2</sup>
<b>Temperatura aire ambiente</b>	12 °C	Condición ambiente promedio <sup>3</sup>
<b>Temperatura y presión vapor sobrecalentado</b>	86 bar(a) 485,0 °C	Condición referencia del ciclo

Tabla 4: Condiciones de referencia

<sup>1</sup> Si bien 210 t/h es el MCR de la caldera, esta puede alcanzar 250 t/h en el caso que se utilice biomasa de humedad <35%.

<sup>2</sup> Temperatura de enfriamiento para el condensador acorde a PART II Technical Section – Turbine Generator System, Capítulo 3: Design Criteria.

<sup>3</sup> Temperatura promedio anual acorde al manual de la caldera, capítulo 10.1 Design Data of the Boiler.



## 6. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Las pruebas de potencia máxima se realizaron el día 15 de noviembre del 2021, durante un periodo de 5 horas continuas conforme a lo requerido por el Anexo Técnico. A continuación, se presenta el cronograma de los ensayos.

<b>Inicio de la Prueba</b>	15-nov-2021 10:00 hrs
<b>Finalización de la Prueba</b>	15-nov-2021 15:00 hrs

Tabla 5: Fechas y horarios del ensayo

## 7. MEDICIONES

En la presente sección se muestran los registros de mediciones realizadas durante las pruebas. Para efectos de cálculo se considera la totalidad de las mediciones registradas durante las 5 horas.

Los certificados de calibración de los instrumentos se encuentran en el ANEXO G.

### 7.1. Verificación de Condiciones Normales de proceso

En esta sección se reportan los parámetros operacionales obtenidos durante la prueba. En particular, la evolución de las condiciones de vapor de la caldera de biomasa se muestra en la Figura 3.

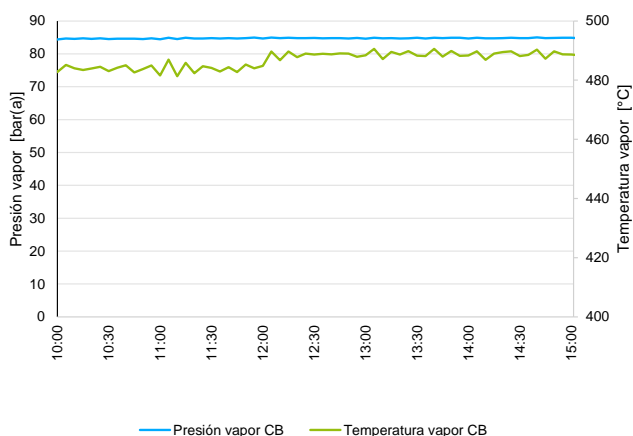


Figura 3: Condiciones de vapor de la caldera de biomasa en la prueba de potencia máxima

Los valores promedio de las condiciones de vapor en la prueba se comparan con los valores nominales de la caldera en la Tabla 6.

	Valor promedio prueba	Valor nominal
<b>Presión de vapor [bar(a)]</b>	84,8	86
<b>Temperatura de vapor [°C]</b>	486,8	485

Tabla 6: Condiciones promedio de vapor de la caldera de biomasa, frente a sus valores nominales

Los valores registrados durante las pruebas están dentro de las condiciones normales de operación de la caldera.

## 7.2. Potencia Activa Bruta, Neta y Factor de Potencia

A continuación, se muestran los resultados promedio de las variables eléctricas medidas en los días de pruebas.

	Valor promedio prueba
<b>Potencia Activa Bruta TG4 medida</b>	68,776 MW
<b>Factor de Potencia medido TG4</b>	0,9411
<b>Potencia Activa Neta medida (Tarifario)</b>	62,624 MW
<b>Consumos servicios auxiliares</b>	6,162 MW

Tabla 7: Valores promedio de variables eléctricas

En la Figura 4 se grafica la evolución de las potencias registradas en la prueba.

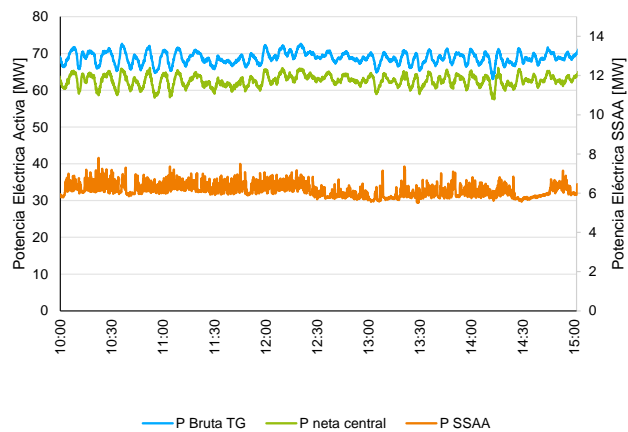


Figura 4: Gráficos de potencia activa bruta, neta y de servicios auxiliares medidos en la prueba de potencia máxima

### 7.3. Mediciones Ambientales y Temperatura de Agua de Enfriamiento

Los registros de las condiciones meteorológicas fueron obtenidos de la estación meteorológica Lautaro, mientras que los valores de temperatura de agua de condensación se obtuvieron directamente de instrumentación de planta.

En la Tabla 8 se indican las condiciones promedio durante la prueba. En la Figura 5 y Figura 6 se reporta la evolución de las condiciones ambientales y de la temperatura de agua de refrigeración durante la ejecución de la prueba respectivamente.

Parámetro	Valor promedio prueba
Temperatura Ambiente	16,3 °C
Humedad Relativa Ambiente	42,5 %
Temperatura agua de enfriamiento	22,04 °C

Tabla 8: Temperatura, humedad ambiental y temperatura agua enfriamiento promedio durante las pruebas.

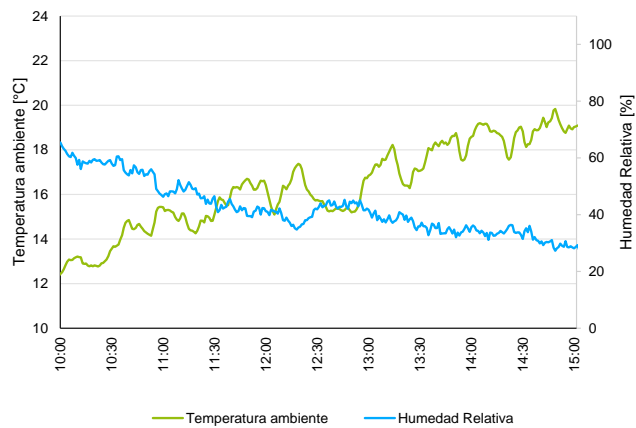


Figura 5: Registro de la temperatura ambiente y humedad relativa en la prueba de potencia máxima

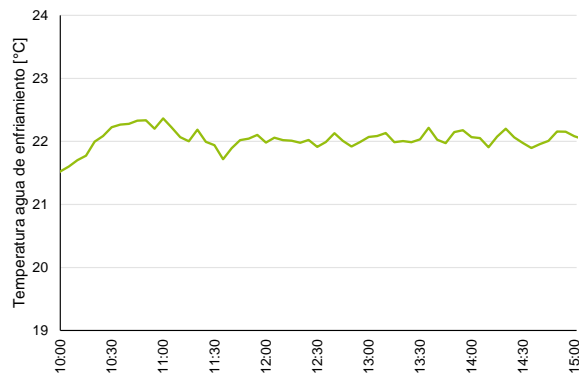


Figura 6: Temperatura agua de enfriamiento del condensador de la turbina de vapor 4 durante la prueba de potencia máxima

## 8. CÁLCULOS

### 8.1. Potencia Máxima Corregida

#### Condiciones de Referencia

La potencia medida en TG4 debe ser corregida acorde a las condiciones de referencia, ver en la Tabla 9.

Parámetro	Valor	Referencia	Vapor medido en prueba
Factor de Potencia Generador	0,95	Condición Anexo Técnico	0,9411
Temperatura de agua de enfriamiento	22 °C	Condición referencia del ciclo <sup>4</sup>	22,04 °C

Tabla 9: Condiciones de referencia para Central CMPC Laja

#### Corrección por temperatura de agua de enfriamiento

La diferencia entre la temperatura de agua de enfriamiento medida y la temperatura de referencia de la turbina se considera marginal, por lo que no se aplican factores de corrección por este parámetro ( $FCD_M$  igual a cero).

#### Corrección por Factor de Potencia

La corrección por Factor de Potencia se aplica de acuerdo con la curva de corrección del generador, adjunta en el Anexo E. Los factores de corrección se pueden ver en la Tabla 10.

Parámetro	Valor
Potencia bruta TG4 [MW]	68,776
Factor de Potencia referencia	0,95
Eficiencia en el valor de referencia (FFP <sub>R</sub> )	98,56
Factor de Potencia Medido TG4	0,9411
Eficiencia en el valor medido (FFP <sub>M</sub> )	98,54

Tabla 10: Factores de corrección por Factor de Potencia

<sup>4</sup> Temperatura de enfriamiento para el condensador acorde a PART II Technical Section – Turbine Generator System, Capítulo 3: Design Criteria.

### Potencia Máxima Corregida

Calculados los factores de corrección, se procede a corregir la Potencia Máxima de la TG4 según la siguiente ecuación:

$$P_{Bruta\ Corregida} = P_{Bruta\ Medida} \cdot \frac{FFP_R}{FFP_M} (1 + FCD_M)$$

De esta forma, la potencia bruta medida y corregida de la TG4 se puede ver en la Tabla 11

Potencia Medida TG4 [MW]	Potencia Corregida TG4 [MW]
68,776	68,785

Tabla 11: Potencia Máxima Corregida

La Potencia Neta de Excedentes es calculada según la siguiente ecuación:

$$P_{Neta\ Excedentes\ Corregida} = P_{Bruta\ Corregida\ TG4} + (P_{SSAA} + P_{Perd})$$

Donde:

$$P_{SSAA} + P_{Perd} = P_{Bruta\ TG4} - P_{Neta}$$

De esta forma se obtienen los valores calculados para la **Potencia Activa Neta**, los cuales se muestran en la Tabla 12. La memoria de cálculo detallada que se encuentra en el ANEXO I.

Potencia Neta medida [kW]	Potencia Neta corregida [kW]
62,624	62,633

Tabla 12: Potencia Máxima Corregida Excedente

## 9. ANEXOS

ANEXO A – LISTADO DE INSTRUMENTOS

ANEXO B – ACTA DE PRUEBA

ANEXO C – DIAGRAMA ELÉCTRICO UNILINEAL

ANEXO D – LAYOUT DE LA CENTRAL

ANEXO E – DATOS TÉCNICOS DE LA UNIDAD

ANEXO F – CURVAS DE CORRECCIÓN

ANEXO G – CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

ANEXO H – P&ID SISTEMAS DE COMBUSTIBLE

ANEXO I – CÁLCULOS Y GRÁFICOS

# ANEXO A – LISTADO DE INSTRUMENTOS

**Anexo A** Listado de instrumentos y variables Prueba de Potencia Máxima

Descripción	Identificación del Instrumento	TAG	Tipo de Variable	Precisión del instrumento	Intervalo de Medición	Observaciones
Potencia Activa Neta lado Alta Tensión	Medidor ION o similar	EI 901	PRIMARIA	Clase 0.2	5 segundos	
Potencia Activa Bruta TG	Medidor ION o similar	EIT 721	PRIMARIA	Clase 0.2	5 segundos	
Potencia SSAA	Medidor ION o similar	EI 900	PRIMARIA	Clase 0.2	5 segundos	
Factor de Potencia TG	Medidor ION o similar	ELT765	PRIMARIA	Clase 0.2	5 segundos	
Temperatura de agua de refrigeración TG	Termocupla	TIT 031	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Potencia Reactiva Bruta del Generador TG	ION externos	EIT 766	SECUNDARIA	No aplica	5 segundos	
Frecuencia del Generador TG	ION externos	ELT 763	SECUNDARIA	No aplica	5 segundos	
Flujo de Vapor de Salida CB	Medidor propio de la unidad	FI 123	SECUNDARIA	No aplica	5 minutos	
Puente de pesaje tornillo de alimentación caldera CB	Medidor propio de la unidad	WIT 0115	SECUNDARIA	No aplica	5 minutos	
Presión Vapor de Salida CB	Medidor propio de la unidad	PI 122	SECUNDARIA	No aplica	5 minutos	
Temp Vapor salida CB	Medidor propio de la unidad	TI 124	SECUNDARIA	No aplica	5 minutos	

**Listado de instrumentos y variables adicionales para Prueba de Consumo Específico Neto**

Descripción	Identificación del Instrumento	TAG	Tipo de Variable	Precisión del instrumento	Intervalo de Medición	Observaciones
<b>Vapor</b>						
Temperatura del vapor principal salida caldera	Medidor instalado central	TI 124	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Presión del vapor principal salida caldera	Medidor instalado central	PI 122	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Flujo del vapor principal salida caldera	Medidor instalado central	FI 123	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Temperatura de vapor de desdeshollinado	Medidor instalado central	TI 158	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Vapor de desdeshollinado antes de válvula Poppet
Presión de vapor de desdeshollinado	Medidor instalado central	PIC 133	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Flujo de vapor de desdeshollinado	Medidor instalado central	FI 132	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Temperatura vapor de baja antes precalentador de aire	Medidor instalado central	TI 776	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Temperatura vapor baja presión
Presión vapor de baja antes precalentador de aire	Medidor instalado central	PI 775	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Presión Vapor baja presión
Flujo vapor de baja presión	Medidor instalado central	FI 774 (Flujo total Baja Presión)	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Flujo total se divide entre SC prim air heater, Feed Water Tank y Blowdown tank header
Flujo de vapor de baja presión al estanque de agua de alimentación	Medidor instalado central	FI 001	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Presión de vapor de baja después de precalentadores a vapor	Medidor instalado central	PI 1039 (Steam Coil primario); PI 1043 (Steam Coil secundario)	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
<b>Gases</b>						
Temperatura gases salida de la caldera	Medidor instalado central	TI 254 - TI 255	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Después del banco de boiler, antes del economizador. Dos medidores de temperatura, a izquierda y derecha
Presión gases salida caldera	Medidor instalado central	PI 257	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Flujo total de gases salida caldera	Medidor instalado central; medidor CEMS	FIC 213 (Gases a lecho)/FI 295 (CEMS)	PRIMARIA		5 minutos	Flujo total de gases es la suma de los dos flujos
Temperatura de gases entrando a precalentadores de aire	Medidor instalado central	TI 258 - TI 259	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Dos medidores de temperatura, a izquierda y derecha, después del economizador y antes de los precalentadores de aire
Presión de gases entrando a precalentadores de aire	Medidor instalado central	PI 261	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Temperatura de gases saliendo de precalentadores de aire	Medidor instalado central	TI 266 - TI 267	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Dos medidores de temperatura, a izquierda y derecha
Presión de gases saliendo de precalentadores de aire	Medidor instalado central	PI 269	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Temperatura de gases al lecho fluidizado	Medidor instalado central	TI 215	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Presión de gases al lecho fluidizado	Medidor instalado central	PI 214	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
%O2 después de los precalentadores	Medidor CEMS	AI 290	PRIMARIA	Según normativa para CEMS	5 minutos	
%CO después de los precalentadores	Medidor CEMS	AIC 291	PRIMARIA	Según normativa para CEMS	5 minutos	
Material particulado (ceniza volante) en gases	Medidor CEMS	AI 294	PRIMARIA	Según normativa para CEMS	5 minutos	
%O2 antes del ECO	Medidor instalado central	AIC 253	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Promedio de tres medidores
%CO antes del ECO	Medidor instalado central	AI 299	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
<b>Aire</b>						
Temperatura ambiente	Estación meteorológica	-	PRIMARIA	± 0,5°C	5 minutos	Aclarar si tomas de datos están atrasadas o adelantadas respecto a la hora real
Humedad relativa ambiente	Estación meteorológica	-	PRIMARIA	± 0,5°C / ± 2%HR	5 minutos	Aclarar si tomas de datos están atrasadas o adelantadas respecto a la hora real
Temperatura del aire después del precalentadores de gas	Medidor instalado central	TI 217 (Aire Primario)	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Presión del aire después del precalentadores de gas	Medidor instalado central	PI 219 (Aire Primario); PIC 231 (Aire Secundario)	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Flujo de aire primario (al lecho)	Medidor instalado central	FIC 216	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Flujo de aire secundario	Medidor instalado central	FIC 233 + FIC 235	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	Load Burners + Secondary Air Nozzles
Temperatura del aire saliendo de precalentadores a vapor	Medidor instalado central	TIC 182 (aire primario); TIC 190 (aire secundario)	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
<b>Agua</b>						
Temperatura del agua de alimentación antes de economizador	Medidor instalado central	TI 056	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Presión del agua de alimentación	Medidor instalado central	PDIC 054	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Flujo agua de alimentación	Medidor instalado central	FIC 051	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Temperatura de agua de atemperación	-	-	PRIMARIA	-	-	Se considera condiciones del feedwater tank
Presión agua de atemperación	-	-	PRIMARIA	-	-	Se considera condiciones del feedwater tank
Flujo de agua atemperador	Medidor instalado central	FI 053	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
<b>Otros</b>						
Temperatura del combustible	-	-	PRIMARIA	-	-	Se considera Temperatura Ambiental
Nivel de silo de ceniza	Medidor instalado central	LI 601	PRIMARIA		Según lo entregado por el sistema	
Temperatura de cenizas	Medidor instalado central	-	PRIMARIA	-	5 minutos	Se considerará temperatura de gases en el punto de recolección de cenizas
Flujo vapor LP a tanque FW	Medidor instalado central	FI 001	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Flujo vapor LP a tanque FW / precalentadores de aire	Medidor instalado central	FI 774	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Temperatura de vapor LP a tanque FW / precalentadores de aire	Medidor instalado central	TI 776	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	
Presión de vapor LP a tanque FW / precalentadores de aire	Medidor instalado central	PI 775	PRIMARIA	Según instrumentación existente	5 minutos	

Nota: Intervalos de muestreo pueden ser los del sistema de adquisición de datos por defecto, mientras sean iguales o menores a los indicados en este documento



# ANEXO B – ACTA DE PRUEBA

## ACTA DE PRUEBA

Código Proyecto: P.018082

<b>Pruebas</b>	Potencia Máxima y CEN en escalón Pmax
<b>Central</b>	CMPC SF Energía
<b>Unidad</b>	Turbina MAN (TG4)
<b>Lugar</b>	Nacimiento, Región de Bio-Bío.
<b>Anexos</b>	Anexo 01 – Lista de Asistentes

### Observaciones Generales:

- Durante la prueba Pmax se registrarán también las variables de CEN
- Se utilizará vapor de baja presión (saturado, 4.5 bar, 20-25 ton) de fuera del volumen de control para precalentar el agua de alimentación desaireador (se debe considerar posteriormente)
- Cada 30 minutos las muestras de biomasa
- Se confirma pesaje de cenizas en camión
- Purga continúa abierta registrará % apertura (Solicitar TAG y datos posteriormente)
- Termocuplas de temperatura de gases ambas malas (266, 267), se arreglaron ambas durante Pmax a las 12:55
- A las 12 comenzó estado de carga CEN, se acordó usar datos de temperatura de gases desde las 13 hasta las 15 (2 horas de datos)
- Muestreo de cenizas: Silo fue vaciado a las 10.20 al 30% de capacidad (Registrar peso camión sin y con cenizas)
- Se acuerda realizar análisis de humedad a todas las muestras, un análisis de poder calorífico por escalón y un análisis elemental por día.
- Se tomó una muestra de cenizas por día y se solicitará análisis elemental para cada una de ellas



**Prueba de Potencia Máxima en CMPC SF Energía**

**Unidad:** Turbina MAN (TG4)

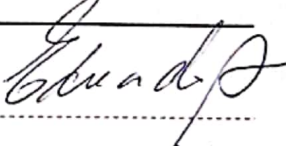
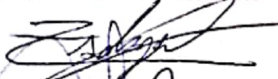
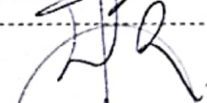
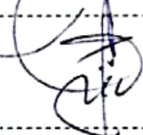
**Fecha:** 15/11/2021

**Hora de Inicio Actividades:** 08:00 (10:00 prueba)

**Hora fin de Actividades:** 15:00

Hora HH:MM	Producción de Vapor CB [ton/h]	Potencia Activa Bruta TG4 [MW]	Potencia Neta Medida [MW]	Temperatura agua enfriamiento condensador [°C]	T amb [°C]	HR [%]
10:13	247,3	70,33	64,3	21,7	19,49	58,79
11:01	249,3	71,03	64,08	22,4	21,06	47,26
12:00	253,6	71,68	65,59	22,2	16,42	41,96
13:00	243,3	69,25	63,6	22,0	16,84	41,73
13:59	248,4	71,24	64,92	22,2	18,58	35,61
14:58	240,4	68,22	62,14	22,2	19,02	28,13

## Anexo 01: Lista de Asistentes

Nombre	Empresa	Cargo	Firma
Eduardo Andrzejewski	Tractebel	Experto técnico	
Luis Garrido	Tractebel	Ingeniero de proyectos	
Tomás Salinger	Tractebel	Ingeniero de proyectos	
Sergio Zamora	Bioenergías Forestales Spa	Subgerente de mercados eléctricos	
Gabriel Estrada	Bioenergías Forestales Spa	Jefe del área de generación de energía	
Eduardo Gonzalez	Coordinador Eléctrico Nacional	Ingeniero Dpto. de Control de la Operación	
Camilo Levil	Coordinador Eléctrico Nacional	Ingeniero Dpto. de Control de la Operación	

# ANEXO C – DIAGRAMA ELÉCTRICO UNILINEAL



# ANEXO D – LAYOUT DE LA CENTRAL





# ANEXO E – DATOS TÉCNICOS DE LA UNIDAD

# Extracto datasheet turbina

CMPC Celulosa S.A.  
Project: Santa Fe Energy Project

Contract 677  
Turbine Generator System

## Steam Data

### Inlet steam data, HP-B system:

Pressure maximum operation	bar(a)	86
Pressure, normal	bar(a)	84
Temperature, normal	°C	484
Steam flow, maximum	t/h	350
Steam flow, normal	t/h	225 – 350

### LP extraction, controlled:

Steam net operation pressure:		
Maximum	bar(a)	7.0
Normal	bar(a)	6.0
Minimum	bar(a)	5.0
Steam net design pressure	bar(a)	8.5
Steam flow, maximum	t/h	150
Steam flow, normal	t/h	25 - 130
Steam flow, maximum downstream	t/h	270

### LLP extraction, uncontrolled, no control valve:

Pressure (with 220 t/h to condenser) at design cooling water temperature	bar(a)	1.5
Steam flow, maximum	t/h	45
Steam flow, normal	t/h	10 – 35
Condensate return to condenser	°C	60 - 65

Condenser data:

Cooling water flow	t/h	11 500
Water temperature, maximum	°C	26
Water temperature, normal	°C	22
Water temperature, minimum	°C	15 *
Condensate pump discharge systems pressure at battery limit	bar (a)	5,0
Steam flow, normal	t/h	140 – 230
Steam flow, maximum	t/h	270
Steam outlet temperature with 230 t/h steam flow	°C	36

\* for winter start-up conditions with colder than 15 °C cooling water inlet conditions reduced cooling water flow will be required in order to properly regulate maximum condenser vacuum conditions

The thermal design code for the condenser shall be HEI with a cleanliness factor of 0,74.

Condenser tube material will be stainless steel.

For deviations from the nominal data for HP steam to the turbine the IEC 60045-1 recommendations will be applied.

Maximum water temperature for generator and oil coolers is 28 °C.

3.3 Consumer List

**Electricity consumers**

Consumer	Qty	Power kW approx.	Type of current and voltage	Remarks
Condensate pump 1	1	60	660V AC	permanently
Condensate pump 2	1	60	660V AC	
Main oil pump	1	30	660V AC	permanently
Auxiliary oil pump	1	30	660V AC	
Emergency oil pump	1	7,5	125V DC	safe busbar
Main control oil pump	1	15	660V AC	permanently
Auxiliary control oil pump	1	15	660V AC	

Prepared by	POWER GENERATION SYSTEMS	Doc. ID	F110108-01235
Project name	110108 SANTA FE	Date	2011-01-31
Subject	OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL	Revision	Rev. 1
		Ext. doc. ID	

---

## **10.1 DESIGN DATA OF THE BOILER**

### **10.1.1 General**

#### **10.1.1.1 Mill Location**

The CMPC's Santa Fe mill is situated in the town of Nacimiento, Región del Bío Bío, Chile approximately 560 kilometers South of Santiago. The town of Los Angeles is approximately 30 kilometers North East of the millsite.

Elevation above sea level is approximately 59.4 m.

#### **10.1.1.2 Site ambient conditions**

Climate: The climate in the region is temperate.

Outdoor temperatures:

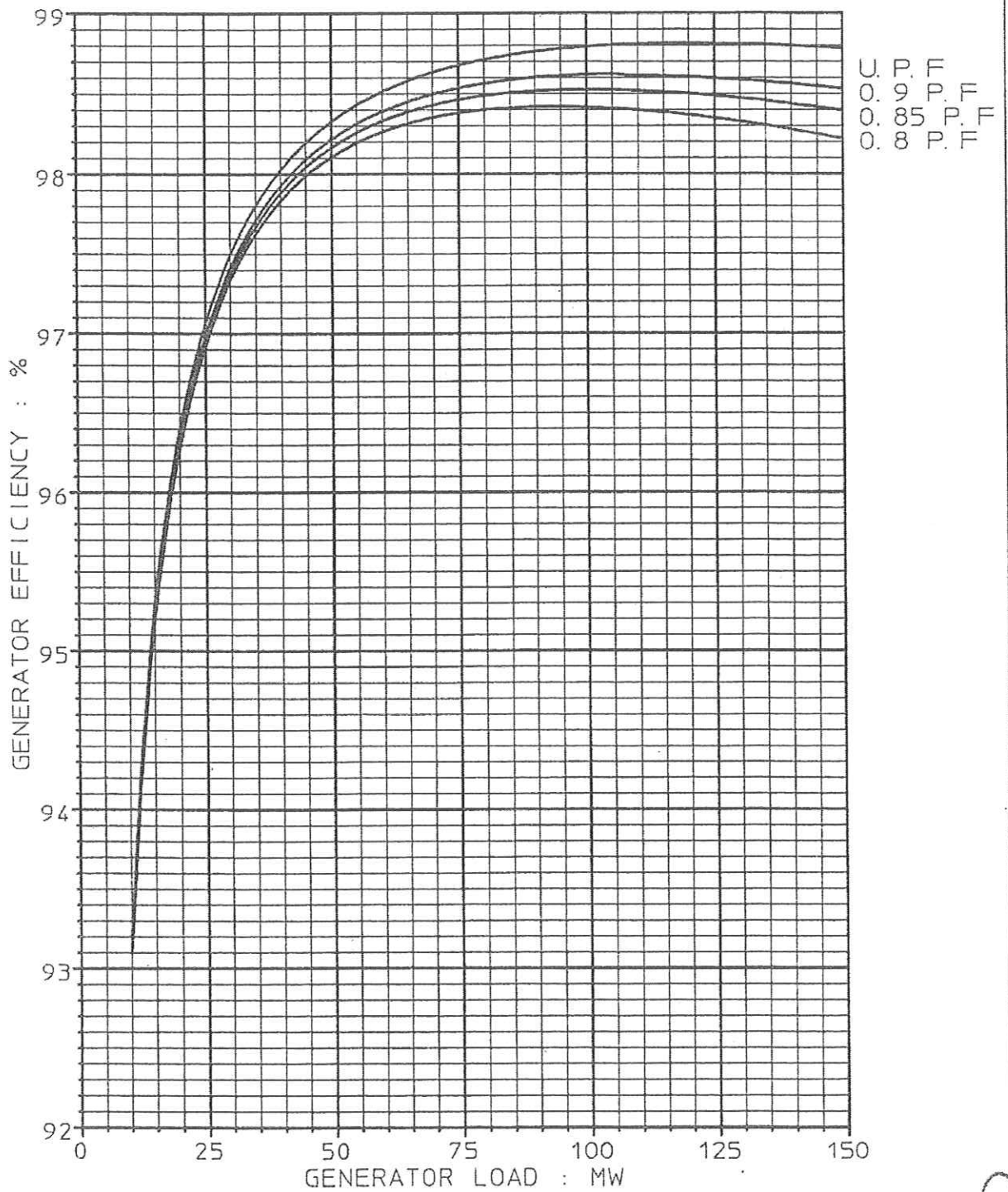
- Average Annual Temperature: +12°C
- Average Summer Temperature: +25°C
- Maximum Summer Temperature: +37°C
- Average Winter Temperature: + 9°C
- Minimum Winter Temperature: - 4°C
- Average Wet Bulb Temperature +20°C

Rainfall:

- Mean annual total precipitation 1 200 mm
- Maximum annual total precipitation 1 500 mm
- Greatest 24 hr precipitation 260 mm
- Monthly average

# ANEXO F – CURVAS DE CORRECCIÓN

VARIATION OF GENERATOR EFFICIENCY WITH LOAD



BDAX 82-445ERH  
13.2 KV, 3 Ph, 50 Hz.

Efficiencies shown are guaranteed subject to the tolerance specified in IEC 60034-1.

*[Handwritten signatures and initials]*

# ANEXO G – CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

# MEDIDOR P BRUTA

FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38421

ANTECEDENTES DEL CLIENTE	
N° / Fecha de Solicitud	: Contrato CW2274495
Fecha Calibración	: 20.10.2021
Medidor	: ION 7650
Cliente	: CMPC S.A.
Instalación	: 52_G1
Subestación	: Planta Santa Fe Energía

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR	
Marca	: Schneider Electric
Modelo	: M7650A0C0B5E0A0E
N° de Serie	: MJ-1707A162-05
Estado	: En Servicio
Año Fabricación	: 2017
Clase Exactitud (%)	: 0,2
Constante Med.	: 1

PATRON DE CALIBRACIÓN	
Marca	: MTE
Modelo	: PTS 3.3
N° Serie	: 29564
Clase de Exactitud	: 0,05
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnoled

CONDICIONES DE MEDIDA	
Lugar de Calibración	: Planta Santa Fe Energía
Tipo de Medida	: W,ESTRELLA/ACTIVO
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)
Corriente Nominal	: 5 (A)
N° de Elementos	: 3
Método Calibración	: Comparación Directa
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)
Temperatura (C°)	: 22,5
Humedad (%)	: 40,3
Calibrador	: A. Nuñez - M.Montecino

RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	0,050	± 0,2	0,036	± 0,2
2	123	100	0,5	0,046	± 0,3	0,031	± 0,3
3	123	10	1	0,035	± 0,2	0,025	± 0,2
4	123	10	0,5	0,072	± 0,3	0,040	± 0,3
5	1	100	1	0,007	± 0,3	0,003	± 0,3
6	2	100	1	0,080	± 0,3	0,058	± 0,3
7	3	100	1	0,032	± 0,3	0,031	± 0,3
8	1	100	0,5	-0,002	± 0,4	0,007	± 0,4
9	2	100	0,5	0,018	± 0,4	-0,010	± 0,4
10	3	100	0,5	0,065	± 0,4	0,073	± 0,4

RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	0,031	± 2,0	0,026	± 2,0
2	123	100	0,5	0,038	± 2,0	0,018	± 2,0
3	123	10	1	0,019	± 2,0	0,022	± 2,0
4	123	10	0,5	0,032	± 2,0	0,007	± 2,0
5	1	100	1	0,032	± 3,0	0,021	± 3,0
6	2	100	1	0,036	± 3,0	0,031	± 3,0
7	3	100	1	0,011	± 3,0	0,023	± 3,0
8	1	100	0,5	0,040	± 3,0	0,028	± 3,0
9	2	100	0,5	0,018	± 3,0	0,058	± 3,0
10	3	100	0,5	0,000	± 3,0	0,017	± 3,0

### 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



# MEDIDOR SSAA

FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38420

ANTECEDENTES DEL CLIENTE	
N° / Fecha de Solicitud	: Contrato CW2274495
Fecha Calibración	: 20.10.2021
Medidor	: ION 7650
Cliente	: CMPC S.A.
Instalación	: Celda 08_01
Subestación	: Planta Santa Fe Energía

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR	
Marca	: Schneider Electric
Modelo	: M7650A0C0B5E0A0E
N° de Serie	: MJ-1707A447-05
Estado	: En Servicio
Año Fabricación	: 2017
Clase Exactitud (%)	: 0,2
Constante Med.	: 1

PATRON DE CALIBRACIÓN	
Marca	: MTE
Modelo	: PTS 3.3
N° Serie	: 29564
Clase de Exactitud	: 0,05
Trazabilidad	: Laboratorio Tecnored

CONDICIONES DE MEDIDA	
Lugar de Calibración	: Planta Santa Fe Energía
Tipo de Medida	: W,ESTRELLA/ACTIVO
Tensión Aplicada	: 63,5 (V)
Corriente Nominal	: 5 (A)
N° de Elementos	: 3
Método Calibración	: Comparación Directa
Frecuencia (Hz)	: 50 (HZ)
Temperatura (C°)	: 22,1
Humedad (%)	: 33,3
Calibrador	: A. Nuñez - M.Montecino

RESULTADOS DE LA COMPONENTE ACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	0,091	± 0,2	0,004	± 0,2
2	123	100	0,5	0,014	± 0,3	0,003	± 0,3
3	123	10	1	0,014	± 0,2	0,006	± 0,2
4	123	10	0,5	0,031	± 0,3	0,046	± 0,3
5	1	100	1	-0,032	± 0,3	-0,032	± 0,3
6	2	100	1	0,038	± 0,3	0,036	± 0,3
7	3	100	1	-0,016	± 0,3	-0,015	± 0,3
8	1	100	0,5	-0,022	± 0,4	-0,038	± 0,4
9	2	100	0,5	0,013	± 0,4	0,018	± 0,4
10	3	100	0,5	0,063	± 0,4	0,060	± 0,4

RESULTADOS DE LA COMPONENTE REACTIVA							
N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	-0,009	± 2,0	-0,014	± 2,0
2	123	100	0,5	0,017	± 2,0	0,003	± 2,0
3	123	10	1	-0,003	± 2,0	-0,005	± 2,0
4	123	10	0,5	0,090	± 2,0	0,023	± 2,0
5	1	100	1	-0,014	± 3,0	-0,011	± 3,0
6	2	100	1	0,011	± 3,0	0,005	± 3,0
7	3	100	1	-0,037	± 3,0	-0,033	± 3,0
8	1	100	0,5	0,012	± 3,0	0,025	± 3,0
9	2	100	0,5	-0,015	± 3,0	0,013	± 3,0
10	3	100	0,5	-0,013	± 3,0	-0,003	± 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

# MEDIDOR P NETA

FT-LAB-7.8c



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

FOLIO: 38422

## ANTECEDENTES DEL CLIENTE

N° / Fecha de Solicitud : Contrato CW2274495  
Fecha Calibración : 20.10.2021  
Medidor : ION 7650  
Cliente : CMPC S.A.  
Instalación : 52JT1  
Subestación : Planta Santa Fe Energía

## ANTECEDENTES DEL MEDIDOR

Marca : Schneider Electric  
Modelo : P7650A0COB5E0A0E  
N° de Serie : PJ-1102A823-02  
Estado : En Servicio  
Año Fabricación : 2011  
Clase Exactitud (%) : 0,2  
Constante Med. : 1

## PATRON DE CALIBRACIÓN

Marca : MTE  
Modelo : PTS 3.3  
N° Serie : 29564  
Clase de Exactitud : 0,05  
Trazabilidad : Laboratorio Tecnoled

## CONDICIONES DE MEDIDA

Lugar de Calibración : Planta Santa Fe Energía  
Tipo de Medida : W,ESTRELLA/ACTIVO  
Tensión Aplicada : 63,5 (V)  
Corriente Nominal : 5 (A)  
N° de Elementos : 3  
Método Calibración : Comparación Directa  
Frecuencia (Hz) : 50 (HZ)  
Temperatura (C°) : 22,8  
Humedad (%) : 52,8  
Calibrador : A. Nuñez - M.Montecino

## RESULTADOS DE LA COMPONENTE

### ACTIVA

N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Activa Directa		Componente Activa Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	-0,021	± 0,2	-0,027	± 0,2
2	123	100	0,5	-0,043	± 0,3	-0,054	± 0,3
3	123	10	1	-0,063	± 0,2	-0,062	± 0,2
4	123	10	0,5	-0,109	± 0,3	-0,090	± 0,3
5	1	100	1	-0,047	± 0,3	-0,047	± 0,3
6	2	100	1	-0,059	± 0,3	-0,051	± 0,3
7	3	100	1	0,017	± 0,3	0,016	± 0,3
8	1	100	0,5	-0,043	± 0,4	-0,048	± 0,4
9	2	100	0,5	-0,168	± 0,4	-0,185	± 0,4
10	3	100	0,5	0,003	± 0,4	-0,007	± 0,4

## RESULTADOS DE LA COMPONENTE

### REACTIVA

N	Fase	Cte.%	Factor	Componente Reactiva Directa		Componente Reactiva Reversa	
				Error (%)	Límite Norma (%)	Error(%)	Límite Norma (%)
1	123	100	1	-0,036	± 2,0	-0,043	± 2,0
2	123	100	0,5	-0,073	± 2,0	-0,067	± 2,0
3	123	10	1	-0,067	± 2,0	-0,076	± 2,0
4	123	10	0,5	-0,065	± 2,0	-0,100	± 2,0
5	1	100	1	-0,035	± 3,0	-0,032	± 3,0
6	2	100	1	-0,095	± 3,0	-0,097	± 3,0
7	3	100	1	0,003	± 3,0	0,001	± 3,0
8	1	100	0,5	-0,035	± 3,0	-0,028	± 3,0
9	2	100	0,5	-0,158	± 3,0	-0,157	± 3,0
10	3	100	0,5	-0,090	± 3,0	-0,074	± 3,0

## 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

# ANEXO H – P&ID SISTEMAS DE COMBUSTIBLE



# ANEXO I – CÁLCULOS Y GRÁFICOS

Inicio	15-11-2021 10:00:00
Término	15-11-2021 15:00:00

Mediciones	Unidad	
Potencia Bruta TG4 Medida	[MW]	68,776
Potencia SSAA Medida	[MW]	6,162
Potencia Neta Medida	[MW]	62,624
Pérdidas + SSAA	[MW]	6,152

Correcciones	Unidad	REF	
Factor de Potencia TG (Medido)		0,95	0,9411
Eficiencia Generador Electrico TG4 Referencia (0,95)			98,56
Eficiencia Generador Electrico TG4 en Medición			98,54
Factor Corr/Factor de potencia (FFP)			1,0001
Temperatura agua de enfriamiento	[°C]	22	22,04
Factor Corr/Temp. Agua de enfriamiento (FCD)			0,0000
Potencia Bruta Corregida TG4	[MW]		68,785
Variación (Corregido/Medido % - 1)			0,01%

<b>Potencia Neta Corregida</b>	<b>[MW]</b>	<b>62,633</b>
--------------------------------	-------------	---------------

Otros	Unidad	
Temperatura ambiente promedio	[°C]	18,6
Humedad relativa ambiente promedio	[%]	42,2
Presión Vapor CB	[bar(a)]	84,8
Temperatura Vapor CB	[°C]	486,8

**Pruebas de Potencia Máxima Central CMPC Laja**

