

INFORME TECNICO 0828b – 2025 (REV 00)

Pruebas de Control Terciario de Frecuencia en giro de las Unidades TER LAS CENIZAS (UI-UIII)

Cliente

ELÉCTRICA CENIZAS S.A.

<i>ESTADO DEL DOCUMENTO</i>				
<i>Revisión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
00	01.07.2025	Para entrega	JPA	JPD

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Resumen.....	4
3. Responsables del ensayo	6
4. Descripción técnica de los equipos principales.....	6
5. Objeto del ensayo.	7
5.1. Incremento de carga	7
5.2. Disminución de carga.....	7
6. Descripción del ensayo	7
7. Memoria técnica del procedimiento.	7
7.1. Determinación de la tasa de subida (MW/min)	8
7.2. Determinación de la tasa de bajada (MW/min)	9
7.3. Análisis control terciario de frecuencia en giro.....	9
7.4. Tiempos de operación.....	10
7.5. Consideraciones para la determinación de la tasa de subida y bajada (MW/min) ...	10
8. NORMAS APLICABLES.....	11
Anexos	12
ACTA DE PRUEBA	13
CERTIFICADO DE CALIBRACION DEL INSTRUMENTO.....	14

1. Introducción

El presente protocolo tiene como finalidad describir el procedimiento, pruebas y verificaciones para evaluar la prestación del Servicio Complementario de Control Terciario de Frecuencia (CTF) en la Central Térmica Las Cenizas. La función del CTF es reponer las reservas del Control Secundario de Frecuencia, activándose de forma centralizada y manual conforme a las instrucciones del Coordinador Eléctrico Nacional.

La Central Térmica Las Cenizas está ubicada en Copiapó, III Región de Atacama, y está conformada por 60 generadores diésel de 185 kW cada uno (G1-G60) organizados en 4 naves de 15 generadores los cuales cada par de naves corresponden a la unidad 1 y unidad 3 respectivamente, además de una unidad 2 con motor WARTSILA de 5.2 MW, el cual no participa del control terciario de frecuencia. La planta opera con combustible diésel.

Para elevar la tensión de los 60 generadores de la unidad 1 y 3, se utilizan cuatro (4) transformadores de 3 MVA, 11/0,4 kV – Dyn1, con una impedancia de 7,26%. Cada transformador agrupa 15 generadores. El generador WARTSILA se conecta directamente a la barra de 11 kV de la planta a través del interruptor 52C3.

El control de potencia para las unidades I y III, se realiza inmediatamente aguas debajo de los interruptores 52C2 y 52C4, cada interruptor mencionado cuenta con un controlador Comap IntelliMains NT maestro, este a su vez se conecta a través de CAN Bus a 30 controles Comap IntelliGen 200 (uno por cada generador).

La central se conecta al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) a través de la Subestación Cardones en el nivel de tensión de 110KV, esta interconexión se realiza a través de una línea aérea de transmisión de 110 kV de aprox. 600 m de longitud conformada por conductores tipo 1c AAAC AZUSA de 13 kcmil.

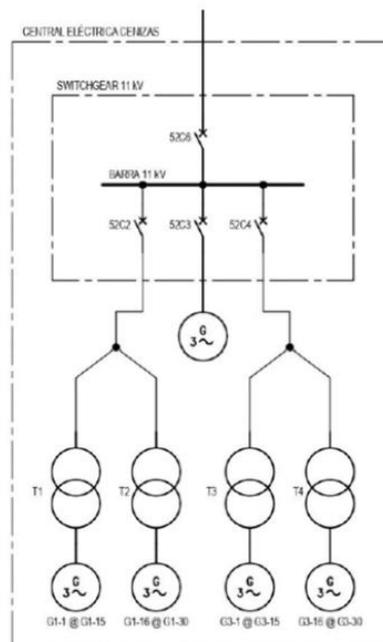


Ilustración 1 Topología CT Cenizas



Ilustración 1 Vista aérea de la central

2. Resumen

Se entiende por Control Terciario de Frecuencia (CTF) la acción destinada a restablecer las reservas del control secundario tras una instrucción del Coordinador. La activación deberá iniciar en un plazo máximo de 5 minutos, alcanzarse el 100% del recurso comprometido en 15 minutos y mantenerse la prestación durante 60 minutos, conforme a la normativa vigente.

En la Central Las Cenizas, se evaluará la respuesta de los 60 generadores diésel de forma conjunta, analizando la precisión en la ejecución de consignas y la estabilidad operativa durante variaciones de carga. Según la resolución exenta N°827/2019 (REx 827) de la comisión nacional de energía (CNE) el CTF corresponde a “acciones de control activadas por instrucción, en la operación en tiempo real del Coordinador destinadas a restablecer las reservas del Control Secundario de Frecuencia o incorporar reservas adicionales con el objeto de preparar al sistema eléctrico para responder a desequilibrios respecto de los cuales las reservas por otras categorías de Control de Frecuencia sean insuficientes”.

En la siguiente imagen extraída de la REX 827 se muestra la representación referencial de los tiempos de servicios de CF.

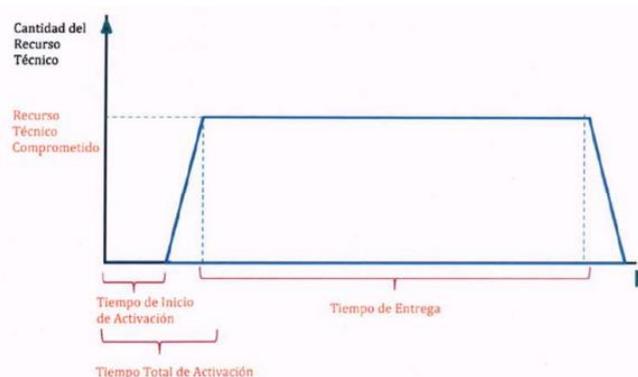


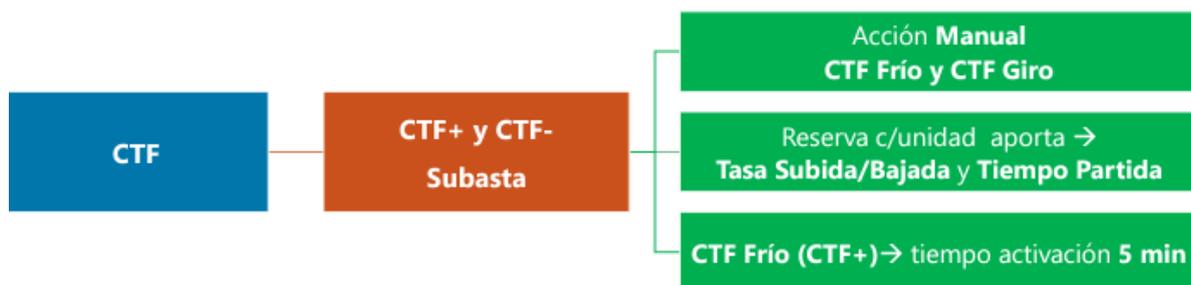
Ilustración 2 TIEMPOS SERVICIOS DE CF

Cuyos valores dependiendo del control de frecuencia que se implemente variaran de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 1 CARACTERISTICAS TECNICAS CF

Característica Técnica	Modo de Activación	Tiempo de Inicio de Activación	Tiempo Total de Activación	Mínimo Tiempo de Entrega	Máximo Tiempo de Entrega
CRF	Automático Local	-	1[s]	5[min]	
CPF	Automático Local	-	10[s]	5[min]	
CSF	Automático Centralizado	-	5[min]	15[min]	
CTF	Por instrucción, en la operación en tiempo real, del Coordinador	5[min]	15[min]	-	1[hr]

Se tiene entonces que para habilitar la prestación del SSCC de CTF+ se debe contar con el equipamiento necesario para la entrega de potencia por instrucción del Coordinador en los tiempos establecidos por la Res. Ex. N° 827, que corresponden a 5 min para tiempo de inicio de activación, 15 min para tiempo total de activación y 1 hr para tiempo máximo de entrega del SSCC.



- La medición de la potencia neta, será en la barra de salida de la planta con el medidor de facturación en SE CARDONES existente.
- La potencia de los servicios auxiliares se descontará de forma prorrateada en función de la cantidad de generadores funcionando en la prueba.
- La potencia bruta de cada Unidad (U1 y U3) se realizará en cada celda de acople de barra de 11kV de acuerdo al unifilar de planta.

Tabla 2 Celdas de Medición Pbruta

Punto de Medicion	UNIDAD
Celda 02	I
Celda 04	III
Ver detalles en plano: P172-A0-CP-PLN-001_R5 (Ind Ptos Ctrl)	

3. Responsables del ensayo

Se entiende por responsable del ensayo a los individuos quienes ejecutan las pruebas y verifican que se cumplan los lineamientos establecidos en los protocolos de pruebas aprobados previamente por el coordinador.

Tabla 3 responsables del ensayo

Responsables del ensayo		
Nombre	Empresa	Cargo
Juan Pablo Dalmaso	DMA ENERGIA	Experto Técnico

4. Descripción técnica de los equipos principales

La Central Térmica Las Cenizas está ubicada en Copiapó, III Región de Atacama, y está conformada por 60 generadores diésel de 185 kW cada uno (G1-G60) organizados en 4 naves de 15 generadores los cuales cada par de naves corresponden a la unidad 1 y unidad 3 respectivamente, además de una unidad 2 con motor WARTSILA de 5.2 MW, el cual no participa del control terciario de frecuencia. La planta opera con combustible diésel.

Las características de los equipos bajo prueba se detallan a continuación:

Tabla 4 Datos de placa grupo Motor-Generador de 185 kW

DATOS DE PLACA GRUPO GENERADOR	
GENERADOR	
MARCA	WEG
MODELO	AG10-250MI00AI
Un	400 V
P	185 kW
PF	0.8

MOTOR	
MARCA	VOLVO
MODELO	D9A
Pmecánica	220 kWm
VELOCIDAD	1500 rpm

5. Objeto del ensayo.

Con el objetivo de evaluar la capacidad de la planta para participar en el servicio complementario de reserva en giro conocido como CTFg, se llevaron a cabo los siguientes ensayos.

5.1. Incremento de carga

Para verificar el gradiente ascendiente de la toma de carga (MW/min) en la central, se ejecutó un escalón de potencia activa mediante un único cambio de referencia de potencia activa desde mínimo técnico hasta potencia nominal.

5.2. Disminución de carga

Para verificar el gradiente descendiente de la toma de carga (MW/min) en la central, se ejecutó un escalón de potencia activa mediante un único cambio de referencia de potencia activa desde potencia nominal hasta mínimo técnico.

Es importante destacar que las unidades no cuentan con la capacidad de ajustar la velocidad a la que se incrementa o disminuye la carga, por lo tanto, todas las pruebas se llevaron a cabo con la configuración de la tasa de toma de carga preconfigurada en el control cuyo valor es desconocido (N/A).

6. Descripción del ensayo

La prueba de control terciario de frecuencia en giro se realizó el día 26-06-25.

CENTRAL	UNIDADES	ESTADO	MEDICION TASAS DE SUBIDA Y BAJADA DE CARGA
CENIZAS	1 a 60	OPERATIVO	PEM735

El paso desde mínimo técnico a potencia nominal se realiza mediante un único cambio de referencia de potencia activa. Una vez alcanzado el valor de potencia activa nominal se mantuvo durante una hora.

7. Memoria técnica del procedimiento.

Para el registro de las rampas de carga y descarga se instaló el medidor PEM735 en la salida de la planta replicando la señal del medidor de facturación.

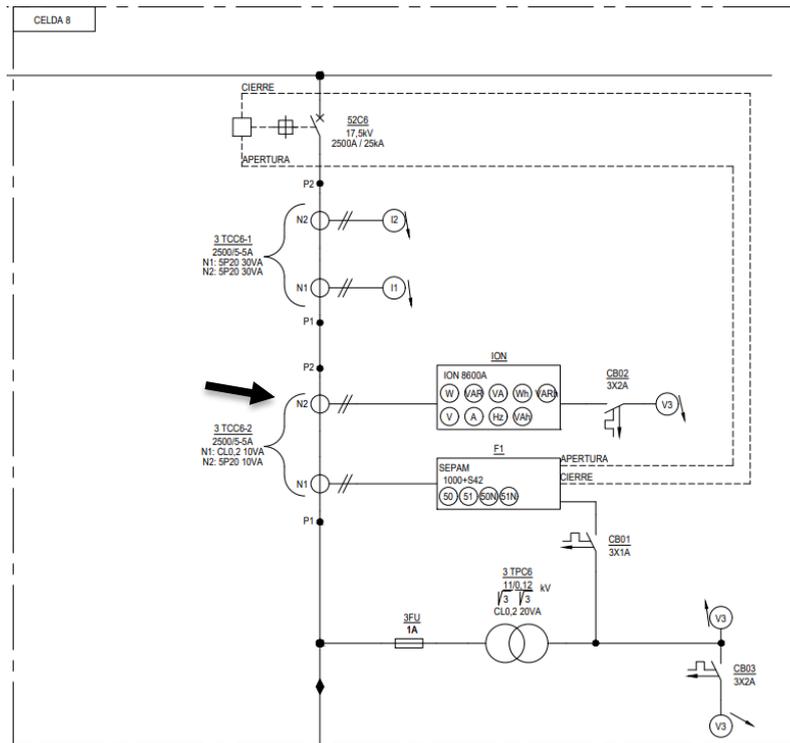


Ilustración 3 Medición potencia neta y rampas de carga

7.1. Determinación de la tasa de subida (MW/min)

El escalón de subida se realizó desde el mínimo técnico correspondiente a 2,989 MW hasta potencia máxima correspondiente a 9,0355 MW con todas las unidades en funcionamiento, manteniendo esta potencia durante una hora.

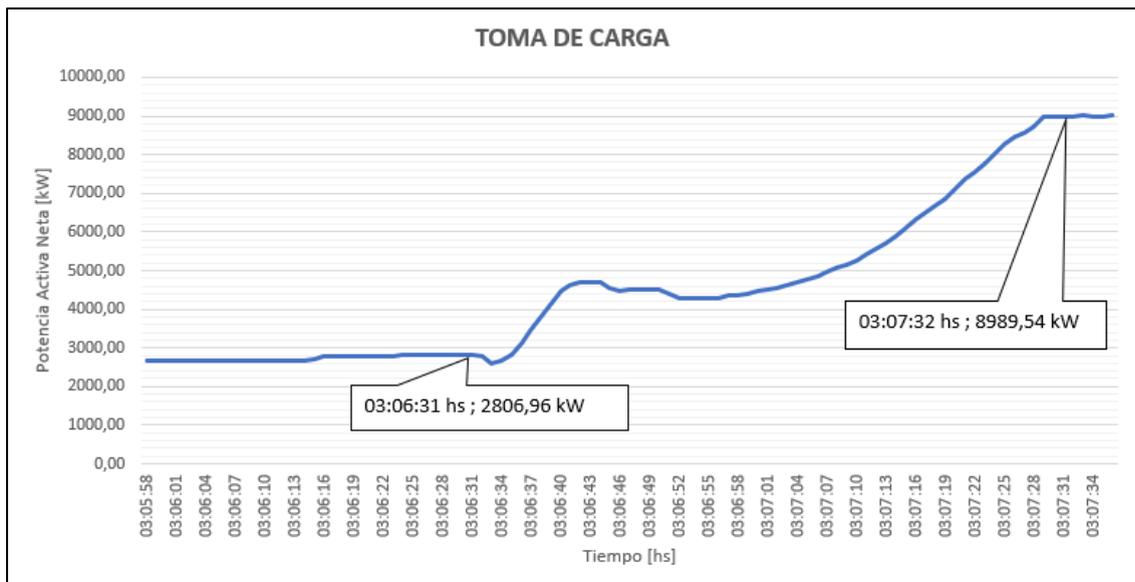


Ilustración 4 Toma de carga

Tabla 5 Tasa Ascendente

Unidad	Valor Teórico [MW/min]	Valor medido ascendente [MW/min]	Valor medido ascendente [MW/s]
PLANTA TOTAL	N/A	3,9892	0,0665

7.2. Determinación de la tasa de bajada (MW/min)

El escalón de bajada se realizó desde la potencia nominal hasta mínimo técnico correspondiente como se muestra en la siguiente grafica.

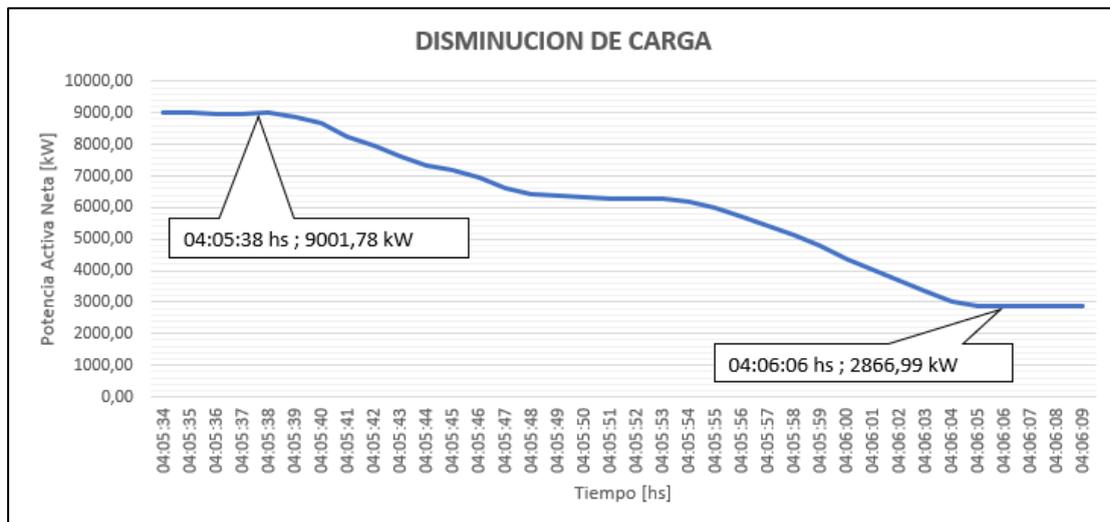


Ilustración 5 Disminución de carga

Tabla 6 Tasa Descendente

Unidad	Valor Teórico [MW/min]	Valor medido descendente [MW/min]	Valor medido descendente [MW/s]
PLANTA TOTAL	N/A	6,6108	0,1102

7.3. Análisis control terciario de frecuencia en giro

Partiendo de los valores de potencia activa máxima neta medida y mínimo técnico se obtiene el aporte máximo de reserva de control terciario de frecuencia el cual corresponde a la diferencia entre la potencia máxima y el mínimo técnico, en este caso con todas las unidades en funcionamiento:

Potencia Activa Máxima Medida U1 A U60 [MW]	9,0355
Mínimo Técnico U1 A U60 [MW]	2,989
Aporte Máximo de reserva de CTFg [MW]	9,0355 – 2,989 = 6,0468

El límite de regulación superior corresponde a 9,0355 MW y el límite de regulación inferior a 2,989 MW. Debido a la rápida respuesta de la máquina el aporte máximo de reserva para CTFg es la diferencia entre $9,0355 - 2,989 = 6,0468$ MW

7.4. Tiempos de operación

Dando cumplimiento al protocolo de pruebas “20250217-0828b-25-PROTOCOLO_CTFg-CT CENIZAS-REV02” se completa la siguiente tabla con los tiempos de operación de la central desde la orden de puesta en marcha.

PERIODOS	Tiempo requerido (min:s)
<i>Preparativos previo arranque de unidades</i>	18:00
<i>Desde orden de partir hasta sincronización</i>	04:00
<i>Calentamiento con unidad sincronizada</i>	07:00
<i>Desde calentamiento hasta alcanzar mínimo técnico</i>	05:00
<i>Total Proceso de Partida</i>	34:00
<i>Desde operación a mínimo técnico hasta operación a potencia nominal</i>	01:54
<i>Total hasta potencia nominal</i>	35:54
<i>Desde la operación a potencia nominal hasta mínimo técnico</i>	01:46
<i>Desde la operación a mínimo técnico a la desconexión</i>	06:00
<i>Desde desconexión de la central hasta el termino proceso de detención</i>	05:00

Estos resultados resaltan la idea de que la planta tiene un comportamiento confiable y que sus respuestas son coherentes y se pueden anticipar de acuerdo a ciertos criterios o parámetros.

7.5. Consideraciones para la determinación de la tasa de subida y bajada (MW/min)

La tasa de toma de subida y bajada de carga declarados en los puntos 7.1 y 7.2 del presente informe, corresponden a los tiempos de respuesta de las unidades generadoras obtenidos durante los ensayos de CTF en giro ("en caliente"), entre mínimo técnico y potencia máxima, de acuerdo a la capacidad técnica de los generadores para subir y bajar carga rápidamente cuando la temperatura de aceite del motor se encuentra dentro de los umbrales de temperatura recomendados por el fabricante ($>40^{\circ}\text{C}$), condición que evita el desgaste prematuro de los motores.

En conclusión, en el informe se muestran los resultados para una operación de emergencia "en caliente" considerada para el SC de CTF, con una tasa de toma de carga en el rango de los segundos.

8. NORMAS APLICABLES

- Anexo Técnico: “NORMA TÉCNICA DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS - diciembre de 2019
- Resolución Exenta 827 - 2019
- ASME - PTC 17 – “Reciprocating Internal Combustion Engines”
- ISO 1550: 2016 – “Internal combustion engines - Determination and method for the measurement of engine power - General requirements”

Anexos

ACTA DE PRUEBA

ACTA DE PRUEBAS 0828b-2025 (REV 01)

Pruebas de Control Terciario de Frecuencia en
giro de las Unidades TER LAS CENIZAS
(UI & UIII)

Cliente

ELÉCTRICA CENIZAS S.A.

ESTADO DEL DOCUMENTO				
Revisión	Fecha	Observaciones	Elaboró	Revisó
00	18-04-2025	Para uso	MMA	JPD
01	09-05-2025	Para uso (Sin UII)	MMA	JPD

1. UNIDADES BAJO PRUEBA

1.1. Unidad I y Unidad III – Cada una compuesta por 30 grupos electrógenos con las siguientes características:

DATOS DE PLACA GRUPO

GENERADOR	
MARCA	WEG
MODELO	AG 10-250M00A1
Un	400 V
P	185 kW
PF	0.8

MOTOR	
MARCA	VOLVO
MODELO	D9A
Pme canica	220 kW/m
VELOCIDAD	1500 rpm

2. EQUIPOS DE MEDICIÓN

Los presentes que firman a pie de página dan fe que los equipos de medición utilizados corresponden a los mencionados en las tablas a continuación.

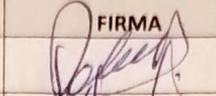
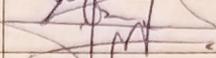
EQUIPO	PARAMETRO A MEDIR	NUMERO DE SERIE	CERTIFICADO
Bender PEM735	Potencia Activa	1803800026	OK

3. HORARIOS DE LA PRUEBA

<i>UNIDAD I & UNIDAD III</i>	
Fecha y Hora de Puesta en Marcha	26/06/25 02:15 am
Fecha y Hora de Inicio de la Prueba	26/06/25 03:00 am
Fecha y Hora de finalizacion de la Prueba	26/06/25 04:15 am

4. OBSERVACIONES

5. PARTICIPANTES DE LA PRUEBA

NOMBRE Y APELLIDO	EMPRESA	FIRMA
Juan Pablo Doluaso	DMA ENERGIA	
UBALDO BENIGAMIN ROJAS	IMECSA SA-	

CERTIFICADO DE CALIBRACION DEL INSTRUMENTO

INFORME DE ENSAYO

CVM - 41-23- 174

- 17 - 00

UNDERFIRE S.A. Autorizado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles como OLCA, según Resolución Exenta N° 2418 de fecha 03 de Enero de 2014

ANTECEDENTES DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELECTRICA

Estado : USADO
 Marca : BENDER
 Tipo : PEM735
 Procedencia : Alemania
 N° de serie : 1803800026
 Año fabricación : 2018
 Tensión : 3x230/400V
 Corriente : 5(6)
 Frecuencia : 50
 Constante : 1000 imp/ Kwh - Kvarh
 Clase Exact.(Act/React) (%) : 0.2/2
 Constante de Lectura : x1
 Dígitos (Ent:Deci.) : Programable
 Lectura dejada (kWh) :

ANTECEDENTES DEL CLIENTE

Cliente : DMA Energia SPA
 Dirección del Cliente : Av.Recoleta 479 Depto 12
 Numero / Fecha Solicitud :

FECHA Y LUGAR DEL ENSAYO

Fecha : 2023-07-11
 Lugar del ensayo : Laboratorio Underfire S.A

EQUIPO DE ENSAYO

Marca / Modelo : Applied.P PTE2300A (PME-041)
 Clase Exact. (%) : 0.05
 Trazabilidad : LC-ME

METODO Y CONDICIÓN DE ENSAYO

Método de Ensayo : PROTOCOLO GEN
 Norma utilizada E.Activa : IEC62053-22
 Norma utilizada E.React. : IEC62053-23
 Laboratorista : JRB
 Temperatura y humedad : 23° ±2°C 30-70% HR

RESULTADO DE LOS ENSAYOS

ENERGÍA ACTIVA DIRECTA/REVERSA

N°	Fases	Cte. % Ib	FP	Error % E. Directa	Error % E. Reversa	U%	Limite Norma %
1	1-2-3	100	1.0	-0.06	-0.04	+0.1	+/- 0.2
2	1-2-3	10	1.0	-0.05	-0.06	+0.1	+/- 0.3
3	1-2-3	100	0.5	-0.06	-0.05	+0.1	+/- 0.2
4	1-2-3	10	0.5	-0.05	-0.08	+0.1	+/- 0.3
5	1	100	1.0	-0.03	-0.08	+0.1	+/- 0.3
6	1	10	1.0	-0.05	-0.08	+0.1	+/- 0.3
7	1	100	0.5	-0.04	-0.07	+0.1	+/- 0.4
8	1	10	0.5	-0.06	-0.09	+0.1	+/- 0.4
9	2	100	1.0	-0.03	-0.03	+0.1	+/- 0.3
10	2	10	1.0	-0.04	-0.04	+0.1	+/- 0.3
11	2	100	0.5	-0.06	-0.02	+0.1	+/- 0.4
12	2	10	0.5	0.01	-0.06	+0.1	+/- 0.4
13	3	100	1.0	-0.05	-0.05	+0.1	+/- 0.3
14	3	10	1.0	-0.05	-0.05	+0.1	+/- 0.3
15	3	100	0.5	-0.01	-0.07	+0.1	+/- 0.4
16	3	10	0.5	-0.01	-0.07	+0.1	+/- 0.4

ENERGÍA REACTIVA DIRECTA/REVERSA

N°	Fases	Cte. % Ib	FP	Error % E. Directa	Error % E. Reversa	U%	Limite Norma %
1	1-2-3	100	1.0	-0.05	-0.05	+0.1	+/- 2.0
2	1-2-3	10	1.0	-0.06	-0.06	+0.1	+/- 2.0
3	1-2-3	100	0.5	-0.06	-0.03	+0.1	+/- 2.0
4	1-2-3	10	0.5	-0.10	-0.02	+0.1	+/- 2.0
5	1	100	1.0	-0.05	-0.06	+0.1	+/- 3.0
6	1	10	1.0	-0.08	-0.08	+0.1	+/- 3.0
7	1	100	0.5	-0.10	-0.04	+0.1	+/- 3.0
8	1	10	0.5	-0.10	-0.05	+0.1	+/- 3.0
9	2	100	1.0	-0.02	-0.03	+0.1	+/- 3.0
10	2	10	1.0	-0.04	-0.04	+0.1	+/- 3.0
11	2	100	0.5	-0.01	-0.05	+0.1	+/- 3.0
12	2	10	0.5	-0.10	-0.05	+0.1	+/- 3.0
13	3	100	1.0	-0.05	-0.02	+0.1	+/- 3.0
14	3	10	1.0	-0.05	-0.05	+0.1	+/- 3.0
15	3	100	0.5	-0.10	-0.04	+0.1	+/- 3.0
16	3	10	0.5	-0.10	-0.03	+0.1	+/- 3.0

OBSERVACIONES

Este informe de ensayo fue realizado con unidades de medida de acuerdo al sistema internacional de unidades (SI) y solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. El Informe de ensayo sin firma y timbre carece de validez.
 El medidor se devuelve con sello y etiqueta UNDERFIRE. Tolerancia máxima permitida = Error+Incertidumbre < Limite Norma
 El medidor CUMPLE el protocolo de Verificación Primaria



[Signature]
 Responsable Técnico
 José Rocuant

Fecha del formato : 25-03-2019

Versión : 1.1

Código : F-EIE-18

www.underfire.cl - Mail: laboratorio@underfire.cl

Av. Pudahuel 9638 - Pudahuel - Santiago - Teléfono: (56-2) 2 2495 4051