

hlm
Ingenieros & Consultores
Asociados S.A.C.

06 de noviembre del 2023

COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME TÉCNICO DE LA PRUEBA
DE POTENCIA MÁXIMA DE LA
UNIDAD TER TOCOPILLA TG3
Operando con Gas Natural

HLM20 - CTT-002-INF-001

CLIENTE:



ESTUDIO:

**PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA DE LA
UNIDAD TER TOCOPILLA TG3**
Operando con Gas Natural

TÍTULO:

INFORME TÉCNICO

DOCUMENTO:

HLM020 - CTT-002-INF-001

REVISIÓN GENERAL

FECHA: 06/11/2023

ELABORADO POR:

PAOLO PRIETO HIROSHIMA

REVISADO POR:

PAOLO PRIETO HIROSHIMA / MARCO QUISPE CARDENAS

APROBADO POR:

MARCO QUISPE CARDENAS



MARCO BASILIO
QUISPE CARDENAS
Ingeniero Mecánico Electricista
CIP N° 235415

ÍNDICE |

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO	5
3. CONTENIDO	5
4. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL.....	6
4.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN.....	6
5. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	7
5.1. PROGRAMA Y DURACIÓN DE LA PRUEBA	7
5.2. PARTICIPANTES DE LA PRUEBA	7
5.3. UBICACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN	8
5.4. VARIABLES Y MAGNITUDES A MEDIR.....	9
5.4.1. VARIABLES PRIMARIAS.....	9
5.4.2. VARIABLES SECUNDARIAS.....	10
5.5. EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS.....	10
6. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA PMÁX	11
6.1. ACTIVIDADES PREVIAS A LA PRUEBA PMÁX.....	11
6.2. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA PMÁX.....	11
7. CONDICIONES DE REFERENCIA Y DE SITIO	12
8. VALIDACIÓN DE VARIABLES MEDIDAS	12
9. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA	13
9.1. VALIDACIÓN DE DATOS	13
9.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA BRUTA MÁXIMA.....	13
9.2.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA BRUTA MÁXIMA MEDIDA ($PBM_{M,TG}$)	13
9.2.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA BRUTA MÁXIMA CORREGIDA ($PBM_{C,TG}$)	13
9.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA NETA MÁXIMA	15
9.3.1. RESULTADO DE LA POTENCIA NETA MÁXIMA MEDIDA ($PNM_{M,TG}$)	15
9.3.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA NETA MÁXIMA CORREGIDA ($PNM_{C,TG}$)	15
10.METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE LA PRUEBA.....	16
10.1. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA PRUEBA	16
10.1.1. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE SISTEMÁTICA.....	16
10.1.2. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE ALEATORIA	17
11.RESULTADOS DE LA PRUEBA	18
11.1. RESULTADOS PARCIALES DE LA PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA	18
11.2. RESULTADO DE INCERTIDUMBRE	19
11.3. RESULTADO DE LA PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA	20
12.ANEXOS.....	21
ANEXO 1: Acta de Prueba PMáx TER Tocopilla TG3.	
ANEXO 2: Cuadro de Cálculos y Resultados.	
ANEXO 3: Protocolo de Pruebas.	
ANEXO 4: Certificados de Equipos de Medición.	

RESUMEN EJECUTIVO

HLM Ingenieros & Consultores Asociados S.A.C., por encargo de la empresa ENGIE ENERGÍA CHILE S.A. y en conformidad con el **ANEXO TÉCNICO: "Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras"**, ha elaborado el presente Informe Técnico de la Prueba de Potencia Máxima de la **Unidad TER Tocopilla TG3**, operando con Gas Natural.

Este informe, se elabora en base a la información obtenida en la prueba realizada, en la Unidad de Generación, el **martes 31 de octubre del 2023**.

C.T. Tocopilla

La **Central Termoeléctrica Tocopilla** se encuentra ubicado dentro del complejo térmico de Antofagasta, Chile.

Cuadro 1: Unidades de Generación de la C.T. Tocopilla

Central Termoeléctrica	Unidad de Generación	Tipo	Combustible
Tocopilla	TG3	Turbina de Gas	Diesel/Gas Natural

Condiciones de Referencia y de Sitio

Para los cálculos de la Potencia Máxima, se ha considerado las siguientes condiciones de referencia y de sitio.

Cuadro 2: Condiciones de Referencia y de Sitio

Parámetro	Condiciones de Referencia	Condiciones de Sitio
Temperatura Ambiente	15,00 °C	16,00 °C
Humedad Relativa	60,00 %	68,00 %
Presión Ambiente	1013,53 mbar	1013,00 mbar

Resultados de Potencia Máxima

De acuerdo a la **METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA**, se muestran los resultados de Potencia Máxima de la **Unidad TER Tocopilla TG3**.

Cuadro 4: Resultados de la Prueba de Potencia Máxima de la Unidad de Generación TER Tocopilla TG3

Item	Potencia Bruta Medida (kW)	Potencia Bruta Corregida (kW)	Potencia Neta Medida (kW)	Potencia Neta Corregida (kW)	Potencia Máxima Corregida (kW)	Consumo Auxiliares Totales (kW)
TER Tocopilla TG3 con Gas Natural	36 352,66	36 299,08	35 916,28	35 862,70	36299,08 ± 208,6	436,38 [113,17 (SSAA Propios) + 323,22 (Pérd. Tranf.)]

INFORME TÉCNICO DE LA PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA DE LA UNIDAD TER TOCOPILLA TG3 OPERANDO CON GAS NATURAL

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento describe las tareas previas, ensayos y cálculos realizados para obtener los valores de Potencia Máxima de la Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural en base a los términos establecidos en el **Anexo Técnico “Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”**.

Con la finalidad de cumplir con este requerimiento y de acuerdo al artículo 10 del Anexo Técnico, la empresa **HLM Ingenieros & Consultores Asociados S.A.C.** fue designada para ejecutar la Prueba de Potencia Máxima (PM_{Áx}) correspondiente a la **Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural**, llevándose a cabo el **martes 31 de octubre del 2023**.

2. OBJETIVO

El presente **Informe Técnico de la Prueba de Potencia Máxima**, tiene el objetivo de presentar los resultados del ensayo y determinar la Potencia Máxima de la **Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural**.

3. CONTENIDO

El contenido de este documento considera:

- a) La descripción de la central y las especificaciones técnicas de sus Unidades de Generación.
- b) Las variables primarias y secundarias.
- c) Las pautas que se cumplieron durante la ejecución del PM_{Áx}.
- d) La descripción del desarrollo del PM_{Áx}.
- e) El programa de pruebas.
- f) Otros aspectos que se consideran necesarios para la ejecución del PM_{Áx}.
- g) Cálculo y determinación de la potencia máxima de la unidad de generación de acuerdo con los alcances que se especifican en el Anexo Técnico.

4. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

La **Central Termoeléctrica Tocopilla** se encuentra ubicado dentro del complejo térmico de Tocopilla, Chile.

4.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN

La **Unidad TER Tocopilla TG3** está compuesta por una turbina de gas que opera con Diésel y Gas Natural.

Las especificaciones técnicas de la Unidad de Generación, se indica a continuación:

■ Especificaciones Técnicas de la Turbina

Las especificaciones técnicas de la **turbina** se muestran en el siguiente **Cuadro 4-1**:

Cuadro 4-1: Especificaciones Técnicas de la Unidad TER Tocopilla TG3

Descripción		Unidad TG3
Marca		General Electric
Modelo		6A1PB218
Tipo de combustible		Diésel/Gas Natural
Año de Fabricación	Año	1988
Fecha de Entrada en Operación	Año	---
Potencia Nominal	MW	37,50
Tensión Nominal	kV	11,5
Factor de Potencia	-	0,80
Velocidad de Rotación	RPM	5100

5. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

En el siguiente capítulo, se detalla la ejecución de la Prueba **PM_{ax}** de la Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural.

5.1. PROGRAMA Y DURACIÓN DE LA PRUEBA

La Prueba de Potencia Máxima realizado a la Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural, se llevó a cabo el **martes 31 de octubre del 2023**, se desarrolló de acuerdo lo que se muestra en el siguiente **Cuadro 5-1**.

Cuadro 5-1: Programa de la Prueba PM_{ax} de la Unidad TER Tocopilla TG3

PROGRAMA DE ENSAYO					
Unidad de Generación	Inicio	Fin	Duración	Actividad	Potencia (kW)
TER Tocopilla TG3 Con GN	20:00	20:30	00:30	Periodo de estabilización previo a la Prueba PM _{ax} .	
	20:30	01:30	05:00	Prueba a Potencia Máxima.	36 500
	01:30			Fin de la Prueba PM _{ax} .	

Cuadro 5-2: Duración y Frecuencia de la Prueba PM_{ax} de la Unidad TER Tocopilla TG3

Unidad de Generación	Item	Carga (kW)	Duración (Horas)	Frecuencia de Registro de Datos
TER Tocopilla TG3 con GN	Prueba a Potencia Máxima.	36 500	05:00	1 min.

5.2. PARTICIPANTES DE LA PRUEBA

La Prueba de Potencia Máxima se realizó con la presencia de los siguientes participantes:

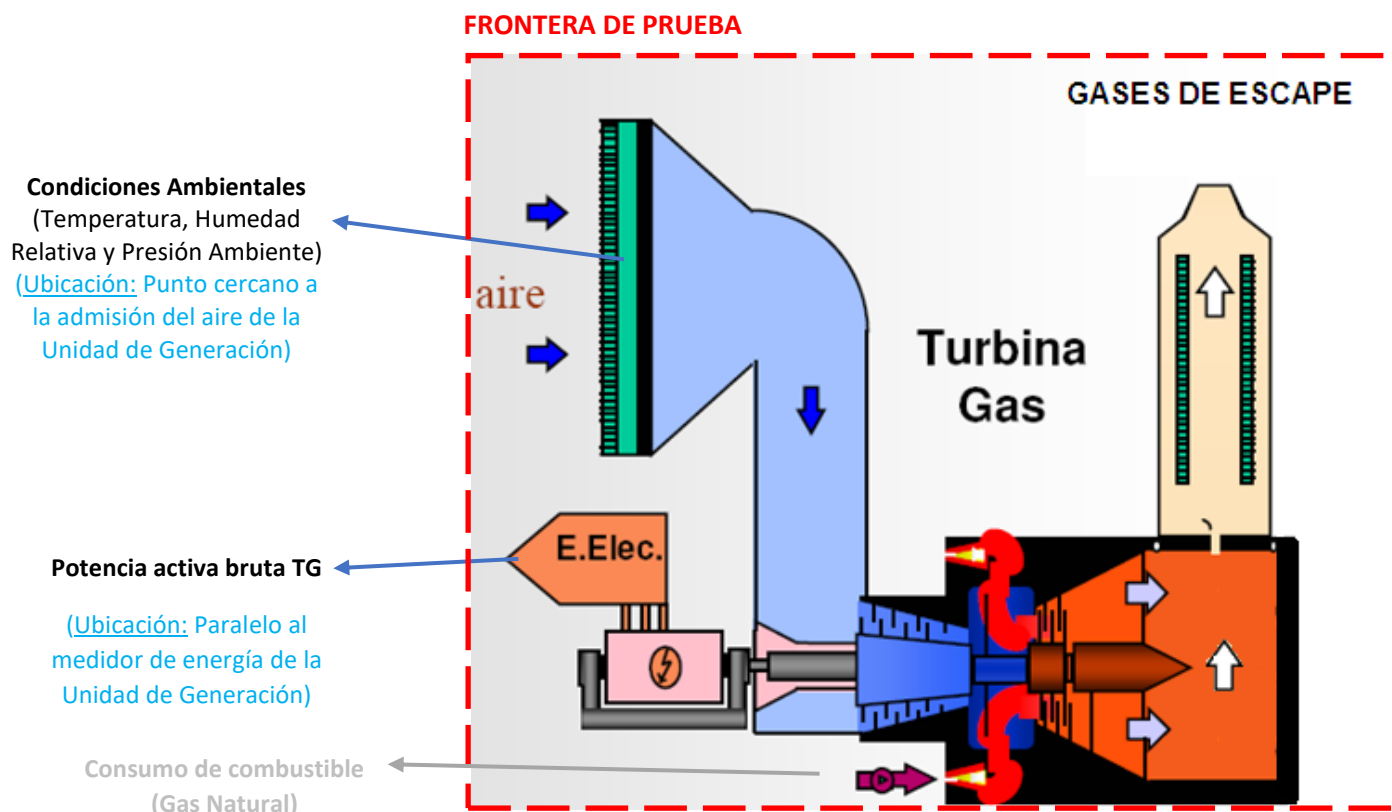
- Representante de la Empresa Generadora.**
- Representante de la Empresa Consultora**, el Experto Técnico acompañado de su Equipo Clave.

Figura 5-1: Participantes de la Prueba PM_{ax}

Representante de la Empresa Generadora Marco Velarde	Representante de la Empresa Consultora (Experto Técnico) Marco Quispe C.
--	--

5.3. UBICACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN

Figura 5-2: Ubicación de Puntos de Medición de la Unidad TER Tocopilla TG3



Para la obtención de los resultados corregidos, acorde con la frontera de prueba graficado anteriormente se requirieron las siguientes mediciones:

- Ingreso de aire para combustión, se requirió medir la temperatura, presión y humedad en donde el aire ingresa al compresor de la turbina a gas.
- Potencia de salida del generador (Potencia Activa Bruta) de la turbina a gas.

Así mismo, se midió:

- Potencia de entrega al sistema interconectado (Potencia Activa Neta) de la Turbina a Gas

5.4. VARIABLES Y MAGNITUDES A MEDIR

Durante la ejecución de la Prueba PM_{áx} de la Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural, se monitoreó y registró las siguientes listas de variables primarias y secundarias.

5.4.1. VARIABLES PRIMARIAS

Durante la ejecución de la Prueba PM_{áx}, se monitoreó y registró las variables primarias que se muestran en el siguiente Cuadro 5-3:

Cuadro 5-3: Lista de Variables Primarias de la Unidad TER Tocopilla TG3

Variables Primarias		
Ítem	Descripción	Unidades
Variables Ambientales		
1	Temperatura ambiente	°C
2	Humedad relativa ambiente	%
3	Presión ambiente	mbar
Variables Eléctricas		
4	Potencia activa bruta	kW
5	Potencia reactiva bruta	kVAR
6	Factor de potencia bruta	-
7	Potencia activa neta	kW
8	Potencia reactiva neta	kVAR
9	Factor de potencia neta	-

Estas variables son las que utilizaron en los cálculos para la determinación de la Potencia Máxima de la Unidad TER Tocopilla TG3.

Todas estas variables primarias cuentan con certificados de calibración o contrastación vigente, con una antigüedad no mayor a la indicada en el mismo certificado o en su defecto 1 año.

5.4.2. VARIABLES SECUNDARIAS

Para el caso de las variables secundarias, se monitoreó y registró las variables secundarias que se muestran en el siguiente **Cuadro 5-4**:

Cuadro 5-4: Lista de Variables Secundarias de la Unidad TER Tocopilla TG3

Variables Secundarias		
Ítem	Descripción	Unidades
1	Tensión	kV
2	Frecuencia	Hz
3	Consumo propios	kW
4	Temperatura de aire de ingreso al compresor	°C

Las variables secundarias no se utilizan en los cálculos para la determinación de la Potencia Máxima de la **Unidad TER Tocopilla TG3**.

Sin embargo, estas variables sirven para verificar las condiciones de estabilidad de la Unidad de Generación durante el PM_{áx}; por tal motivo, no se tienen la exigencia de contar con certificados de calibración o contrastación.

5.5. EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS

Durante la ejecución de la Prueba PM_{áx} de la **Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural**, se monitorearon y registraron las variables primarias y secundarias con los siguientes instrumentos de medición:

- Potencia Activa Bruta de la Unidad de Generación (kW)**, fue monitoreada y registrada con el medidor marca Metrel, modelo MI2892, serie 22320815.
- Potencia de Servicios Auxiliares Propios de la Unidad de Generación (kW)**, fue monitoreada y registrada con el medidor marca Metrel, modelo MI2892, serie 21201064.
- Condiciones Ambientales – Temperatura Ambiente (°C) / Presión Ambiente (hPa) / Humedad Relativa (%)**, fue monitoreada y registrada con una estación meteorológica marca Davis, modelo Vantage Pro2, serie BF210920025.
- Variables Secundarias**, fue monitoreada y registrada con los equipos fijos de las Unidad de Generación.

6. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA PMÁX

6.1. ACTIVIDADES PREVIAS A LA PRUEBA PMÁX

Para la ejecución de la Prueba **PMÁx de la Unidad TER Tocopilla TG3**, se realizaron las siguientes actividades.

Previo a la realización de la Prueba PMÁx, se desarrollaron actividades previas con la finalidad de tener la Unidad de Generación preparada para la Prueba PMÁx, los equipos de medición instalados y verificados; y los participantes involucrados en la Prueba PMÁx, debidamente capacitados.

Asimismo, la Empresa Generadora, durante el desarrollo de la Prueba PMÁx, operó la Unidad de Generación en condiciones normales y estable.

Para ello, el Experto Técnico, el Representante de la Empresa Generadora y el veedor del Coordinador Eléctrico Nacional realizaron las siguientes actividades previas:

- a) **Prueba de comunicaciones de la Unidad de Generación**, días previos a la ejecución de la Prueba PMÁx, el Experto Técnico, el representante de la Empresa Generadora y el coordinador de prueba del Coordinador Eléctrico Nacional realizaron la prueba de comunicación de la Unidad de Generación, en donde se identificó y verificó las señales de las variables a monitorear durante la Prueba PMÁx de la Unidad de Generación.
- b) **Verificación de la Unidad de Generación**, el Experto Técnico verificó que las Unidad de Generación se encuentre operativo y disponible para ejecutar la Prueba PMÁx.
- c) **Verificación de los Equipos de Medición**, el Experto Técnico verificó los equipos de medición encargados de registrar y monitorear todas las variables primarias.
- d) **Difusión del Protocolo de Pruebas**, el Experto Técnico difundió el protocolo de pruebas a todos los participantes involucrados en el desarrollo de la Prueba PMÁx, con la finalidad de dar a conocer los alcances y objetivos del Prueba PMÁx; así mismo, se asignará responsabilidades al personal de la central y al equipo clave del Experto Técnico.

6.2. EJECUCIÓN DE LA PRUEBA PMÁX

Durante la ejecución de la Prueba PMÁx, se desarrollaron las siguientes actividades:

- a) La Prueba PMÁx de la Unidad de Generación se inició cuando alcanzó su estado estable de operación de acuerdo a la experiencia del Jefe de Planta.
- b) Las Variables Primarias medidas durante la Prueba PMÁx, son las indicadas en el **Cuadro 5-3**.
- c) Las Variables Secundarias, medidas para la verificación de las condiciones de estabilidad durante la Prueba PMÁx, son las indicadas en el **Cuadro 5-4**:

7.CONDICIONES DE REFERENCIA Y DE SITIO

De acuerdo al artículo 34 de la Anexo Técnico, la Potencia Máxima bruta determinada en la prueba correspondiente, podrá ser corregida a fin de homologarla con los valores de referencia para los cuales fue calculada la potencia original de garantía.

Para ello se hace uso de las Curvas de Corrección de la Unidad TER Tocopilla TG3, provistas por el fabricante.

Las condiciones de referencia y de sitio a las cuales hay que corregir Potencia Bruta Máxima Medido son los que se indican en el siguiente **Cuadro 7-1**.

Cuadro 7-1: Condiciones de Referencia y de Sitio de la Unidad TER Tocopilla TG3

Parámetro	Condiciones de Referencia	Condiciones de Sitio
Temperatura Ambiente	15.00 °C	16.00 °C
Humedad Relativa	60.00 %	68.00 %
Presión Ambiente	1013.53 mbar	1013.00 mbar

8.VALIDACIÓN DE VARIABLES MEDIDAS

La validación se realiza con el fin de verificar la operación en régimen estable de la Unidad de Generación.

Para ello, las fluctuaciones máximas permitidas de las Variables Primarias y Secundarias son las que se indica en el **Cuadro 8-1**.

Cuadro 8-1: Condiciones de estabilidad para la Unidad TER Tocopilla TG3

Parámetro	Máxima fluctuación respecto al valor promedio (Desviación Estándar)
Potencia eléctrica	± 1.3 %
Presión barométrica	± 0.33 %
Temperatura de ingreso de aire	± 1.3 °F ó ± 0.72 °C
Flujo de combustible	± 1.3 %
Presión absoluta de descarga	± 0.33 %
Velocidad de Rotación	± 0.65 %

Norma de Referencia: ASME PTC 22-2014

9. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA

El cálculo de la Potencia Máxima de la **Unidad TER Tocopilla TG3** se realizó aplicando las correcciones indicadas en curvas de corrección proporcionadas por el fabricante.

9.1. VALIDACIÓN DE DATOS

Las mediciones de las Variables Primarias, cuyos datos registrados se encuentren fuera de los rangos de fluctuación indicados en el **Cuadro 8-1** de este protocolo serán eliminados. Respecto a los datos que serán eliminados, se debe condicionar la prueba a la estabilidad exigida, solo se aceptará eliminar datos fuera de este rango por errores del instrumento o peak de lectura no atribuibles al sistema de control u operación normal de la unidad.

Las mediciones válidas serán todas las mediciones efectuadas menos las mediciones eliminadas.

9.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA BRUTA MÁXIMA

9.2.1. CÁLCULO DE LA POTENCIA BRUTA MÁXIMA MEDIDA ($PBM_{M,TG}$)

Para los datos validados se determinará la potencia bruta máxima considerando igual al promedio horario de la potencia bruta medida en los bornes del generador, donde cada promedio horario, es a su vez el promedio de mediciones de potencia tomadas cada 1 minuto.

$$PBM_{M,TG} = \frac{\sum_{i=1}^n PBM_{M,TG_i}}{n}$$

9.2.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA BRUTA MÁXIMA CORREGIDA ($PBM_{C,TG}$)

Para calcular el valor de Potencia Bruta Máxima Corregida, esta deberá ser ajustada por medio de la aplicación de factores de corrección multiplicativos. Para ello se aplicará la siguiente formula:

$$PBM_{C,TG} = \frac{PBM_{M,TG} + \Delta_1}{\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3}$$

Donde:

- $PBM_{C,TG}$: Potencia Bruta Máxima Corregida, kW.
- $PBM_{M,TG}$: Potencia Bruta Máxima Medida, kW.
- α_1 : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente.
- α_2 : Factor de Corrección por Humedad Relativa.
- α_3 : Factor de Corrección por Presión Ambiente
- Δ_1 : Factor de Corrección por Factor de Potencia.

Según la norma ASME PTC 22, el factor de corrección α_1 se obtiene de la curva de corrección y es el resultado de dividir el factor de corrección de las condiciones de prueba a condiciones de sitio entre el factor de corrección de las condiciones de referencia a las condiciones de sitio; así por ejemplo el **factor de corrección por temperatura ambiente** se deduce de la siguiente manera:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_{1a}}{\alpha_{1b}}$$

Donde:

- α_1 : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente.
- α_{1a} : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente de las condiciones de pruebas a las condiciones de sitio.
- α_{1b} : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente de las condiciones de referencia a las condiciones de sitio.

Para, el **factor de corrección por humedad relativa (α_2)** se deduce de la siguiente manera:

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_{2a}}{\alpha_{2b}}$$

Donde:

- α_2 : Factor de Corrección por Humedad Relativa.
- α_{2a} : Factor de Corrección por Humedad Relativa de las condiciones de pruebas a las condiciones de sitio.
- α_{2b} : Factor de Corrección por Humedad Relativa de las condiciones de referencia a las condiciones de sitio.

Para, el **factor de corrección por presión ambiente (α_3)** se deduce de la siguiente manera:

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_{3a}}{\alpha_{3b}}$$

Donde:

- α_3 : Factor de Corrección por Presión ambiente.
- α_{3a} : Factor de Corrección por Presión ambiente de las condiciones de pruebas a las condiciones de sitio.
- α_{3b} : Factor de Corrección por Presión ambiente de las condiciones de referencia a las condiciones de sitio.

Finalmente, el **factor de corrección por factor de potencia (Δ_1)** se deduce de la siguiente manera:

$$\Delta_1 = \Delta_{1a} - \Delta_{1b}$$

Donde:

- Δ_1 : Factor de Corrección por Factor de Potencia.
- Δ_{1a} : Factor de Corrección por Factor de Potencia a las condiciones de pruebas.
- Δ_{1b} : Factor de Corrección por Factor de Potencia a las condiciones de referencia (FDP = 0.95).

9.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA NETA MÁXIMA

9.3.1. RESULTADO DE LA POTENCIA NETA MÁXIMA MEDIDA ($PNM_{M,TG}$)

Se determinará la potencia neta máxima considerando igual al promedio horario de la potencia neta medida en la subestación, donde cada promedio horario, es a su vez el promedio de mediciones de potencia tomadas cada 1 minuto.

$$PNM_{M,TG} = \frac{\sum_{i=1}^n PNM_{M,TG_i}}{n}$$

9.3.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA NETA MÁXIMA CORREGIDA ($PNM_{C,TG}$)

Para calcular el valor de Potencia Neta Máxima Corregida, se aplicará la siguiente formula:

$$PNM_{C,TG} = PBM_{C,TG} - SSAA_{TG}$$

Donde:

- $PNM_{C,TG}$: Potencia Neta Máxima Corregida, kW.
- $PBM_{C,TG}$: Potencia Bruta Máxima Corregida, kW.
- $SSAA_{TG}$: Servicios Auxiliares Totales, kW.

Siendo:

$$SSAA_{TG} = PBM_{M,TG} - PNM_{M,TG}$$

- $SSAA_{TG}$: Servicios Auxiliares Totales, kW.
- $PBM_{M,TG}$: Potencia Bruta Máxima Medida, kW.
- $PNM_{M,TG}$: Potencia Neta Máxima Medida, kW

10. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE LA PRUEBA

La incertidumbre de la prueba, es un cálculo matemático que calcula con una confianza específica, el rango dentro del cual se encuentra los resultados reales. Los niveles de incertidumbre que se pueden lograr a partir de pruebas de conformidad con la Norma PTC 22 dependen del tipo de central, la complejidad del diseño específico y la consistencia de la operación durante la prueba. Para la unidad que estamos evaluando en el modo de ciclo combinado esta Norma muestra que la incertidumbre más grande deseada es igual a 0.8%.

10.1. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA PRUEBA

El cálculo de la incertidumbre total de una prueba, así como la composición de la incertidumbre sistemática y aleatoria, e obtendrán de la siguiente expresión:

$$U_{95} = \sqrt{B_R^2 + (t \cdot S_R)^2}$$

Donde el primer término corresponde a la contribución de la incertidumbre sistemática y el segundo, a la del azar.

Tomando un intervalo de confianza de 95%, con un número de lecturas de cada medición arriba de 20 la expresión puede transformarse en:

$$U_{95} = 2 \sqrt{\left(\frac{B_R}{2}\right)^2 + (t \cdot S_R)^2}$$

Las incertidumbres se expresan en %.

10.1.1. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE SISTEMÁTICA

La incertidumbre sistemática se calcula con la siguiente expresión:

$$B_R = \sqrt{\sum_i (\theta_i \cdot B_{\bar{p}i})^2}$$

Donde:

- B_R : Incertidumbre sistemática total, %.
- θ_i : Coeficiente de sensibilidad % / %.
- $B_{\bar{p}i}$: Incertidumbre sistemática de cada variable individual %.
- i : La sumatoria al ejecutar todas las variables que intervienen en el cálculo del resultado.

El coeficiente de sensibilidad se obtendrá de:

$$\theta_i = \frac{\bar{P}_i}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial \bar{P}_i}$$

Donde:

- $\bar{P}_i$: Valor medio de la variable obtenida durante la prueba.
- R : Resultado de los cálculos de la prueba.

El valor de $\bar{P}_i$ será calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{N_j} \cdot \sum_{k=1}^{N_j} P_{ik}$$

Donde:

- N_j : Número total de lecturas de la variable i.
- P_{ik} : Valor de la lectura k de la variable i.
- P_{ik} : La sumatoria al ejecutar todas las lecturas registradas durante la prueba de la variable i.

Si una variable debería determinarse promediando las mediciones de diversos instrumentos, el coeficiente de sensibilidad se dividirá entre el número de instrumentos recolectando la medición.

10.1.2. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE ALEATORIA

La incertidumbre aleatoria se dará por:

$$S_R = \sqrt{\sum_i (\theta_i \cdot S_{\bar{P}_i})^2}$$

Donde:

- S_R : Incertidumbre aleatoria total, %.
- $S_{\bar{P}_i}$: Estimación de la desviación estándar de la media de la variable P_i .

Donde:

$$S_{\bar{P}_i} = \frac{1}{\sqrt{N_j}} \sqrt{\sum_{k=1}^{N_j} \frac{(P_{ik} - \bar{P}_i)^2}{N_j - 1}}$$

11. RESULTADOS DE LA PRUEBA

11.1. RESULTADOS PARCIALES DE LA PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA

Cuadro 11-1: Resultados Parciales de la Prueba de Potencia Máxima de la Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural

		1 ^{ra} Prueba	2 ^{da} Prueba	3 ^{ra} Prueba	4 ^{ta} Prueba	5 ^{ta} Prueba
	Fecha	31-10-2023	31-10-2023	31-10-2023	31-10-2023	01-11-2023
	Hora Inicio	08:30 PM	09:30 PM	10:30 PM	11:30 PM	12:30 AM
	Hora Fin	09:30 PM	10:30 PM	11:30 PM	12:30 AM	01:30 AM
Potencia Máxima Corregida	[kW]	36 105,68	36 262,38	36 424,99	36 274,13	36 428,22
Potencia Bruta Medida	[kW]	36 100,72	36 290,44	36 474,89	36 391,81	36 505,44
Potencia Bruta Corregida	[kW]	36 105,68	36 262,38	36 424,99	36 274,13	36 428,22
Potencia Neta Medida	[kW]	35 666,41	35 855,15	36 036,66	35 955,73	36 067,44
Potencia Neta Corregida	[kW]	35 671,37	35 827,09	35 986,76	35 838,06	35 990,22
Consumo Auxiliares	[kW]	114,94	113,04	113,15	112,26	112,45
Incertidumbre Absoluta	[kW]	144,84	125,96	127,17	125,77	126,88
Incertidumbre Relativa	[%]	0,40	0,35	0,35	0,35	0,35

11.2. RESULTADO DE INCERTIDUMBRE

Cuadro 11-2: Resultados de Incertidumbre de la Prueba de Potencia Máxima de la Unidad TER Tocopilla TG3 operando con Gas Natural

Descripción	Valor Nominal	$PBM_{c\ cc}$ Potencia Bruta Corregida	Unidad	B_R Incertidumbre Sistemático de Cada Escalón	$t S_R$ Incertidumbre Aleatorio de Cada Escalón	U_R Incertidumbre Absoluta Total de Cada Escalón
Potencia Bruta Corregida - Primera Prueba	36 500,00	36 105,68	kW	125,21	72,81	144,84
Potencia Bruta Corregida - Segunda Prueba	36 500,00	36 262,38	kW	125,69	8,22	125,96
Potencia Bruta Corregida - Tercera Prueba	36 500,00	36 424,99	kW	126,21	15,63	127,17
Potencia Bruta Corregida - Cuarta Prueba	36 500,00	36 274,13	kW	125,31	10,72	125,77
Potencia Bruta Corregida - Quinta Prueba	36 500,00	36 428,22	kW	126,07	14,25	126,88
Promedio de Potencia Bruta Corregida		36 299,08	kW			
Desviación Estandar de Potencia Bruta Corregida		59,96	kW			
Student's t de Potencia Bruta Corregida		2,78	kW			
Incertidumbre Sistemática de la Potencia Bruta Corregida			kW	125,70		
Incertidumbre Aleatoria de la Potencia Bruta Corregida			kW		166,48	
Incertidumbre Absoluta total de la Potencia Bruta Corregida			kW			208,60
Incertidumbre Relativa total de la Potencia Bruta Corregida			%			0,57

11.3. RESULTADO DE LA PRUEBA DE POTENCIA MÁXIMA

Cuadro 11-3: Resultados de la Prueba de Potencia Máxima de la Unidad TER Tocopilla TG3

Item	Potencia Bruta Medida (kW)	Potencia Bruta Corregida (kW)	Potencia Neta Medida (kW)	Potencia Neta Corregida (kW)	Potencia Máxima Corregida (kW)	Consumo Auxiliares Totales (kW)
TER Tocopilla TG3 con Gas Natural	36 352,66	36 299,08	35 916,28	35 862,70	36299,08 ± 208,6	436,38 [113,17 (SSAA Propios) + 323,22 (Pérd. Tranf.)]

12. ANEXOS

ANEXO 1: Acta de Prueba PM_{Áx} TER Tocopilla TG3.

ANEXO 2: Cuadro de Cálculos y Resultados.

ANEXO 3: Protocolo de Pruebas.

ANEXO 4: Certificados de Equipos de Medición.