




CENERGIA

***K*ELAR S.A.**

CENTRAL TÉRMICA KELAR

**INFORME TÉCNICO DE
CONSUMOS ESPECIFICOS
NETOS DE LAS UNIDADES DE
GENERACIÓN DE LA
CENTRAL TERMICA KELAR,
OPERANDO CON GAS**

LIMA, AGOSTO DE 2022

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

ÍNDICE

		Pág.
1	Introducción	3
1.1	Documentos de Referencia	3
2	Objetivo del Informe	4
3	Descripción de la Central Térmica Kelar	4
4	Metodología de Ensayo	5
5	Metodología de Cálculo del Consumo Especifico Neto	6
5.1	Consumo Específico Neto	6
5.2	Factores de Corrección del Consumo Específico Neto (FC (CEN))	7
5.3	Cálculo del Consumo Específico Neto Corregido	9
5.4	Resultado de Incertidumbre Consumo Específico Neto	9
6	Análisis y Evaluación de Resultados de los Ensayos de los Consumos Específicos Netos (CEN)	10
6.1	Información Base	10
6.2	Resultados de los Análisis del Combustible	11
6.3	Validación de los datos de ensayo	12
7	Determinación de los Consumos Específicos Netos	13
7.1	Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) configuración del Ciclo Combinado TG1 + TG2 + TV	13
7.2	Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) del ciclo combinado TG1 + TV ...	16
7.3	Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) del ciclo combinado TG2 + TV ...	19
7.4	Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) de la unidad TG1 en ciclo simple	22
7.5	Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) de la unidad TG2 en ciclo simple	24

ANEXOS

ANEXO 1: ACTAS DE ENSAYO DE LAS CONFIGURACIONES DE OPERACIÓN DE LA CT KELAR

ANEXO 2: VALIDACIÓN DE DATOS DE ENSAYO

ANEXO 3: CURVAS DE CORRECCION

ANEXO 4: CERTIFICADOS DE CALIBRACION

ANEXO 5: ESQUEMA DE MEDICIONES

INFORMACIÓN DE LOS CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA KELAR

1 Introducción

El CEN en su Anexo Técnico “Determinación de Consumos Específicos de Unidades Generadoras”, establece los procedimientos requeridos para calcular, auditar e informar sobre la determinación de los consumos específicos neto en las unidades de generación térmica del parque de generación del Sistema Interconectado.

La central térmica Kelar, es una planta de generación de energía de ciclo combinado de 537.41 MW (configuración 02 Turbinas de Gas con Calderas Recuperadoras, y una Turbina de Vapor) ubicada en la zona de Mejillones a 90 km de Antofagasta.


En ese sentido, que la empresa generadora KELAR S.A., encargo a la empresa CENERGIA, la ejecución de las pruebas de consumos específicos netos (CEN) y la elaboración del informe técnico de los consumos específicos netos (CEN) de las unidades de generación de la central térmica Kelar.

Para determinar los Consumos Especificos Netos (CEN) de las unidades generadoras de la central térmica Kelar, se efectuaron los ensayos de Consumos Especificos Netos (CEN), durante los días 01 de junio al 04 de julio del 2022.

1.1 Documentos de Referencia

Las referencias a tomar en cuenta para la elaboración del presente informe técnico son las siguientes:

- **ANEXO TECNICO:** Determinación de Consumos Específicos de Unidades Generadoras
- **ASME PTC 4.4 [2008]** “Gas Turbine Heat Recovery Steam Generators”
- **ASME PTC 22 [2014]** “Gas Turbines”
- **ASME PTC 46 [2015]** “Overall Plant Performance”
- **ASME PTC 6 [2014]** “Performance Test Code 6 on Steam Turbines”
- **ASME PTC 6.2 [2004]** “Steam Turbines In Combined Cycles”

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

- **ASME PTC 19.1 [2018]** “Test Uncertainty”
- **ASTM D1945-14 [2019]** “Standard Test Method for Analysis of Natural Gas by Gas Chromatography.”
- **ASTM D3588 [1998]** “Standard Practice for Calculating Heat Value, Compressibility Factor, and Relative Density (Specific Gravity) of Gaseous Fuels.”

2 Objetivo del Informe

El objetivo del informe técnico es presentar la información de los consumos específicos netos (CEN) de las diferentes configuraciones de operación de la central térmica de ciclo combinado Kelar operando con Gas Natural, conformada por dos (2) turbinas de gas, (2) calderas de recuperación de calor y una (1) turbina de vapor; es decir en los modos de operación ciclo combinado 2+2+1, 1+1+1 y en ciclo simple; tal como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1
Modos de Operación de la CT Kelar

N°	Descripción	Combustible
1	TG1+TG2+TV (2+2+1)	Gas natural
2	TG1 +TV (1+1+1)	Gas natural
3	TG2 +TV (1+1+1)	Gas natural
4	TG1	Gas natural
5	TG2	Gas natural

3 Descripción de la Central Térmica Kelar

La central térmica Kelar es una planta de generación de energía de ciclo combinado de 537.41 MW (configuración dos (2) turbinas de gas con calderas recuperadoras, y una (1) Turbina de Vapor) ubicada en la zona de Mejillones a 90 km de Antofagasta.

Las características técnicas principales de las unidades de generación, se indican en la **Tabla 2**.



	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

Tabla 2
Características Técnicas de las Unidades de Generación
Central Térmica Kelar

Descripción		Unidad	TG1	TG2	TV
Turbina					
Fabricante			ALSTOM	ALSTOM	DOOSAN SKODA POWER
Serie			G366	G367	4782-4783
Modelo			GT13E2	GT13E2	MTD60CR
Tipo			HEAVY DUTY	HEAVY DUTY	
Potencia nominal	Base	kW	179,000	179,000	179,410
Fabricación / Puesta en servicio		Año	2014 / 2016	2014 / 2016	2014 /2016
Velocidad de Rotación		rpm	3000	3000	3000
Nº de etapas	Compresor		21	21	NA
	Turbina		5	5	
Combustible utilizado			Dual Gas/Diésel	Dual Gas/Diésel	NA
Generador Eléctrico					
Fabricante			ALSTOM	ALSTOM	DOOSAN SKODA POWER
Tipo			Cerrado Agua/Aire de Refrigeración	Cerrado Agua/Aire de Refrigeración	Cerrado Agua/Aire de Refrigeración
Tensión Nominal		V	15,000	15,000	15,000
Factor de Potencia		FP	0.85	0.85	0.85
Frecuencia		Hz	50	50	50
Velocidad de rotación		rpm	3000	3000	3000

4 Metodología de Ensayo

La metodología de ensayo, se describe en el Protocolo de Pruebas de Consumo Especifico Neto (CEN) aprobado por el CEN, donde se especifica los términos y condiciones de la realización de la prueba de consumo específico neto (CEN) de la Central Ciclo Combinado Kelar, conformada por dos (2) turbinas de gas y una (1) turbina de vapor. Para el caso de la central térmica Kelar, se realizaron los ensayos en los modos de operación ciclo combinado 2+2+1, 1+1+1 y en ciclo simple, operando con gas natural.

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

Para cada ensayo, se revisó la estabilidad operativa en cada nivel de generación, a fin de verificar el cumplimiento de los niveles de variabilidad del Protocolo de Ensayo. Los datos se obtuvieron de las siguientes fuentes de información:

- Tendencias de parámetros operativos extraídos del HMI
- Medidor de energía neta
- Medidor tipo turbina de gas natural
- Medidor de parámetros ambientales

En el **Anexo 1**, se presentan las Actas de Ensayo de Consumo Especifico Neto (CEN) de los tres modos de operación de la central térmica Kelar.

5 Metodología de Cálculo del Consumo Especifico Neto

Para la metodología de cálculo del consumo específico neto (CEN) se considerara lo siguiente:

- ✓ Las mediciones de las pruebas de CEN registradas en el DCS y sistema de control de la planta, de acuerdo al protocolo de pruebas aprobado.
- ✓ Se utilizarán los factores de corrección de CEN para la desviación de las condiciones ambientales respecto a los valores de referencia.

El **CEN** de las unidades de generación de la central térmica Kelar, se calcularan de acuerdo a las ecuaciones que se indican a continuación.

5.1 Consumo Específico Neto

El Para determinar el Consumo Especifico Neto medido durante cada nivel de carga ensayado; considerando el consumo del combustible, el poder calorífico superior (LHV) del combustible utilizado y la potencia neta medida en cada nivel de carga ensayada. Se calculará el Consumo Especifico Neto con la siguiente formula:

$$CENm = \frac{CC * PC}{P_{neta}}$$

Dónde:

- CEN_m : Consumo específico neto medido (kcal/kWh)
- CC: Consumo de combustible (kg/h, m³/h)
- PC: Poder calorífico superior medido (kJ/kg, kJ/m³)
- P_{neta} : Potencia Neta (kW)

5.2 Factores de Corrección del Consumo Específico Neto (FC (CEN))

Los factores de corrección de **CEN** se aplican para la desviación de las condiciones ambientales medidas durante el Ensayo respecto a los valores de referencia. Para cada parámetro medido de las condiciones ambientales se determinará el valor promedio a partir de las mediciones realizadas durante el período del Ensayo de 60 minutos para el ciclo combinado y 30 minutos para el ciclo simple con frecuencia cada 1 minuto. Los factores de corrección de **CEN** se determinaran en base a cada valor promedio del Ensayo. Todas las curvas y tablas de factores de corrección de referencia a aplicar, se encuentran en el protocolo de ensayo. Las condiciones de referencia a utilizar para el cálculo del **CEN** se indican en la **Tabla 3**.

Tabla 3
Condiciones de Referencia para el Cálculo del Consumo Específico Neto Corregido

Descripción del Parámetro	Valor	Unidad de medida
Temperatura ambiente	15	°C
Humedad relativa	60	%
Presión atmosférica	760	mmHg
Factor de potencia	0.85	-

Los factores de corrección utilizados por desvío de las condiciones ambientales para el cálculo del Consumo Específico Neto, se indica en la **Tabla 4**.



	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

Tabla 4
Factores de Corrección por desvío de las condiciones ambientales

Factor de Corrección	TG1 / TG2 Ciclo Simple	TG1 / TG2 + TV Ciclo Combinado	TG1 + TG2 + TV Ciclo Combinado
	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural
Temperatura ambiente	X	X	X
Humedad relativa	X	X	X
Presión atmosférica	X	X	X

A continuación, se define los factores de corrección a utilizar para el cálculo del **CEN**:

- **Factor de corrección por Temperatura ambiente (FC_{TA}):** Los factores de corrección del consumo específico neto por desvío de la temperatura ambiente respecto al valor de referencia se obtienen de las que se muestra en el Protocolo de Ensayo. El factor de corrección es el eje Y, se obtiene ingresando en el eje X con el valor de temperatura ambiente promedio medido durante en el Ensayo.
- **Factor de corrección por Humedad relativa (FC_{HR}):** Los factores de corrección del consumo específico neto por desvío de la humedad relativa respecto al valor de referencia se obtienen de las curvas que se muestra en el Protocolo de Ensayo. El valor del factor de corrección es el eje Y, se obtiene ingresando en el eje X con el valor de humedad relativa promedio medido durante en el Ensayo.
- **Factor de corrección por Presión atmosférica (FC_{PA}):** Los factores de corrección del consumo específico neto por desvío de la presión atmosférica respecto al valor de referencia se obtienen de las curvas que se muestra en el Protocolo de Ensayo. El valor del factor de corrección es el eje Y, se obtiene ingresando en el eje X con el valor de presión atmosférica promedio medido durante en el Ensayo.

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

5.3 Cálculo del Consumo Específico Neto Corregido

5.3.1 Consumo Específico Neto Medido en base al PCs (CEN_M (PCs))

Es el Consumo Neto Corregido en función de los factores de las desviaciones de las condiciones ambientales respecto a las condiciones de referencia, en base al Poder Calorífico Superior (PCs) del combustible y la potencia neta de salida, se calcula con la formula siguiente:

$$CEN_c = \frac{CEN_m}{FC_{TA} * FC_{HR} * FC_{PA}}$$

Donde;

- CEN_c: Consumo especifico neto calculado (kcal/kWh)
- CEN_m: Consumo especifico neto medido (kcal/kWh)
- FC_{TA}: Factor de Corrección por temperatura ambiente.
- FC_{HR}: Factor de Corrección por humedad relativa.
- FC_{PA}: Factor de Corrección por presión atmosférica.


5.4 Resultado de Incertidumbre Consumo Específico Neto

Con los datos registrados durante el Ensayo se realizó el cálculo de la incertidumbre de cada parámetro, los cálculos y las ecuaciones utilizadas se encuentran en el archivo Excel de cálculo de CEN.

Tabla 5
Resultado de Incertidumbre CEN con Gas Natural

Modo de Operación	Máx. U*	U _{Resultado CEN corregido}
Ciclo combinado TG1+TG2+TV	± 1.5%	0.39%

* ASME PTC 46 – Tabla 1.1

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

6 **Análisis y Evaluación de Resultados de los Ensayos de los Consumos Específicos Netos (CEN)**

6.1 **Información Base**

La información base (registros de mediciones), para los cálculos de los consumos de específicos netos (CEN) para los diferentes modos de operación de la central térmica Kelar, se muestran en el **Anexo 1: Actas de Ensayo** para cada modo de operación de la central Kelar.

De acuerdo al protocolo de ensayo CEN se midieron las siguientes variables primarias:


- Potencia Neta (kW).
- Consumo de combustible (sm³/h).
- Temperatura ambiente.
- Humedad relativa.
- Presión barométrica.

Las variables secundarias en la TG a medir son las siguientes:

- Factor de potencia.
- Temperatura de los gases de escape (turbina).
- Nivel de vibración (turbina).
- Velocidad de rotación del grupo.
- Frecuencia.

Las variables secundarias en la TV a medir son las siguientes:

- Factor de potencia.
- Temperatura de vapor.
- Presión de vapor.
- Nivel de vibración (turbina).
- Velocidad de rotación del grupo.

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

6.2 Resultados de los Análisis del Combustible

Para el cálculo de los de consumos específicos netos de las diferentes configuraciones de operación de la central térmica Kelar, se utilizó el poder calorífico superior del gas natural. El poder calorífico superior (PCS), se define como la cantidad de calor desprendido en el proceso de combustión completo de una unidad de combustible, el cual incluye el calor latente utilizado en la combustión de vapor de agua originado en la combustión.

En la **Tabla 6 y 7**, se muestran los valores de los PCS y PCI, en los diferentes porcentajes de carga y el promedio; para cada una de las configuraciones de operación de las unidades de la central térmica Kelar. Dicho valores se han obtenido del cromatografo de planta.

Tabla 6
Valores del Poder Calorífico Superior (PCS) del Gas Natural, para los tres modos de operación de la central térmica Kelar

Porcentaje de Carga	Poder Calorífico Superior (PCS) (kJ/m ³)				
	TG1+TG2+TV	TG1+TV	TG2+TV	TG1	TG2
100%	38790.52	38747.53	38792.46	38795.65	38797.45
95%	38793.45	38751.68	38798.38	38795.15	38794.45
90%	38791.03	38745.10	38792.43	38795.20	38795.95
80%	38791.35	38743.78	38792.75	38795.65	38796.90
70%	38818.64	38741.60	38792.93	38794.40	38798.60
50%	38790.83	38736.65	38792.73	38795.40	38796.05
MT	38791.12	38739.85	38792.55	38798.10	38796.65

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

Tabla 7
Valores del Poder Calorífico Inferior (PCI) del Gas Natural, para los tres modos de operación de la central térmica Kelar


Porcentaje de Carga	Poder Calorífico Superior (PCI) (kJ/m ³)				
	TG1+TG2+TV	TG1+TV	TG2+TV	TG1	TG2
100%	34957.86	34918.00	34959.64	34962.55	34964.30
95%	34960.58	34921.90	34965.20	34962.15	34961.50
90%	34958.40	34915.80	34959.63	34962.20	34962.95
80%	34958.60	34914.50	34959.95	34962.65	34963.80
70%	34985.38	34912.58	34960.13	34961.65	34965.30
50%	34958.15	34907.98	34959.95	34962.40	34962.95
MT	34958.44	34910.93	34959.75	34964.85	34963.55

6.3 Validación de los datos de ensayo

En el **Anexo 1**, se muestran los resultados de la validación de los datos de ensayo para cada uno de los modos de operación de la central térmica Kelar. Los datos validos son los siguientes:

- ✓ Potencia
- ✓ Factor de potencia
- ✓ Temperatura Ambiente
- ✓ Presión Ambiente
- ✓ Velocidad de rotación
- ✓ Flujo de combustible

Se determinó las desviaciones estándar para cada uno de los parámetros mencionados, dando como resultado valores que están dentro de su desviación, según el valor de referencia de cada parámetro. Los resultados se muestran para cada porcentaje de carga ensayado.

	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

7 Determinación de los Consumos Específicos Netos

Para la determinación de los consumos específicos netos (CEN) de las diferentes configuraciones de la central térmica Kelar, se siguió la metodología de cálculo del consumo específico neto (CEN), indicado en el punto 5, del presente informe.

7.1 Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) configuración del Ciclo Combinado TG1 + TG2 + TV

En la **Tabla 8**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para la configuración del ciclo combinado TG1 + TG2 + TV, utilizando el poder calorífico superior (PCS).

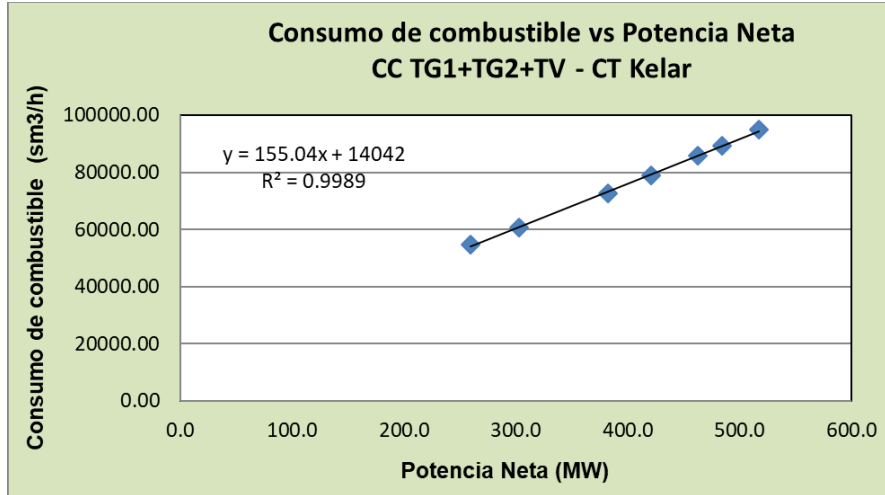
Tabla 8
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo combinado TG1+TG2+TV operando con gas natural con el Poder Calorífico Superior (PCS)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm ³ /h)	Tx CC (°C)	Hx (%)	Pax CC (mmhg)	CEN _M (kcal/kWh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _C (kcal/kwh)
100%	517.4	94880.28	14.59	71.48	757.36	1700.21	1.0004	1.0011	1.0003	1697.03
95%	484.6	89224.79	14.71	68.82	757.26	1707.03	1.0003	1.0009	1.0003	1704.50
90%	462.8	85745.35	14.64	69.21	756.88	1717.82	1.0004	1.0009	1.0003	1715.00
80%	421.1	78862.83	14.50	70.90	756.71	1736.24	1.0005	1.0011	1.0004	1732.81
70%	382.3	72647.88	14.35	70.12	756.93	1763.12	1.0007	1.0010	1.0003	1759.53
50%	302.3	60792.03	14.59	68.60	757.33	1864.36	1.0004	1.0008	1.0003	1861.40
MT	259.1	54837.07	14.87	67.72	757.90	1962.22	1.0001	1.0008	1.0002	1960.00

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

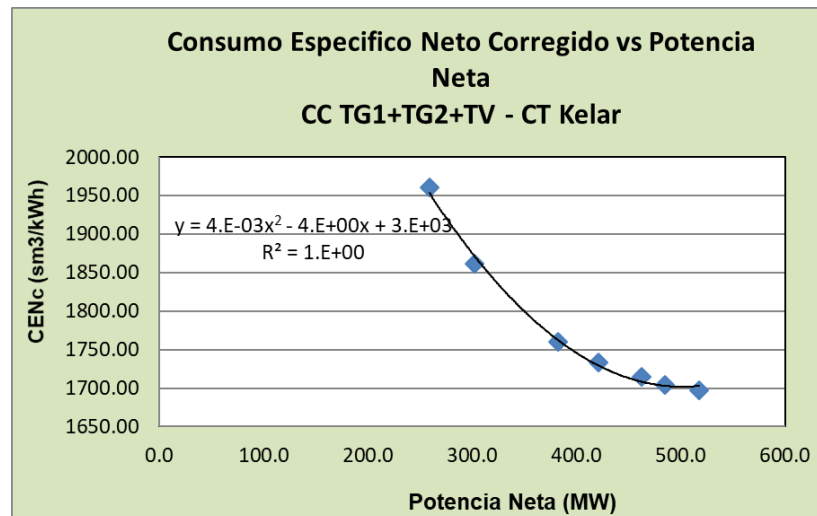
En la **Figura 1**, se muestra la curva de consumo de combustible vs la potencia neta, así como su ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 1
Curva de Consumo de Combustible (sm³/h) Vs Potencia Neta (MW)



En la **Figura 2**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 2
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Superior (PCS)



En la **Tabla 9**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para el ciclo combinado TG1 + TG2 + TV, utilizando el poder calorífico inferior (PCI).

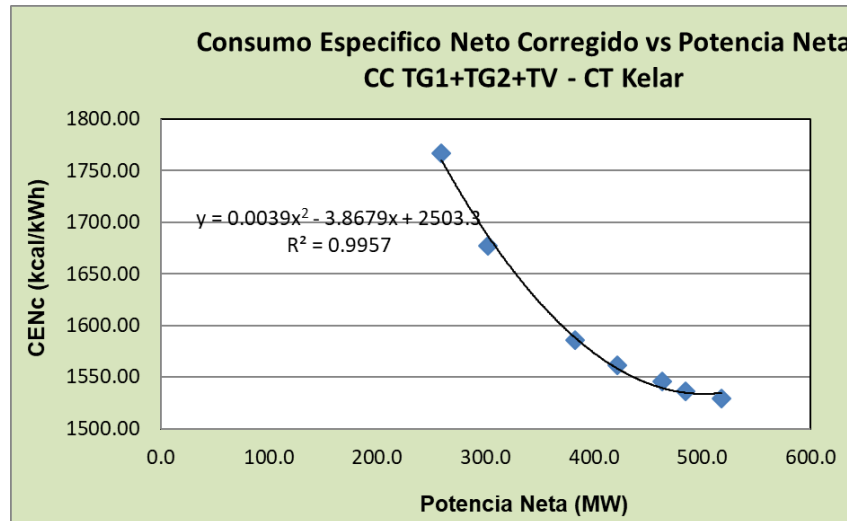
Tabla 9
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo combinado
TG1+TG2+TV operando con gas natural con el Poder Calorífico Inferior (PCI)


Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm ³ /h)	Tx CC (°C)	Hx (%)	Pax CC (mmhg)	CEN _M (kcal/kwh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _c (kcal/kwh)
100%	517.4	94880.28	14.59	71.48	757.36	1532	1.0004	1.0011	1.0003	1529.36
95%	484.6	89224.79	14.71	68.82	757.26	1538	1.0003	1.0009	1.0003	1536.09
90%	462.8	85745.35	14.64	69.21	756.88	1548	1.0004	1.0009	1.0003	1545.56
80%	421.1	78862.83	14.50	70.90	756.71	1565	1.0005	1.0011	1.0004	1561.60
70%	382.3	72647.88	14.35	70.12	756.93	1589	1.0007	1.0010	1.0003	1585.78
50%	302.3	60792.03	14.59	68.60	757.33	1680	1.0004	1.0008	1.0003	1677.49
45%	259.1	54837.07	14.87	67.72	757.90	1768	1.0001	1.0008	1.0002	1766.35

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

En la **Figura 3**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva, utilizando el poder calorífico inferior.

Figura 3
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Inferior (PCI)



 CENERGIA Centro de Conservación de Energía y del Ambiente	INFORME TÉCNICO DE CONSUMOS ESPECIFICOS NETOS	CENTRAL TÉRMICA KELAR
		REV. 00
		FECHA: 16/07/2022

7.2 Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) del ciclo combinado TG1 + TV

En la **Tabla 10**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para el ciclo combinado TG1 + TV, utilizando el poder calorífico superior (PCS).

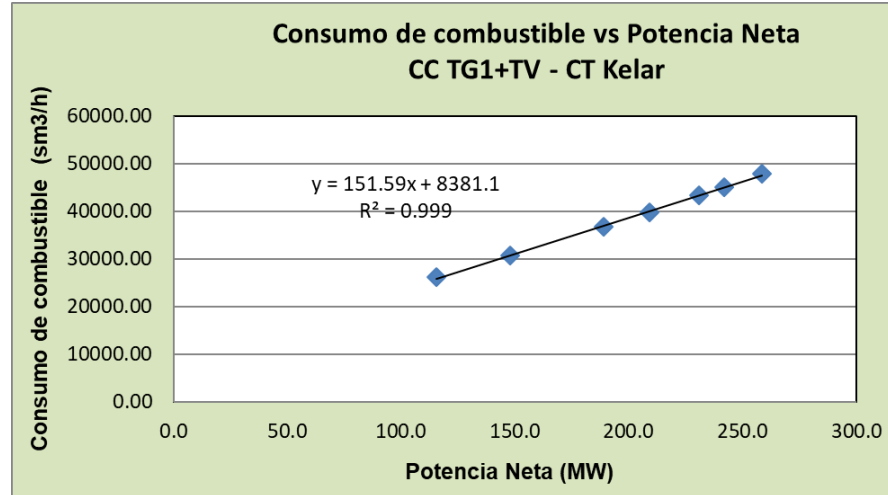
Tabla 10
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo combinado TG1+TV operando con gas natural con el Poder Calorífico Superior (PCS)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (kg/h)	Tx CC (°C)	Hx (%)	Pax CC (mmhg)	CEN _M (kcal/kWh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _C (kcal/kwh)
100%	258.6	47860.82	11.28	88.19	756.00	1714.29	1.0025	1.0065	1.0007	1697.79
95%	241.8	45134.34	11.18	86.39	755.44	1729.18	1.0025	1.0061	1.0008	1712.97
90%	230.9	43326.67	10.42	86.93	754.98	1737.39	1.0030	1.0063	1.0008	1719.89
80%	209.3	39911.71	10.37	88.16	755.09	1765.85	1.0031	1.0065	1.0008	1747.53
70%	189.1	36711.68	10.80	87.33	755.63	1797.31	1.0028	1.0063	1.0007	1779.68
55%	148.1	30700.39	12.08	85.68	756.34	1919.81	1.0019	1.0060	1.0006	1903.55
MT	115.6	26226.18	12.64	82.35	756.57	2101.30	1.0016	1.0052	1.0006	2085.96

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

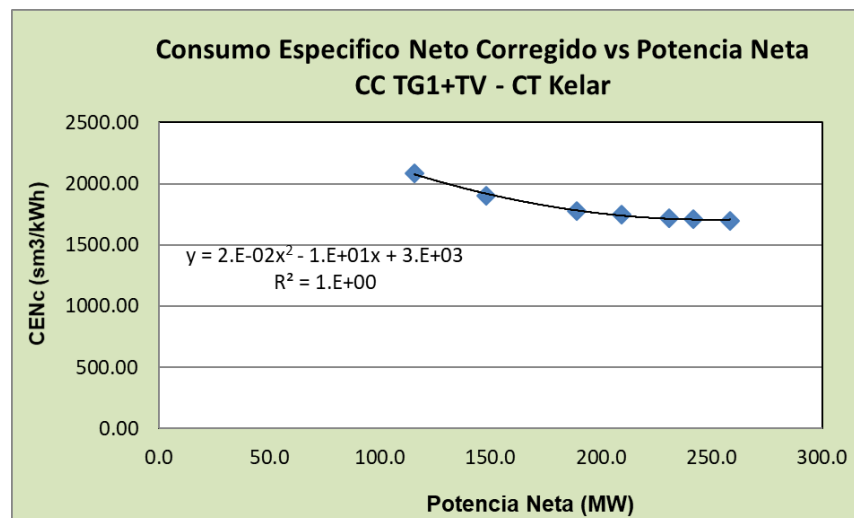
En la **Figura 4**, se muestra la curva de consumo de combustible vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 4
Curva de Consumo de Combustible (sm³/h) Vs Potencia Neta (MW)



En la **Figura 5**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 5
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Superior (PCS)



En la **Tabla 11**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para del ciclo combinado TG1 + TV, utilizando el poder calorífico inferior (PCI).

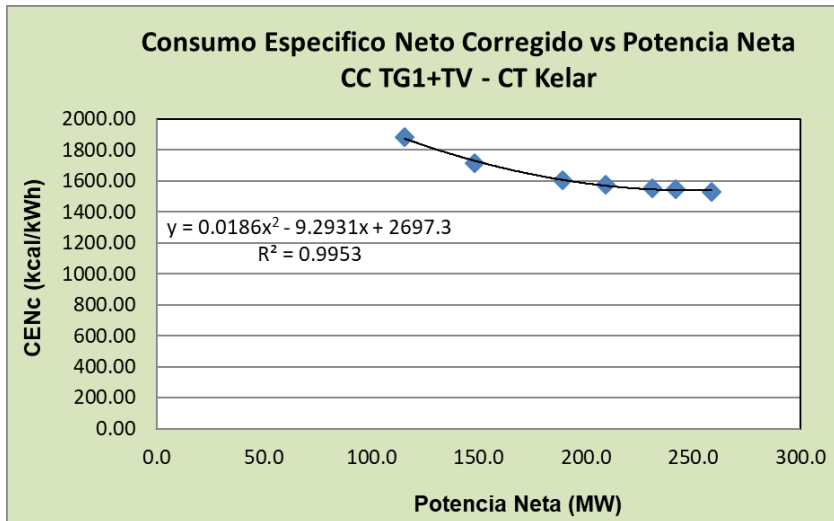
Tabla 11
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo combinado TG1+TV
operando con gas natural con el Poder Calorífico Inferior (PCI)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (kg/h)	Tx CC (°C)	Hx (%)	Pax CC (mmhg)	CEN _M (kcal/kwh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _C (kcal/kwh)
100%	258.6	47860.82	11.28	88.19	756.00	1545	1.0025	1.0065	1.0007	1529.99
95%	241.8	45134.34	11.18	86.39	755.44	1558	1.0025	1.0061	1.0008	1543.68
90%	230.9	43326.67	10.42	86.93	754.98	1566	1.0030	1.0063	1.0008	1549.91
80%	209.3	39911.71	10.37	88.16	755.09	1591	1.0031	1.0065	1.0008	1574.81
70%	189.1	36711.68	10.80	87.33	755.63	1620	1.0028	1.0063	1.0007	1603.78
55%	148.1	30700.39	12.08	85.68	756.34	1730	1.0019	1.0060	1.0006	1715.41
MT	115.6	26226.18	12.64	82.35	756.57	1894	1.0016	1.0052	1.0006	1879.79

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

En la **Figura 6**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva, utilizando el poder calorífico inferior.

Figura 6
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Inferior (PCI)



7.3 Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) del ciclo combinado TG2 + TV

En la **Tabla 12**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para el ciclo combinado TG2 + TV, utilizando el poder calorífico superior (PCS).

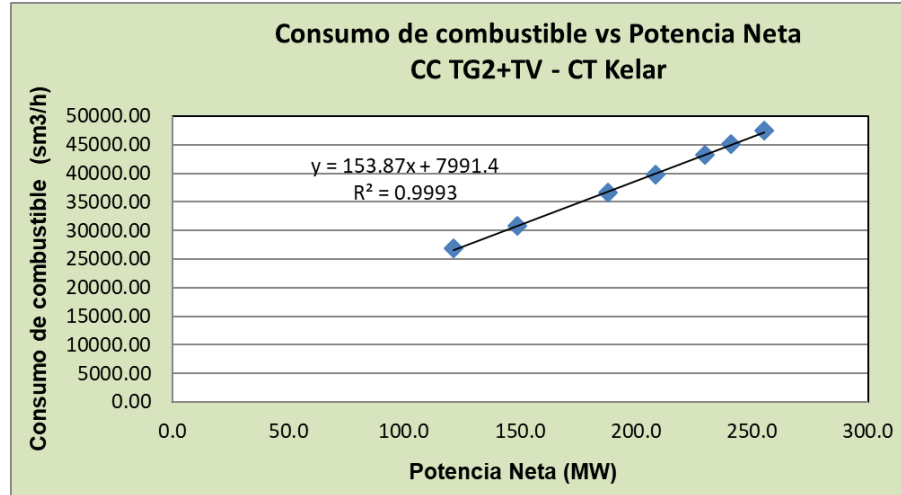
Tabla 12
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo combinado TG2+TV operando con gas natural con el Poder Calorífico Superior (PCS)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm ³ /h)	Tx CC (°C)	Hx (%)	Pax CC (mmhg)	CEN _M (kcal/kWh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _C (kcal/kwh)
100%	255.2	47463.39	13.09	79.51	755.12	1724.57	1.0013	1.0045	1.0008	1713.20
95%	240.8	45132.83	12.96	79.37	755.53	1738.18	1.0014	1.0045	1.0008	1726.75
90%	229.8	43323.31	13.13	79.34	755.45	1748.11	1.0012	1.0045	1.0008	1736.79
80%	208.3	39853.13	13.56	76.23	755.57	1773.68	1.0010	1.0038	1.0007	1764.01
70%	187.9	36619.09	13.61	75.61	755.61	1806.92	1.0009	1.0036	1.0007	1797.40
55%	149.0	30870.54	13.25	80.50	755.55	1921.50	1.0012	1.0048	1.0008	1908.74
MT	121.2	26881.89	13.27	79.45	755.64	2055.78	1.0012	1.0045	1.0007	2042.67

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

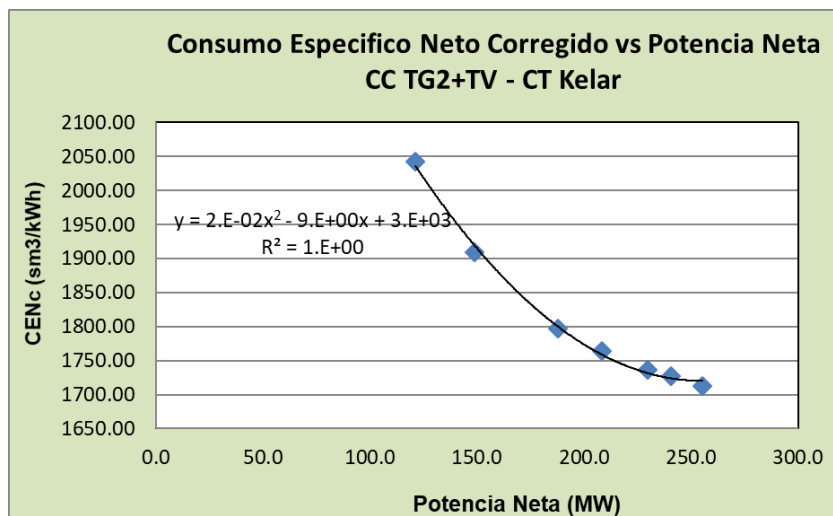
En la **Figura 7**, se muestra la curva de consumo de combustible vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 7
Curva de Consumo de Combustible (sm³/h) Vs Potencia Neta (MW)



En la **Figura 8**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 8
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Superior (PCS)



En la **Tabla 13**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para del ciclo combinado TG2 + TV, utilizando el poder calorífico inferior (PCI).

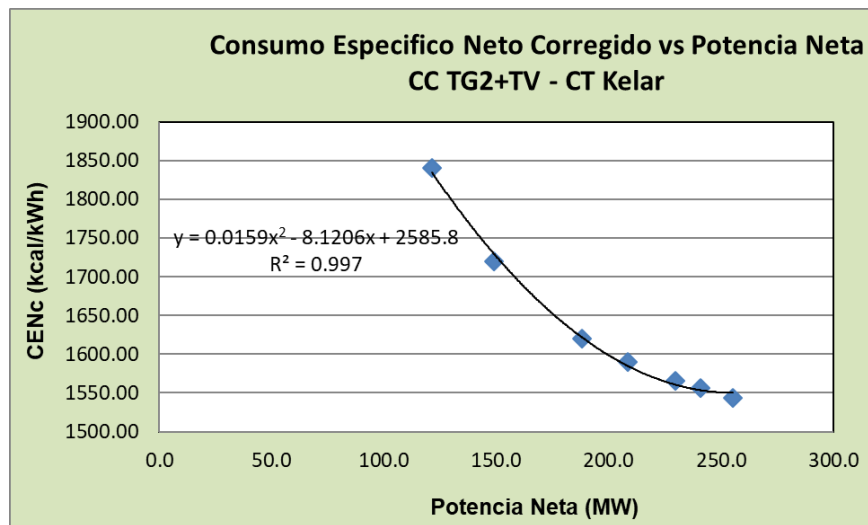
Tabla 13
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo combinado TG2+TV
operando con gas natural con el Poder Calorífico Inferior (PCI)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm ³ /h)	Tx CC (°C)	Hx (%)	Pax CC (mmhg)	CEN _M (kcal/kwh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _C (kcal/kwh)
100%	255.2	47463.39	13.09	79.51	755.12	1554.18	1.0013	1.0045	1.0008	1543.93
95%	240.8	45132.83	12.96	79.37	755.53	1566.45	1.0014	1.0045	1.0008	1556.15
90%	229.8	43323.31	13.13	79.34	755.45	1575.39	1.0012	1.0045	1.0008	1565.19
80%	208.3	39853.13	13.56	76.23	755.57	1598.44	1.0010	1.0038	1.0007	1589.72
70%	187.9	36619.09	13.61	75.61	755.61	1628.39	1.0009	1.0036	1.0007	1619.81
55%	149.0	30870.54	13.25	80.50	755.55	1731.66	1.0012	1.0048	1.0008	1720.16
MT	121.2	26881.89	13.27	79.45	755.64	1852.66	1.0012	1.0045	1.0007	1840.85

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

En la **Figura 9**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva, utilizando el poder calorífico inferior.

Figura 9
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Inferior (PCI)



7.4 Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) de la unidad TG1 en ciclo simple

En la **Tabla 14**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para la unidad TG1 en ciclo simple, utilizando el poder calorífico superior (PCS).

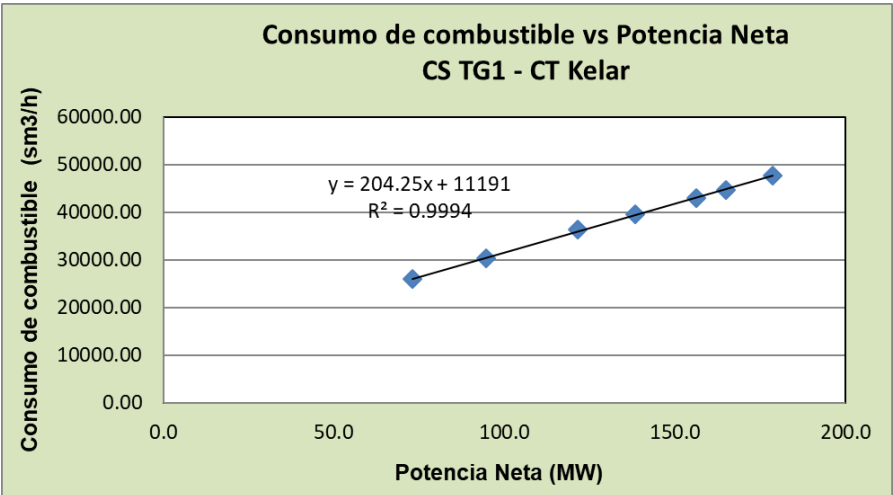
Tabla 14
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo simple unidad TG1 operando con gas natural con el Poder Calorífico Superior (PCS)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm ³ /h)	Tx CS (°C)	Hx (%)	Pax CS (mmhg)	CEN _m (kcal/kWh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _c (kcal/kwh)
100%	178.7	47705.63	12.00	70.55	757.63	2475.68	0.9991	1.0002	1.0003	2476.70
95%	165.0	44728.42	13.80	69.84	757.41	2514.17	0.9997	1.0002	1.0003	2513.87
90%	156.3	42964.33	13.83	69.41	757.38	2549.44	0.9997	1.0002	1.0003	2549.12
80%	138.4	39593.57	14.00	68.38	757.25	2652.58	0.9997	1.0001	1.0003	2652.13
70%	121.4	36368.25	13.79	68.21	757.44	2777.57	0.9997	1.0001	1.0003	2777.33
55%	94.6	30357.35	13.71	67.60	758.03	2976.86	0.9996	1.0001	1.0002	2976.90
MT	73.1	26021.57	13.20	67.34	758.38	3303.06	0.9995	1.0001	1.0002	3303.75

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

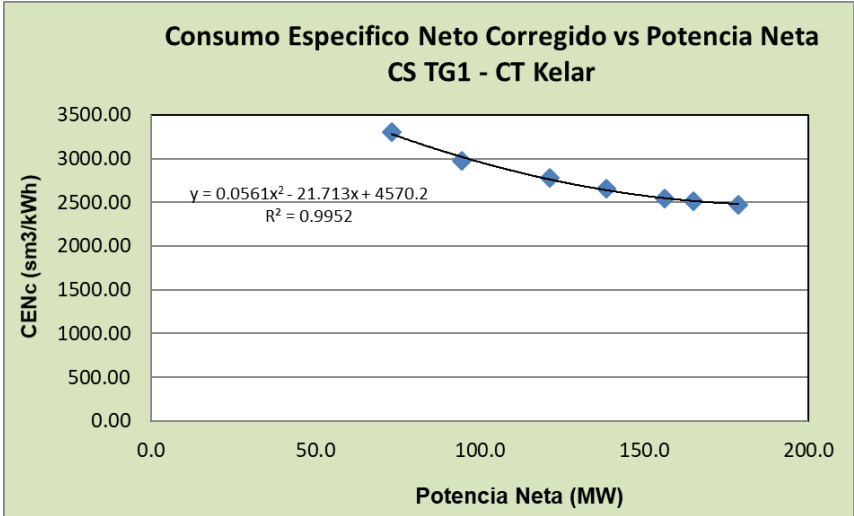
En la **Figura 10**, se muestra la curva de consumo de combustible vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 10
Curva de Consumo de Combustible (sm³/h) Vs Potencia Neta (MW)



En la **Figura 11**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 11
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Superior (PCS)



En la **Tabla 15**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para la unidad TG1 ciclo simple, utilizando el poder calorífico inferior (PCI).

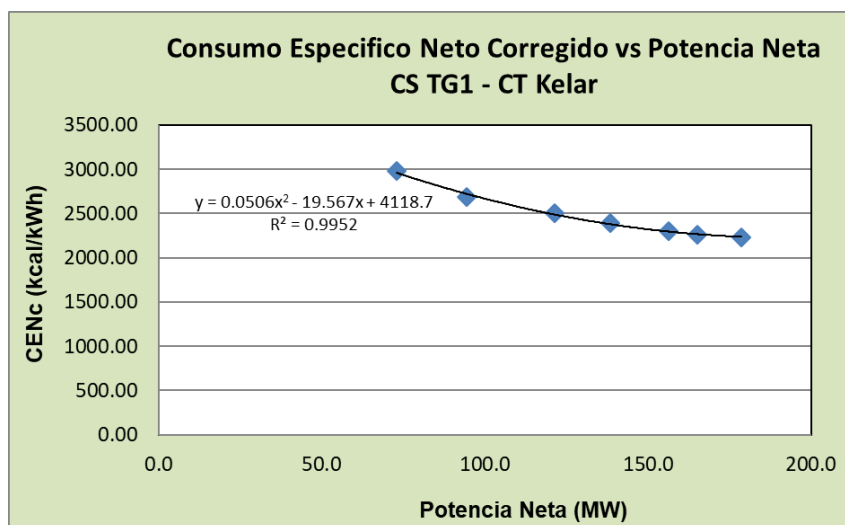
Tabla 15
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo simple unidad TG1
operando con gas natural con el Poder Calorífico Inferior (PCI)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm³/h)	Tx CS (°C)	Hx (%)	Pax CS (mmhg)	CEN _M (kcal/kwh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _C (kcal/kwh)
100%	178.7	47705.63	12.00	70.55	757.63	2231.08	0.9991	1.0002	1.0003	2232.00
95%	165.0	44728.42	13.80	69.84	757.41	2265.76	0.9997	1.0002	1.0003	2265.49
90%	156.3	42964.33	13.83	69.41	757.38	2297.55	0.9997	1.0002	1.0003	2297.26
80%	138.4	39593.57	14.00	68.38	757.25	2390.51	0.9997	1.0001	1.0003	2390.10
70%	121.4	36368.25	13.79	68.21	757.44	2503.15	0.9997	1.0001	1.0003	2502.94
55%	94.6	30357.35	13.71	67.60	758.03	2682.74	0.9996	1.0001	1.0002	2682.78
MT	73.1	26021.57	13.20	67.34	758.38	2976.72	0.9995	1.0001	1.0002	2977.34

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

En la **Figura 12**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva, utilizando el poder calorífico inferior.

Figura 12
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Inferior (PCI)



7.5 Resultados de los Consumos Específicos Netos (CEN) de la unidad TG2 en ciclo simple

En la **Tabla 16**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para la unidad TG2 en ciclo simple, utilizando el poder calorífico superior (PCS).

Tabla 16

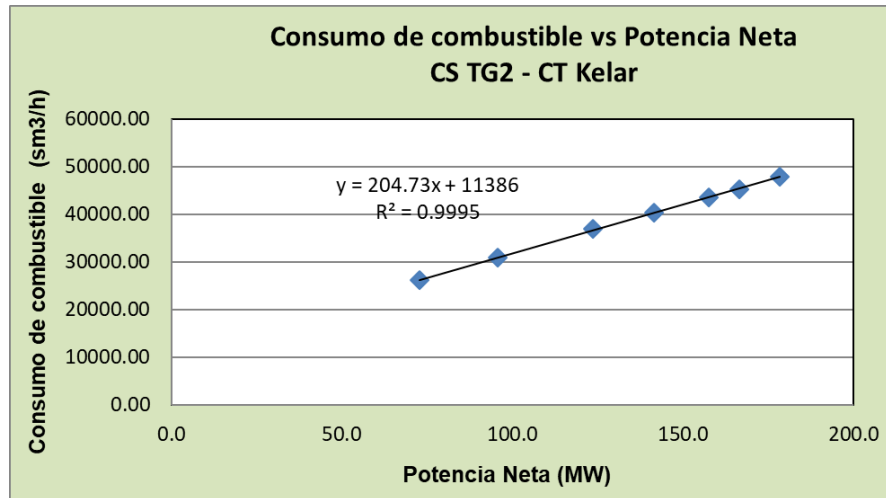
**Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo simple unidad TG2
operando con gas natural con el Poder Calorífico Superior (PCS)**

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm ³ /h)	Tx CS (°C)	Hx (%)	Pax CS (mmhg)	CEN _m (kcal/kWh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _c (kcal/kwh)
100%	178.5	47982.05	11.67	80.94	757.00	2492.70	0.9990	1.0003	1.0003	2493.36
95%	166.5	45313.06	11.16	82.36	756.93	2524.04	0.9989	1.0004	1.0004	2524.99
90%	157.7	43511.49	10.79	85.50	756.91	2558.29	0.9988	1.0004	1.0004	2559.39
80%	141.6	40467.80	10.95	86.58	757.26	2650.43	0.9988	1.0004	1.0003	2651.50
70%	123.6	37035.75	11.14	86.94	757.35	2778.14	0.9989	1.0004	1.0003	2779.13
55%	95.7	30897.06	11.73	84.48	757.54	2993.77	0.9991	1.0004	1.0003	2994.51
MT	72.7	26176.70	12.41	81.61	757.61	3337.39	0.9993	1.0004	1.0003	3337.74

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

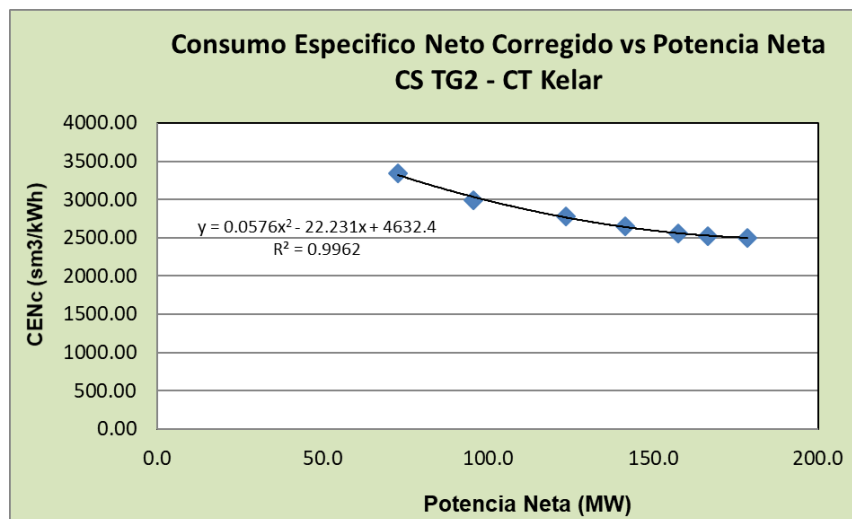
En la **Figura 13**, se muestra la curva de consumo de combustible vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 13
Curva de Consumo de Combustible (sm³/h) Vs Potencia Neta (MW)



En la **Figura 17**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva.

Figura 17
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Superior (PCS)



En la **Tabla 17**, se muestra los resultados de los cálculos de los consumos específicos netos (CEN) medidos y corregidos, para las diferentes cargas, para la unidad TG2 ciclo simple, utilizando el poder calorífico inferior (PCI).

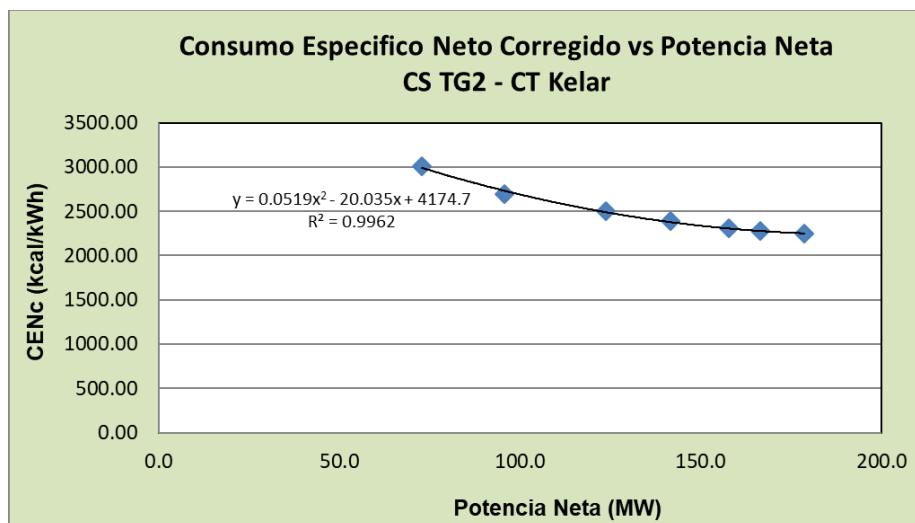
Tabla 17
Resultados del consumo específico neto (CEN) del ciclo simple unidad TG1
operando con gas natural con el Poder Calorífico Inferior (PCI)

Carga	CONDICIONES DE ENSAYO						FACTORES DE CORRECCION			CONDICIONES ISO
	Px Neta (MW)	Flujo. De comb (sm ³ /h)	Tx CS (°C)	Hx (%)	Pax CS (mmhg)	CEN _M (kcal/kwh)	FC _{TA}	FC _{HR}	FC _{PA}	CEN _C (kcal/kwh)
100%	178.5	47982.05	11.67	80.94	757.00	2246.42	0.9990	1.0003	1.0003	2247.02
95%	166.5	45313.06	11.16	82.36	756.93	2274.66	0.9989	1.0004	1.0004	2275.52
90%	157.7	43511.49	10.79	85.50	756.91	2305.53	0.9988	1.0004	1.0004	2306.52
80%	141.6	40467.80	10.95	86.58	757.26	2388.57	0.9988	1.0004	1.0003	2389.53
70%	123.6	37035.75	11.14	86.94	757.35	2503.66	0.9989	1.0004	1.0003	2504.55
55%	95.7	30897.06	11.73	84.48	757.54	2697.98	0.9991	1.0004	1.0003	2698.65
MT	72.7	26176.70	12.41	81.61	757.61	3007.65	0.9993	1.0004	1.0003	3007.98

ISO: 15 °C, 60 % HR, 1 ATM

En la **Figura 18**, se muestra la curva de consumo específico neto corregido vs la potencia neta, así como la ecuación polinómica que representa dicha curva, utilizando el poder calorífico inferior.

Figura 18
Curva de Consumo Específico Neto Corregido Vs Potencia Neta (MW)
Poder Calorífico Inferior (PCI)



Elaborado por: Ing. José Aguilar Bardales



ANEXOS

ANEXO 1

ACTAS DE ENSAYO DE LAS CONFIGURACIONES DE OPERACIÓN DE LA CENTRAL TERMICA KELAR

ANEXO 2

VALIDACIÓN DE DATOS DE ENSAYO

ANEXO 3

CURVAS DE CORRECCION

ANEXO 4

CERTIFICADOS DE CALIBRACION

ANEXO 5

ESQUEMA DE MEDICIONES