



CONSULTORA:	GENERADORA:
	

PROYECTO:	CLIENTE:
DETERMINACIÓN DE CONSUMOS ESPECÍFICOS DE UNIDADES GENERADORAS	

TITULO:	INFORME FINAL DE PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO DE LA CENTRAL TÉRMICA TOCOPILLA UNIDAD GENERADORA TG2 CON DIÉSEL
N° DE DOCUMENTO PROYECTO	CTP-1-INF-HMK-001

REVISIÓN:	1	EDITADO PARA	Coordinador Eléctrico Nacional
FECHA:	11-01-2021		

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DE COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

REGISTROS DE REVISIONES

REV. N°	FECHA	REVISIONES	REVISADO POR	APROBADO POR
1	11-01-2021	Primera versión	Alfredo Valladares M.	Amadeo Carrillo V.

APROBACIÓN DE DOCUMENTOS

ENEL			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
CONSORCIO HAMEK AMADEO_CARRILLO			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
			Hamek Ingenieros Asociados

CONTENIDO GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	5
1 INFORMACIÓN GENERAL	13
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	13
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA TOCOPILLA	13
2 OBJETIVO DE LAS PRUEBAS	14
2.1 PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO	14
3 PROGRAMA DE LAS PRUEBAS	16
4 PARTICIPANTES EN LAS PRUEBAS Y ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL.....	17
5 CONDICIONES DE DISEÑO Y REFERENCIA.....	17
6 FRONTERA DE PRUEBA, MEDICIONES REQUERIDAS E INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA	18
6.1 FRONTERA DE PRUEBA Y MEDICIONES REQUERIDAS.....	18
6.2 VARIABLES MEDIDAS E INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN	19
6.2.1 Variables Primarias.....	19
7 REPORTE DE COMBUSTIBLE.....	20
7.1 REPORTE DE DIÉSEL.....	20
8 METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	21
8.1 VALIDACIÓN DE DATOS.....	21
8.2 CÁLCULOS DE LOS CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO	21
8.2.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido (HRN_M)	21
8.2.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido (HRN_C).....	22
8.3 CÁLCULOS DE LA INCERTIDUMBRE.....	24
8.3.1 Incertidumbre de la Prueba.....	24
9 CÁLCULO DE CONSUMO ESPECÍFICO NETO	27
10 RESULTADOS	27
10.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO, UNIDAD TG2 (SOBRE PODER CALORÍFICO SUPERIOR)	27
10.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO, UNIDAD TG2 (SOBRE PODER CALORÍFICO INFERIOR).....	30
10.3 RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE, UNIDAD TG2 (SOBRE PODER CALORÍFICO SUPERIOR).....	33
10.4 RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE, UNIDAD TG2 (SOBRE PODER CALORÍFICO INFERIOR)	34

ANEXOS

- ANEXO A:** Actas de Ensayo
- ANEXO B:** Reporte de Combustible
- ANEXO C:** Cuadros de Cálculo
- ANEXO D:** Protocolo de Pruebas

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA 1-1: DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA TOCOPILLA	13
TABLA 2-1: VARIABLES PRIMARIAS	14
TABLA 3-1: PROGRAMA DE PRUEBAS DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 DE LA CENTRAL TOCOPILLA	16
TABLA 3-2: DURACIÓN DE LAS PRUEBAS DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 DE LA CENTRAL TOCOPILLA.....	16
TABLA 5-1: CONDICIONES DE REFERENCIA	17
TABLA 6-1: VARIABLES E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS.....	19
TABLA 7-1: REPORTE DE COMBUSTIBLE – TG2 - DIÉSEL	20
TABLA 8-1: CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA PRUEBA DE CONSUMO ESPECIFICO NETO DE LA UNIDAD GENERADORA TG2	21
TABLA 10-1: RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE LAS PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 DE LA CENTRAL TÉRMICA TOCOPILLA (SOBRE PODER CALORÍFICO SUPERIOR)	33
TABLA 10-2: RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE LAS PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO DE LA UNIDAD GENERADORA TG2 DE LA CENTRAL TÉRMICA TOCOPILLA (SOBRE PODER CALORÍFICO INFERIOR).....	34

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 4-1: PARTICIPANTES Y ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL DURANTE LAS PRUEBAS	17
ILUSTRACIÓN 6-1: FRONTERA DE PRUEBA DE LA UNIDAD GENERADORA TG2	18

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL					
INFORME		PROPIETARIO		GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional		Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

RESUMEN EJECUTIVO

ENGIE Energía Chile es una empresa con presencia en los mercados de generación, transmisión y suministro de electricidad, transporte de gas e infraestructura portuaria. Sus principales clientes provienen de los sectores minería, industrial y de distribución eléctrica, tanto del norte como de la zona centro y sur del país. En 2020, sus ventas de energía ascendieron a 11.408 GWh, un aumento de 3% respecto del año 2019. La generación bruta durante el 2020 fue de 6.945 GWh, un 22% mayor que la de 2019, la participación del mercado de potencia de ENGIE en Chile es del 8% de los 26.1 GW de potencia instalados.

El presente informe contiene los resultados de las pruebas de Consumo Especifico Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla, operando con Diésel.

Durante las pruebas se ha registrado los siguientes parámetros:

- Potencia Bruta
- Factor de Potencia Bruta
- Potencia Neta
- Factor de Potencia Neta
- Potencia de Servicios Auxiliares
- Flujo de Diésel
- Temperatura Ambiente
- Humedad Relativa Ambiente
- Presión Barométrica Ambiente
- Caída de Presión al Ingreso
- Caída de Presión a la Salida

Las condiciones de diseño y referencia que se ha considerado son las siguientes:

Tabla N° 1
Condiciones de Diseño y de Referencia

Ítem	Unidades	Condiciones de Diseño	Condiciones de Referencia
Factor de Potencia		0.95	0.95
Temperatura Ambiente	(°C)	15	18
Humedad Relativa Ambiente	(%)	80	80

Durante la prueba realizada con Diésel, se tomó 1 lt de combustible en el 1er escalón y 7mo escalón, una parte de cada muestra fueron enviadas al laboratorio

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

para análisis y la otra permanecerá en custodia en la central (como respaldo) hasta que el Experto Técnico indique la conformidad de los resultados del laboratorio.

Los resultados de dichos análisis se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 2
Reporte Cromatográfico del Combustible – Diésel

Reporte	Fecha / Hora	Poder Calorífico Inferior		Poder Calorífico Superior		Densidad
		kcal/kg	MJ/kg	kcal/kg	MJ/kg	kg/m ³
1er Escalón	30.11.2021	10257,9650	42,9480	10939,5315	45,8016	835,5
7mo Escalón	30.11.2021	10257,9650	42,9480	10939,5315	45,8016	835,5

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

RESULTADOS

1.1. Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Superior)

Tabla N° 3

Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

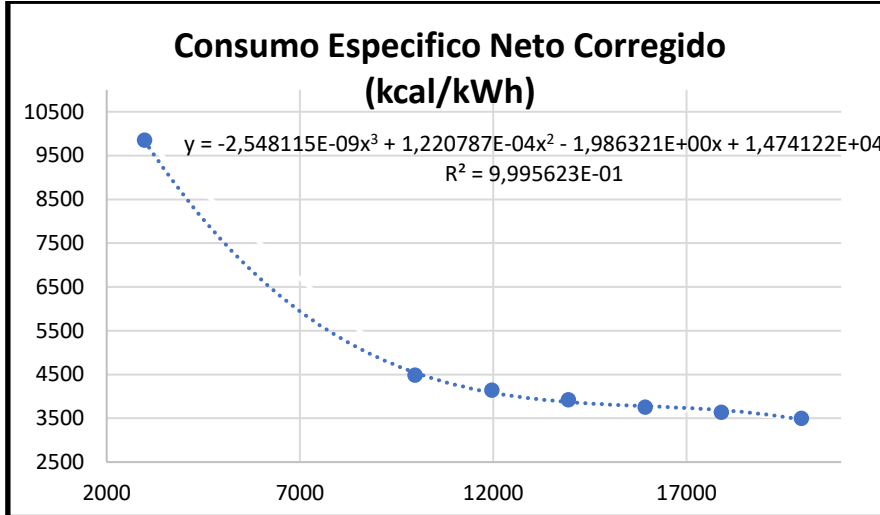
Escalón	Potencia Nominal	Potencia Bruta Medida	Potencia Neta Medida	Consumo de Combustible Medido	Consumo Especifico Neto Medido		Consumo Especifico de Combustible Neto Medido	Eficiencia Neto Medido	Potencia Bruta Corregida	Potencia Neta Corregida	Consumo Especifico Neto Corregido		Incertidumbre		Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido	Eficiencia Neto Corregido
	(kW)	(kW)	(kW)	(m³/h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m³/kWh)	(%)	(MW)	(kW)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m³/kWh)	(%)
1er Escalón	3000	3,027	2977,160	3,216	9257,218	38758,121	0,902	9,288	3,056	2977,188	9847,261	41228,511	± 0,399	± 1,671	0,960	8,732
2do Escalón	10000	10,049	9978,705	4,906	4213,642	17641,675	0,411	20,406	10,129	9978,784	4484,339	18852,718	± 0,059	± 0,246	0,437	19,174
3er Escalón	12000	12,046	11965,509	5,425	3885,504	16267,828	0,379	22,130	12,101	11965,564	4139,084	17367,915	± 0,051	± 0,213	0,403	20,774
4to Escalón	14000	14,033	13941,145	5,987	3680,707	15410,385	0,359	23,361	14,068	13941,180	3923,615	16441,195	± 0,053	± 0,223	0,382	21,915
5to Escalón	16000	16,036	15930,869	6,545	3520,842	14741,060	0,343	24,422	16,070	15930,903	3753,608	15725,385	± 0,043	± 0,181	0,366	22,907
6to Escalón	18000	18,024	17903,118	7,114	3405,608	14258,601	0,332	25,248	18,045	17903,139	3631,778	15206,433	± 0,045	± 0,188	0,354	23,676
7mo Escalón	20580	20,107	19969,341	7,643	3280,206	13733,566	0,320	26,213	20,155	19969,388	3496,843	14651,541	± 0,028	± 0,117	0,341	24,589

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 1

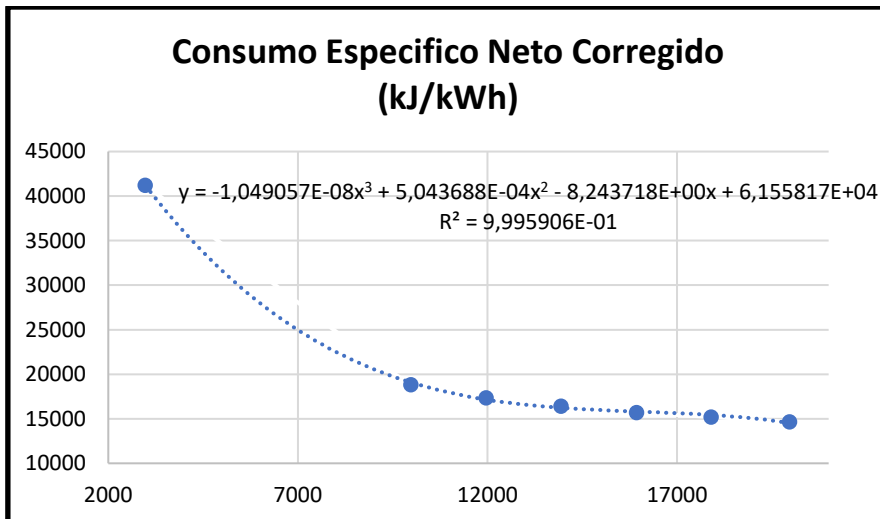
Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh)	
a ₀	1,474122E+04
a ₁	2,890535E+00
a ₂	1,220787E-04
a ₃	-2,548115E-09

Ilustración N° 2

Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

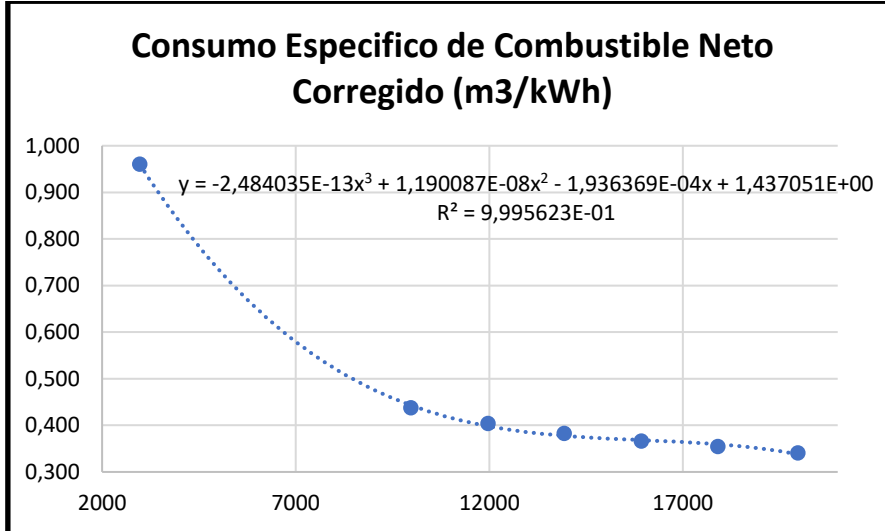


Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh)	
a ₀	6,155817E+04
a ₁	-8,243718E+00
a ₂	5,043688E-04
a ₃	-1,049057E-08

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión 1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 3

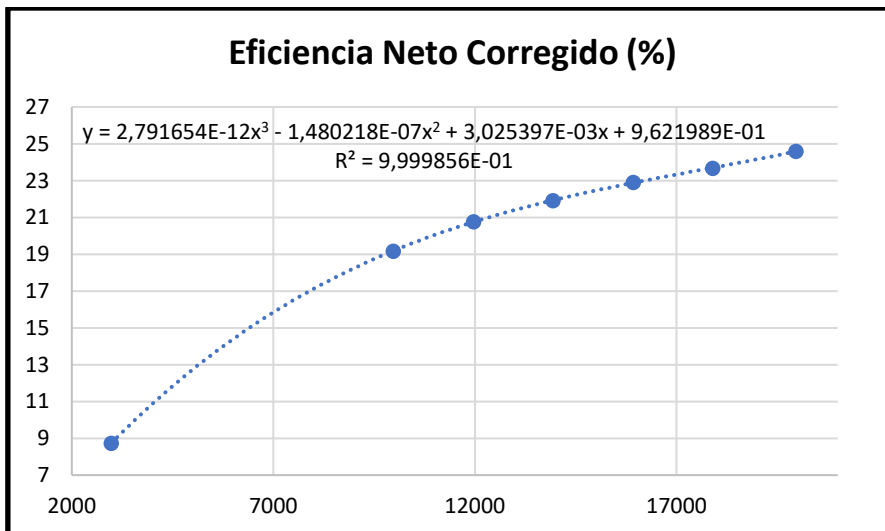
Curva Característica del Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m³/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m ³ /kWh)	
a ₀	1,437051E+00
a ₁	-1,936369E-04
a ₂	1,190087E-08
a ₃	-2,484035E-13

Ilustración N° 4

Curva Característica de la Eficiencia Neto Corregido (%) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



Eficiencia Neto Corregido (%)	
a ₀	9,621989E-01
a ₁	3,025397E-03
a ₂	-1,480218E-07
a ₃	2,791654E-12

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

1.2. Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Inferior)¹

Tabla N° 4

Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)

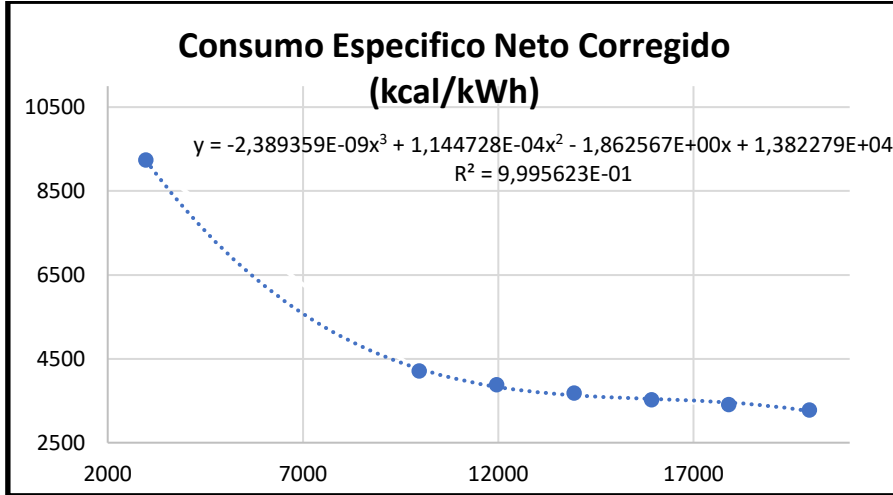
Escalón	Potencia Nominal	Potencia Bruta Medida	Potencia Neta Medida	Consumo de Combustible Medido	Consumo Especifico Neto Medido		Consumo Especifico de Combustible Neto Medido	Eficiencia Neto Medido	Potencia Bruta Corregida	Potencia Neta Corregida	Consumo Especifico Neto Corregido		Incertidumbre		Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido	Eficiencia Neto Corregido
	(kW)	(kW)	(kW)	(m³/h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m³/kWh)	(%)	(MW)	(kW)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m³/kWh)	(%)
1er Escalón	3000	3,027	2977,160	3,216	9257,218	38758,121	0,902	9,288	3,056	2977,188	9233,746	38659,848	± 0,374	± 1,567	0,900	9,312
2do Escalón	10000	10,049	9978,705	4,906	4213,642	17641,675	0,411	20,406	10,129	9978,784	4204,951	17678,135	± 0,055	± 0,231	0,410	20,448
3er Escalón	12000	12,046	11965,509	5,425	3885,504	16267,828	0,379	22,130	12,101	11965,564	3881,206	16285,841	± 0,048	± 0,200	0,378	22,154
4to Escalón	14000	14,033	13941,145	5,987	3680,707	15410,385	0,359	23,361	14,068	13941,180	3679,162	15416,858	± 0,050	± 0,209	0,359	23,371
5to Escalón	16000	16,036	15930,869	6,545	3520,842	14741,060	0,343	24,422	16,070	15930,903	3519,747	14745,645	± 0,040	± 0,169	0,343	24,429
6to Escalón	18000	18,024	17903,118	7,114	3405,608	14258,601	0,332	25,248	18,045	17903,139	3405,507	14259,025	± 0,042	± 0,176	0,332	25,249
7mo Escalón	20580	20,107	19969,341	7,643	3280,206	13733,566	0,320	26,213	20,155	19969,388	3278,979	13738,705	± 0,026	± 0,109	0,320	26,223

¹ Reporte realizado de forma informativa y de manera adicional.

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL					
INFORME		PROPIETARIO		GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional		ENEL	Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 5

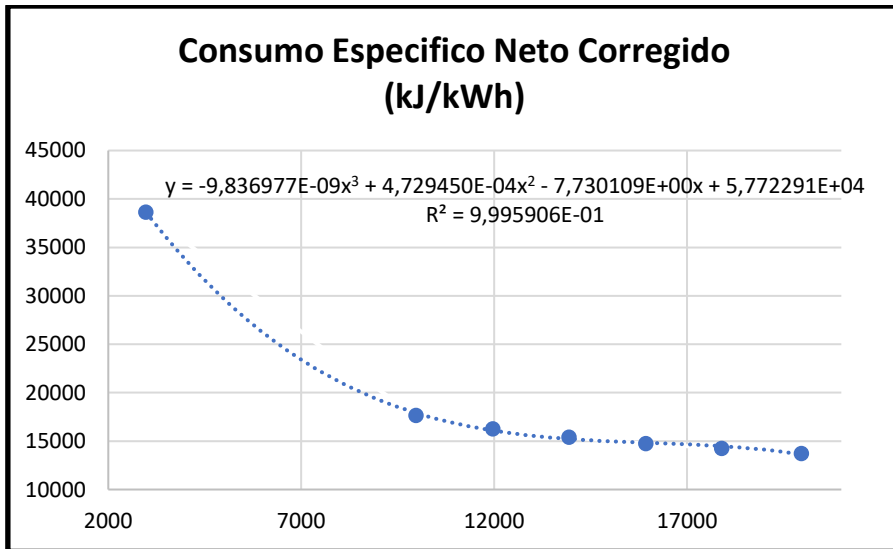
Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)



Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh)	
a ₀	1,382279E+04
a ₁	2,710446E+00
a ₂	1,144728E-04
a ₃	-2,389359E-09

Ilustración N° 6

Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)

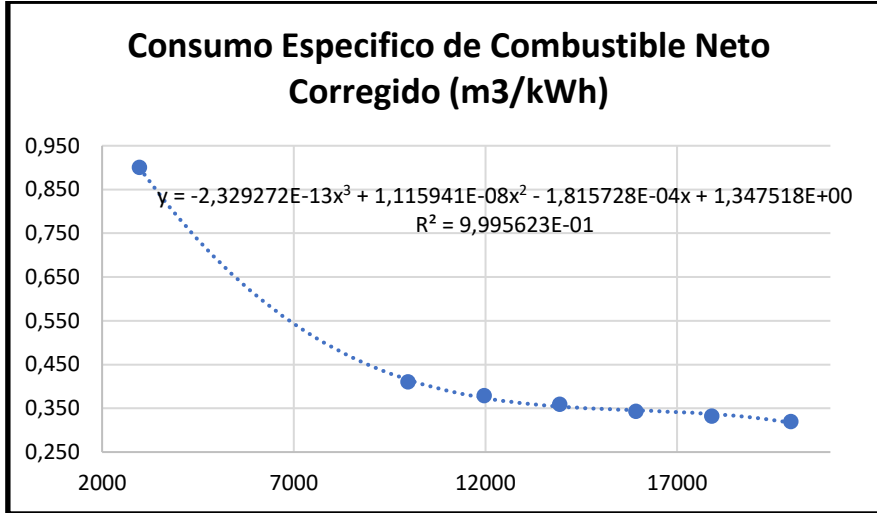


Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh)	
a ₀	5,772291E+04
a ₁	-7,730109E+00
a ₂	4,729450E-04
a ₃	-9,836977E-09

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
			Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 7

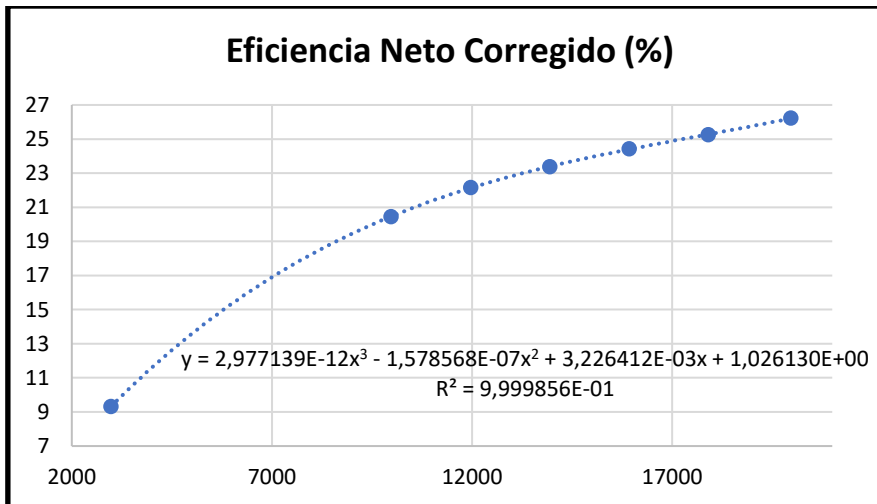
Curva Característica del Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m³/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)



Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m ³ /kWh)	
a ₀	1,347518E+00
a ₁	-1,815728E-04
a ₂	1,115941E-08
a ₃	-2,329272E-13

Ilustración N° 8

Curva Característica de la Eficiencia Neto Corregido (%) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)



Eficiencia Neto Corregido (%)	
a ₀	1,026130E+00
a ₁	3,226412E-03
a ₂	-1,578568E-07
a ₃	2,977139E-12

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
		Hamek Ingenieros Asociados	

1 INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Descripción de la Empresa

ENGIE Energía Chile es una empresa con presencia en los mercados de generación, transmisión y suministro de electricidad, transporte de gas e infraestructura portuaria. Sus principales clientes provienen de los sectores minería, industrial y de distribución eléctrica, tanto del norte como de la zona centro y sur del país. En 2020, sus ventas de energía ascendieron a 11.408 GWh, un aumento de 3% respecto del año 2019. La generación bruta durante el 2020 fue de 6.945 GWh, un 22% mayor que la de 2019, la participación del mercado de potencia de ENGIE en Chile es del 8% de los 26.1 GW de potencia instalados.

1.2 Descripción de la Central Termoeléctrica Tocopilla

La Central Termoeléctrica Tocopilla, se ubica en la región de Antofagasta, Chile.

Esta central está conformada por turbinas de gas, TG1 y TG2, cuyas características se indican a continuación:

Tabla 1-1: Descripción de la Central Termoeléctrica Tocopilla

Concepto ²	Unidad	Unidad TG2	Unidad TG2
Marca		GE	GE
Modelo		PG 5341	PG 5341
Fabricante		HITACHI-GE	HITACHI-GE
Tipo de Unidad		Turbina de Gas	Turbina de Gas
Tipo de Combustible		Petróleo Diésel	Petróleo Diésel
Año de Fabricación	Año	1973	1973
Fecha de Entrada en Operación	Año	1976	1977
Potencia Nominal	MW	25.6	25.6
Potencia Neta Efectiva	MW	20.423	
Potencia Mínimo Técnico para control de Frecuencia	MW	10	10
Potencia Mínimo Técnico con Diésel	MW	3	3
Potencia Mínimo Técnico Ambiental con Diésel	MW	3	3
Tensión Nominal	kV	11.5	11.5
Factor de Potencia	-	0.85	0.85
Velocidad de Rotación Turbina	RPM	5100	5100

² Información extraída desde:

https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras?id_propietario=399

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados

Velocidad de Rotación Generador	RPM	3000	3000
---------------------------------	-----	------	------

2 OBJETIVO DE LAS PRUEBAS

2.1 Pruebas de Consumos Específicos Neto

Estos ensayos tienen por objeto contar con toda la información necesaria para calcular los Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 a partir de una operación a distintas cargas, y bajo condiciones de estabilidad requeridas.

Durante los ensayos se han medido los siguientes parámetros:

Tabla 2-1: Variables primarias

Ítem	Variable	Características del instrumento de medición		
		Clase	Incertidumbre	Frecuencia
Variables de Condiciones Ambientales				
a)	Temperatura Ambiente	Clase 1	0.5 °C (Temp menor a 90 °C)	1 min
b)	Humedad Relativa Ambiente	Clase 1	3.0%	1 min
c)	Presión Ambiente	Clase 1	0.1% (Máximo 0.3%)	1 min
Variables Eléctricas				
a)	Potencia Activa Bruta	Clase 1	0.1%	1 min
b)	Potencia Reactiva Bruta	Clase 1	0.1%	1 min
c)	Factor de Potencia Bruta	Clase 1	0.1%	1 min
d)	Potencia Activa Neta	Esta variable se deducirá de la formula (P bruta – P ssAA – P perdidas del trafo principal)		
e)	Potencia Reactiva Neta	Clase 1	0.1%	1 min
f)	Factor de Potencia Neta	Clase 1	0.1%	1 min
g)	Potencia de Excitación	Clase 1	0.1%	1 min
h)	Consumo de SSAA	Clase 1	0.1%	1 min
i)	Consumo de la Bomba prealimentadora de Inyección de Agua (sólo operación diésel)	Clase 1	0.1%	1 min
Consumo de Combustible				
a)	Consumo de Diesel.	Clase 1	0.1%	1 min
Condiciones Operativas				
a)	Caída de Presión al Ingreso	Clase 1	0.1%	1 min
b)	Presión de Gases de Escape	Clase 1	0.1%	1 min

Así mismo, se registraron las siguientes variables secundarias que son las que se miden, pero no entran en el cálculo de la Determinación de Consumos Específicos de Unidades Generadoras, pero se miden para asegurarse que no se ha violado la condición de prueba requerida:

- a. Tensión.
- b. Velocidad de Rotación
- c. Consumos propios o auxiliares.
- d. Temperatura de gases de escape.
- e. Temperatura del combustible.

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

- f. Presión de Ingreso de aire al compresor
- g. Presión de descarga del compresor.
- h. Presión de ingreso del fluido de trabajo

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

3 PROGRAMA DE LAS PRUEBAS

Conforme se ha indicado en el Acta de Ensayo, luego de coordinaciones previas y a la luz de las condiciones encontradas en la unidad TG2 a ser evaluada, se definió finalmente el Programa de Pruebas de Consumo Especifico Neto de la unidad que se muestra en la siguiente tabla

Tabla 3-1: Programa de Pruebas de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla

HITOS DE DESARROLLO DE LA PRUEBA – UNIDAD GENERADORA TG2 EN CICLO ABIERTO CON DIÉSEL				
Hito	Hora	Potencia	Inicio	Final
Toma de carga y estabilización			18:12	18:25
Prueba CEN a Potencia Máxima	P _{Pot. Máx}	3 MW	18:25	18:55
Toma de carga y estabilización			18:55	19:05
Prueba CEN a 6 ^{ta} Carga Intermedia	P _{6ta Parcial}	10 MW	19:05	19:35
Toma de carga y estabilización			19:35	19:45
Prueba CEN a 5 ^{ta} Carga Intermedia	P _{5ta Parcial}	12 MW	19:45	20:15
Toma de carga y estabilización			20:15	20:25
Prueba CEN a 4 ^{ta} Carga Intermedia	P _{4ta Parcial}	14 MW	20:25	20:55
Toma de carga y estabilización			20:55	21:05
Prueba CEN a 3 ^{ra} Carga Intermedia	P _{3ra Parcial}	16 MW	21:05	21:35
Toma de carga y estabilización			21:35	21:45
Prueba CEN a 2 ^{da} Carga Intermedia	P _{2da Parcial}	18 MW	21:45	22:15
Toma de carga y estabilización			22:15	22:30
Prueba CEN a Mínimo Técnico Ambiental	P _{Min. Téc. Amb.}	20,52 MW	22:30	23:00

Tabla 3-2: Duración de las Pruebas de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla

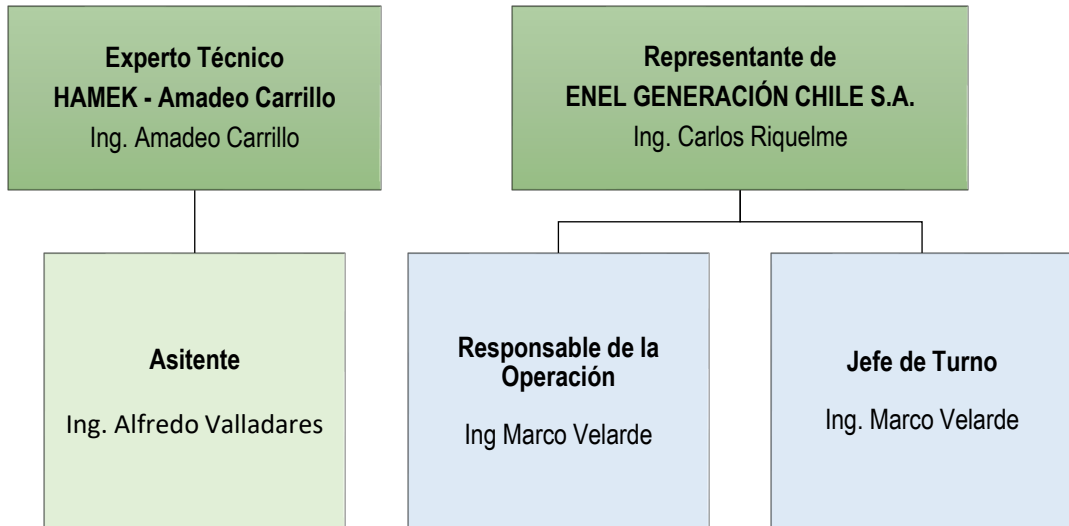
Descripción	Nomenclatura	Potencia	Duración
Prueba CEN a Potencia Máxima.	P _{Pot. Máx.}	3 MW	30 min.
Prueba CEN a 2 ^{da} Carga Intermedia	P _{2da. Parcial}	10 MW	30 min.
Prueba CEN a 3 ^{ra} Carga Intermedia	P _{3ra. Parcial}	12 MW	30 min.
Prueba CEN a 4 ^{ta} Carga Intermedia	P _{4ta. Parcial}	14 MW	30 min.
Prueba CEN a 5 ^{ta} Carga Intermedia	P _{5ta. Parcial}	16 MW	30 min.
Prueba CEN a 6 ^{ta} Carga Intermedia	P _{6ta. Parcial}	18 MW	30 min.
Prueba CEN a Mínimo Técnico Ambiental	P _{Min. Téc. Amb.}	20,52 MW	30 min.

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

4 PARTICIPANTES EN LAS PRUEBAS Y ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL

Durante las pruebas han participado, el representante de ENEL GENERACION CHILE S.A., el Experto Técnico y el Asistente de la CONSULTORA; como se indica en el siguiente gráfico.

Ilustración 4-1: Participantes y Organización del Personal durante las Pruebas



5 CONDICIONES DE DISEÑO Y REFERENCIA

Según el Artículo 36 del Anexo Técnico, el Consumo Especifico Neto determinado en la prueba correspondiente, podrá ser corregido a fin de homologarla con los valores de referencia para los cuales fue calculado el Consumo Especifico original de garantía. Para ello se hace uso de las Curvas de Corrección de las Unidades Generadoras de la Central Termoeléctrica.

Las condiciones de referencia a las cuales hay que corregir el Consumo Especifico Neto Medido son los que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 5-1: Condiciones de Referencia

Ítem	Unidades	Condiciones de Diseño	Condiciones de Referencia
Factor de Potencia		0.95	0.95
Temperatura Ambiente	(°C)	15	18
Humedad Relativa Ambiente	(%)	80	80

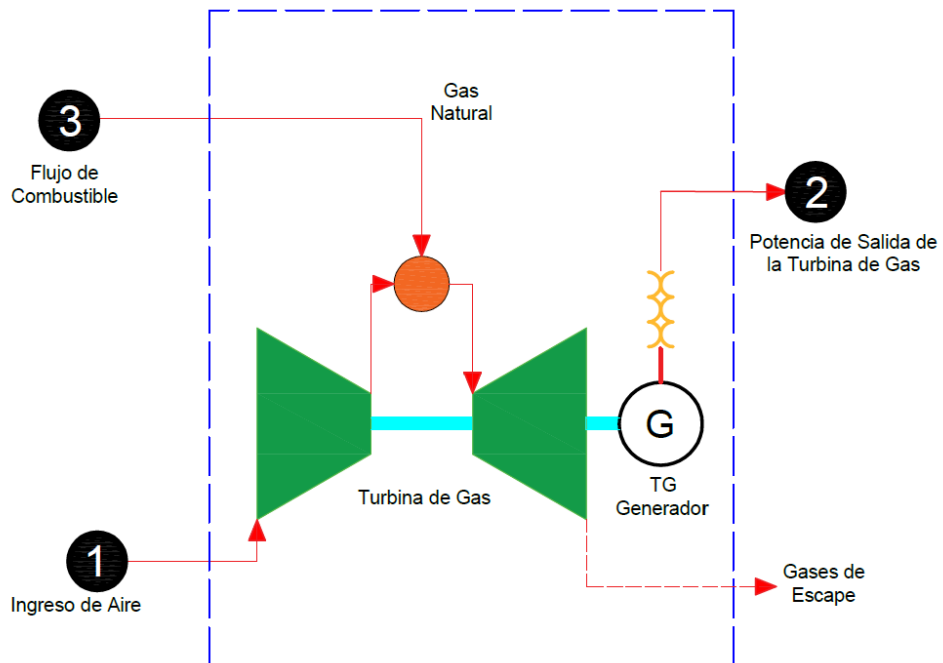
ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

6 FRONTERA DE PRUEBA, MEDICIONES REQUERIDAS E INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

6.1 Frontera de Prueba y Mediciones Requeridas

La frontera de prueba identifica los flujos de energía que deben ser medidos para calcular los resultados corregidos. En la siguiente figura se identifica dichos flujos, considerando que son los que atraviesan la frontera, los otros flujos que se quedan dentro de la frontera no se necesitan para obtener los resultados corregidos; sin embargo, sirven para verificar las condiciones operativas.

Ilustración 6-1: Frontera de Prueba de la Unidad Generadora TG2



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

1. Ingreso de aire para combustión, se requiere medir la temperatura, presión y humedad en donde el aire ingresa al compresor de la turbina a gas.
2. Potencia de salida del generador de la turbina a gas.
3. Flujo de Diésel que ingresa a la turbina de gas.

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados

6.2 Variables Medidas e Instrumentación de Medición

6.2.1 Variables Primarias

Estas variables son las que se miden y se utilizan en los cálculos de resultados de la Determinación de Consumos Específicos de la Unidad Generadora TG2 y TG2, pertenecientes a la Central Termoeléctrica Tocopilla. En la siguiente tabla se indica estas variables y los instrumentos de medición utilizados.

Tabla 6-1: Variables e Instrumentos de Medición Utilizados en las Pruebas

Variables Medidas	Unidad	Marca	Modelo	Serie
Potencia Bruta				
Parámetros eléctricos: Potencia, factor de potencia	TG2	HIOKI	PW3198	150930574
Potencia de Servicios Auxiliares				
Parámetros eléctricos: Potencia, factor de potencia	TG2	HIOKI	PW3198	150930573
Potencia de Excitación				
Parámetros eléctricos: Potencia, factor de potencia	TG2	HIOKI	PQ3198	190630405
Condiciones Ambientales				
Parámetros ambientales: Presión ambiente.	TG2	Vaisala	PTU301	R2440372
Consumo de Diésel				
Flujo, temperatura y presión de combustible (Diésel)	TG2	PROMASS F	80	DA02DA16000

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO		GENERADORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional		Hamek Ingenieros Asociados
				CONSULTORA
				Hamek Ingenieros Asociados

7 REPORTE DE COMBUSTIBLE

7.1 Reporte de Diésel

Durante la prueba realizada con Diésel, se tomó 1 lt de combustible en el 1er escalón y 7mo escalón, una parte de cada muestra fueron enviadas al laboratorio para análisis y la otra permanecerá en custodia en la central (como respaldo) hasta que el Experto Técnico indique la conformidad de los resultados del laboratorio.

Los resultados de dichos análisis se muestran en la siguiente tabla

Tabla 7-1: Reporte de Combustible – TG2 - Diésel

Reporte	Fecha / Hora	Poder Calorífico Inferior		Poder Calorífico Superior		Densidad
		kcal/kg	MJ/kg	kcal/kg	MJ/kg	kg/m ³
1er Escalón	29.11.2021	10257,9650	42,9480	10939,5315	45,8016	835,5
7mo Escalón	29.11.2021	10257,9650	42,9480	10939,5315	45,8016	835,5

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

8 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

8.1 Validación de Datos

Las mediciones de las Variables Primarias, cuyos datos registrados se encuentren fuera de los rangos de fluctuación indicados en la siguiente tabla serán eliminados. Respecto a los datos que serán eliminados, se debe condicionar la prueba a la estabilidad exigida.

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

Tabla 8-1: Condiciones de estabilidad de la Prueba de Consumo Especifico Neto de la Unidad Generadora TG2

Parámetro	Máxima fluctuación respecto al valor promedio
Potencia eléctrica de salida	0.65%
Factor de Potencia	0.65%
Presión barométrica	0.16 %
Temperatura del aire de ingreso	1.3 °F o (0.7 °C)
Flujo de combustible	0.65 %
Velocidad de rotación	0.33 %

8.2 Cálculos de los Consumos Específicos Neto

8.2.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido (HRN_M)

Para los datos validados, se determinará el Consumo Especifico Neto Medido o Heat Rate Neto Medido durante el escalón ensayado (HRN_M); considerando el consumo de Diésel, el poder calorífico superior del Diésel utilizado como combustible (HHV) y la potencia neta medida en cada carga (escalón) ensayada. Para ellos se aplicará la siguiente formula:

$$HRN_M = \frac{\dot{m}_{GN} * HHV}{PN_M}$$

Donde:

- HRN_M : Heat Rate Neto Medido, kJ/kWh.
- \dot{m}_{GN} : Consumo de Diésel, m³/h o kg/h.
- HHV : Poder Calorífico Superior del Diésel, kJ/m³ o kJ/kg.
- PN_M : Potencia Neta Medida, kW.

Donde:

$$PN_M = PB_M - P_{SSAA} - P_{\text{Perdidas trafo Principal}}$$

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados

- PB_M : Potencia Bruta Medido, kJ/kWh.
- $SSAA$: Consumo de SSAA.
- P Perdidas trafo Principal: Perdidas en el transformador Principal

8.2.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido (HRN_C)

Para calcular el valor de Consumo Especifico Neto Corregido o Heat Rate Neto Corregido, estas deberán ser ajustadas por medio de la aplicación de factores de corrección multiplicativos. Para ello se aplicará la siguiente formula:

$$HRN_C = HRN_M * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4$$

Donde:

- HRN_C : Heat Rate Neto Corregido, kJ/kWh.
- HRN_M : Heat Rate Neto Medido, kJ/kWh.
- α_1 : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente.
- α_2 : Factor de Corrección por Humedad Relativa.
- α_3 : Factor de Corrección por Presión de Ambiente.
- α_4 : Factor de Corrección por Velocidad de Turbina.

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

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

Donde:

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

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

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

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

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

Donde:

- α_3 : Factor de Corrección por Presión Ambiente.
- α_{3a} : Factor de Corrección por Presión Ambiente a las condiciones de referencia.
- α_{3b} : Factor de Corrección por Presión Ambiente a las condiciones de prueba.

Para, el factor de corrección por Velocidad de Turbina (α_4) se deduce de la siguiente manera:

$$\alpha_4 = \frac{\alpha_{4a}}{\alpha_{4b}}$$

Donde:

- α_4 : Factor de Corrección por Velocidad de la Turbina.
- α_{4a} : Factor de Corrección por Velocidad de la Turbina a las condiciones de referencia.
- α_{4b} : Factor de Corrección por Velocidad de la Turbina a las condiciones de prueba.

Finalmente, para determinar el Consumo de Combustible Corregido a la base del Coordinador se aplicará la siguiente relación:

$$CC_{c-PCS} = \frac{HRN_c}{PCS_r}$$

Donde:

- CC_{c-PCS} : Consumo específico de combustible expresado en kg/kWh
- PCS_r : Poder Calórico Superior de Referencia (base del Coordinador) del diésel, igual a 11000 kcal/kg; equivalente a 46054 kJ/kg.

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

8.3 Cálculos de la incertidumbre

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 simple esta norma muestra que la incertidumbre más grande deseada es igual a 0.8%.

8.3.1 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.

La expresión anterior nos muestra la incertidumbre absoluta, es decir, en la unidad del resultado de la prueba (Consumos Específicos Neto Corregido), para calcular la incertidumbre relativa porcentual se aplica lo siguiente:

$$U_R \% = \frac{U_R}{R}$$

a) Cálculo de la Incertidumbre Sistemática Absoluta

La incertidumbre sistemática absoluta 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.

La incertidumbre Sistemática Instrumental de cada variable que interviene en el cálculo del resultado final se obtendrá de:

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

$$B_{\bar{P}_i} = \frac{\text{Precisión}\%}{100} \cdot \bar{X}_i$$

El coeficiente de sensibilidad absoluto se obtendrá de:

$$\theta_i = \frac{\partial R}{\partial \bar{X}_i} \approx \frac{\Delta R}{\Delta \bar{X}_i}$$

Así también, el coeficiente de sensibilidad relativa se obtendrá de:

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

Donde:

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

El valor de \bar{X}_i , llamado Valor Medio, 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.

b) Cálculo de la Incertidumbre Aleatoria Absoluta

La incertidumbre aleatoria absoluta se dará por:

$$tS_R = \sqrt{\sum_i (\theta_i \cdot S_{\bar{X}_i} \cdot t_{95,\nu})^2}$$

Donde:

- N_j : Número total de lecturas de la variable i.

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

- tS_R : Incertidumbre aleatoria Absoluta.
- $S_{\bar{x}_i}$: Desviación estándar de la media de la variable X_i .
- $t_{95,v}$: t Student's con 95% de Confiabilidad y $v = N_j - 1$ grados de libertad.

La desviación estándar de la media se obtendrá de:

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

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

9 CÁLCULO DE CONSUMO ESPECÍFICO NETO

Los cuadros de cálculo de la prueba de Consumo Especifico Neto de la Unidad Generadora TG2 operando con Diésel de la Central Térmica Tocopilla, se muestran en el Apéndice C.

10 RESULTADOS

10.1 Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Superior)

Tabla Nº 5

Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

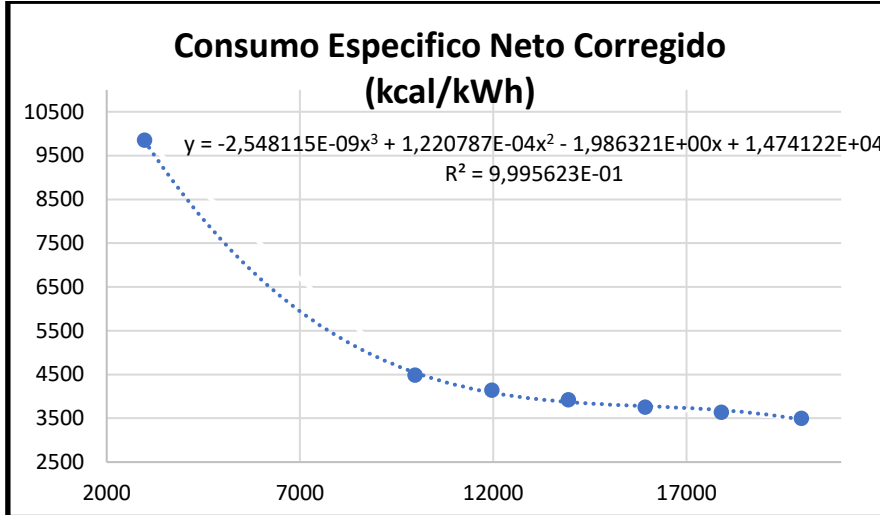
Escalón	Potencia Nominal	Potencia Bruta Medida	Potencia Neta Medida	Consumo de Combustible Medido	Consumo Especifico Neto Medido		Consumo Especifico de Combustible Neto Medido	Eficiencia Neto Medido	Potencia Bruta Corregida	Potencia Neta Corregida	Consumo Especifico Neto Corregido		Incertidumbre		Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido	Eficiencia Neto Corregido
	(kW)	(kW)	(kW)	(m ³ /h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m ³ /kWh)	(%)	(MW)	(kW)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m ³ /kWh)	(%)
1er Escalón	3000	3,027	2977,160	3,216	9257,218	38758,121	0,902	9,288	3,056	2977,188	9847,261	41228,511	± 0,399	± 1,671	0,960	8,732
2do Escalón	10000	10,049	9978,705	4,906	4213,642	17641,675	0,411	20,406	10,129	9978,784	4484,339	18852,718	± 0,059	± 0,246	0,437	19,174
3er Escalón	12000	12,046	11965,509	5,425	3885,504	16267,828	0,379	22,130	12,101	11965,564	4139,084	17367,915	± 0,051	± 0,213	0,403	20,774
4to Escalón	14000	14,033	13941,145	5,987	3680,707	15410,385	0,359	23,361	14,068	13941,180	3923,615	16441,195	± 0,053	± 0,223	0,382	21,915
5to Escalón	16000	16,036	15930,869	6,545	3520,842	14741,060	0,343	24,422	16,070	15930,903	3753,608	15725,385	± 0,043	± 0,181	0,366	22,907
6to Escalón	18000	18,024	17903,118	7,114	3405,608	14258,601	0,332	25,248	18,045	17903,139	3631,778	15206,433	± 0,045	± 0,188	0,354	23,676
7mo Escalón	20580	20,107	19969,341	7,643	3280,206	13733,566	0,320	26,213	20,155	19969,388	3496,843	14651,541	± 0,028	± 0,117	0,341	24,589

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 9

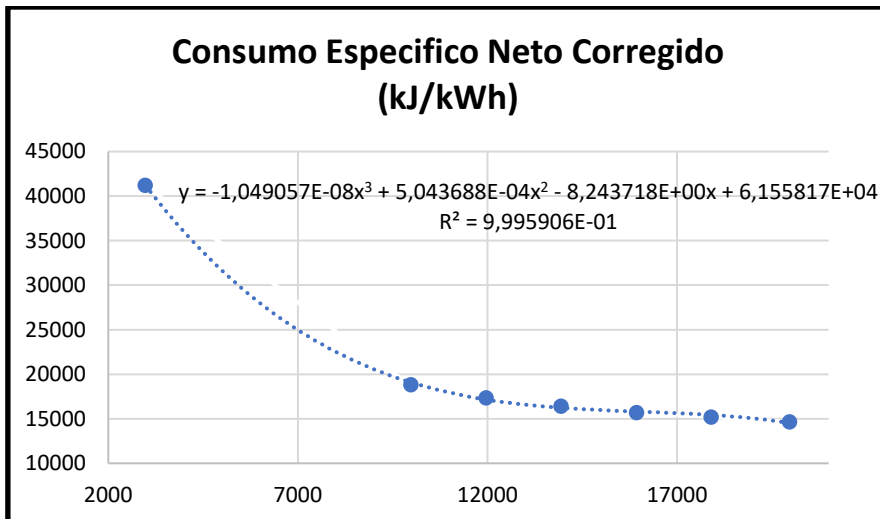
Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh)	
a ₀	1,474122E+04
a ₁	2,890535E+00
a ₂	1,220787E-04
a ₃	-2,548115E-09

Ilustración N° 10

Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

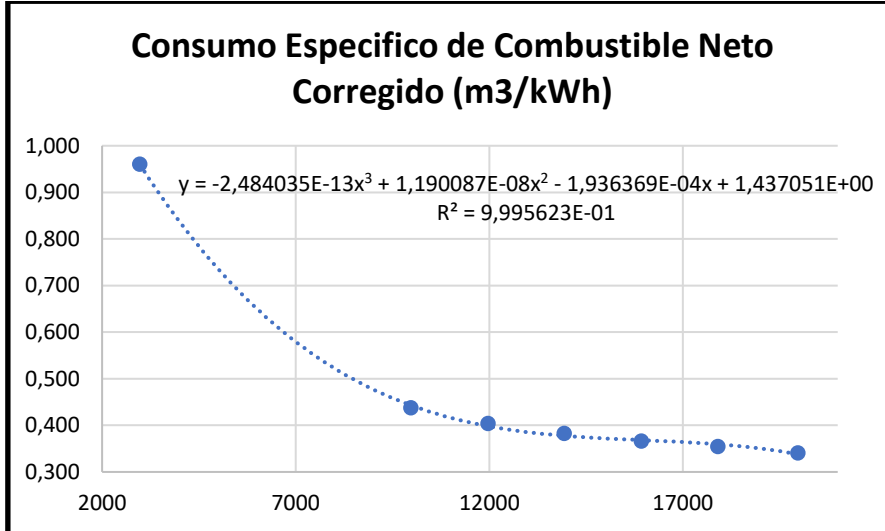


Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh)	
a ₀	6,155817E+04
a ₁	-8,243718E+00
a ₂	5,043688E-04
a ₃	-1,049057E-08

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
			Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 11

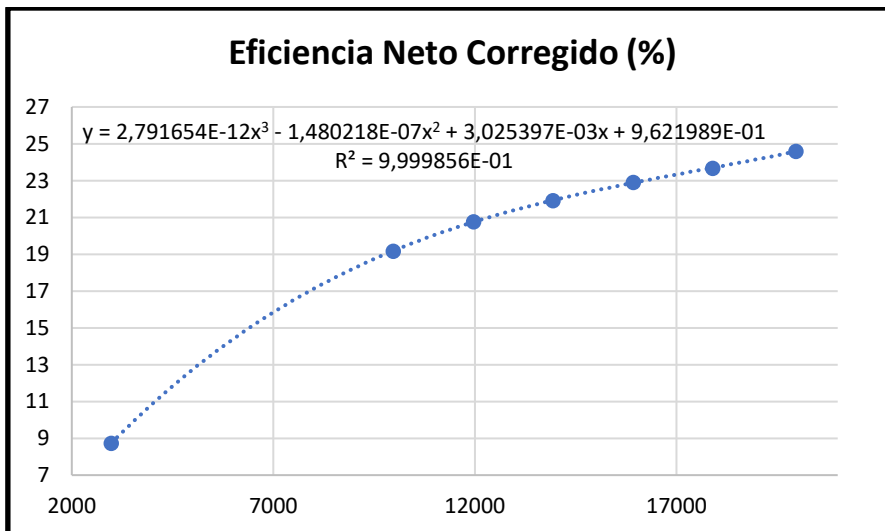
Curva Característica del Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m³/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m ³ /kWh)	
a ₀	1,437051E+00
a ₁	-1,936369E-04
a ₂	1,190087E-08
a ₃	-2,484035E-13

Ilustración N° 12

Curva Característica de la Eficiencia Neto Corregido (%) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)



Eficiencia Neto Corregido (%)	
a ₀	9,621989E-01
a ₁	3,025397E-03
a ₂	-1,480218E-07
a ₃	2,791654E-12

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	Hamek Ingenieros Asociados

10.2 Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Inferior)³

Tabla N° 6

Resultados de las Pruebas de Consumos Especificos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)

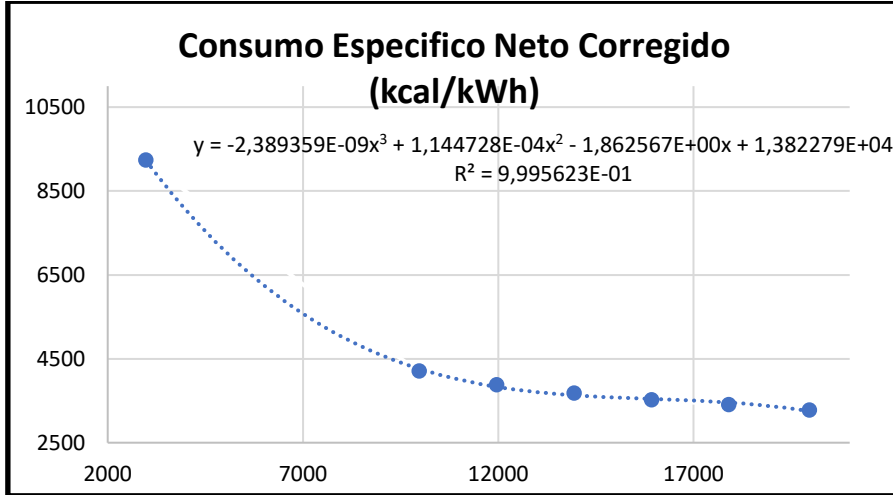
Escalón	Potencia Nominal	Potencia Bruta Medida	Potencia Neta Medida	Consumo de Combustible Medido	Consumo Especifico Neto Medido		Consumo Especifico de Combustible Neto Medido	Eficiencia Neto Medido	Potencia Bruta Corregida	Potencia Neta Corregida	Consumo Especifico Neto Corregido		Incertidumbre		Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido	Eficiencia Neto Corregido
	(kW)	(kW)	(kW)	(m ³ /h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m ³ /kWh)	(%)	(MW)	(kW)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m ³ /kWh)	(%)
1er Escalón	3000	3,027	2977,160	3,216	9257,218	38758,121	0,902	9,288	3,056	2977,188	9233,746	38659,848	± 0,374	± 1,567	0,900	9,312
2do Escalón	10000	10,049	9978,705	4,906	4213,642	17641,675	0,411	20,406	10,129	9978,784	4204,951	17678,135	± 0,055	± 0,231	0,410	20,448
3er Escalón	12000	12,046	11965,509	5,425	3885,504	16267,828	0,379	22,130	12,101	11965,564	3881,206	16285,841	± 0,048	± 0,200	0,378	22,154
4to Escalón	14000	14,033	13941,145	5,987	3680,707	15410,385	0,359	23,361	14,068	13941,180	3679,162	15416,858	± 0,050	± 0,209	0,359	23,371
5to Escalón	16000	16,036	15930,869	6,545	3520,842	14741,060	0,343	24,422	16,070	15930,903	3519,747	14745,645	± 0,040	± 0,169	0,343	24,429
6to Escalón	18000	18,024	17903,118	7,114	3405,608	14258,601	0,332	25,248	18,045	17903,139	3405,507	14259,025	± 0,042	± 0,176	0,332	25,249
7mo Escalón	20580	20,107	19969,341	7,643	3280,206	13733,566	0,320	26,213	20,155	19969,388	3278,979	13738,705	± 0,026	± 0,109	0,320	26,223

³ Reporte realizado de forma informativa y de manera adicional.

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL					
INFORME		PROPIETARIO		GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional		ENEL	Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 13

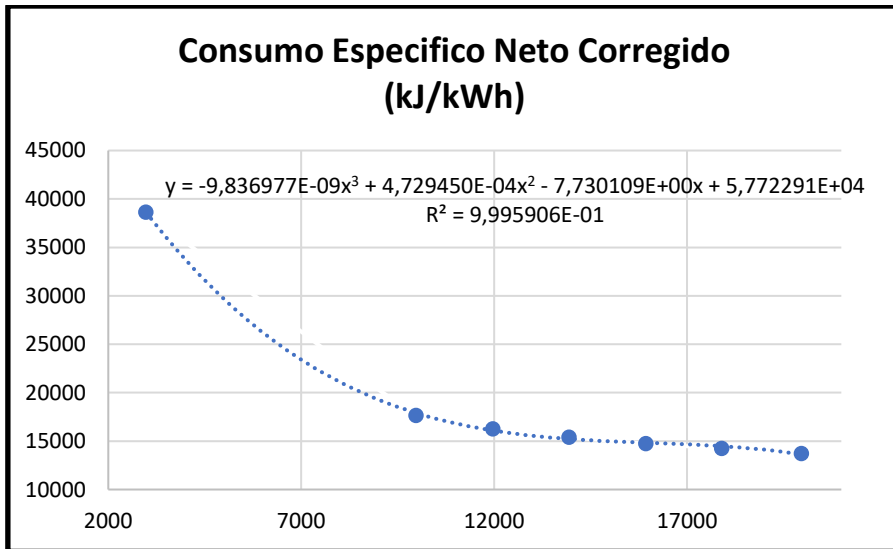
Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)



Consumo Especifico Neto Corregido (kcal/kWh)	
a ₀	1,382279E+04
a ₁	2,710446E+00
a ₂	1,144728E-04
a ₃	-2,389359E-09

Ilustración N° 14

Curva Característica del Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)

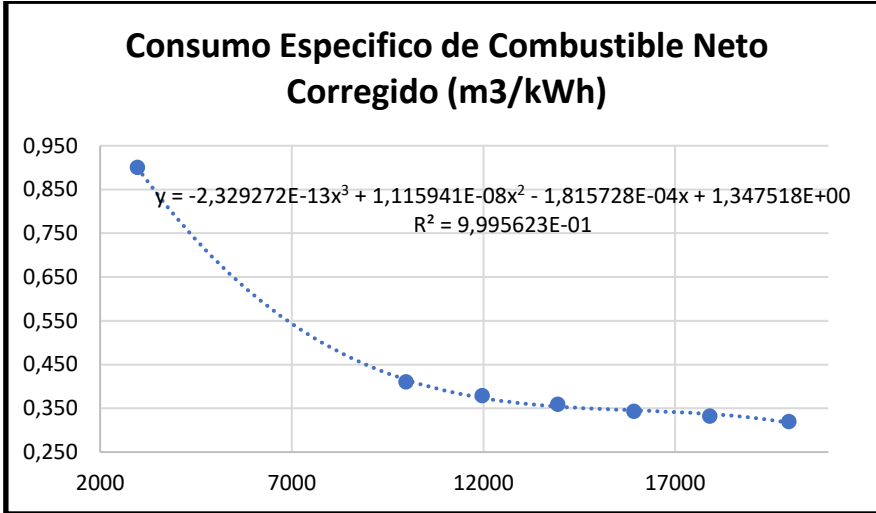


Consumo Especifico Neto Corregido (kJ/kWh)	
a ₀	5,772291E+04
a ₁	-7,730109E+00
a ₂	4,729450E-04
a ₃	-9,836977E-09

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
			Hamek Ingenieros Asociados

Ilustración N° 15

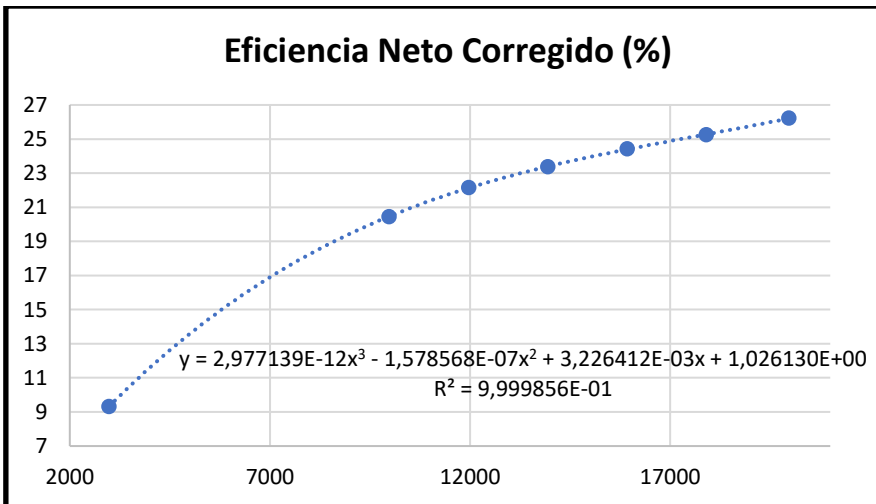
Curva Característica del Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m³/kWh) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)



Consumo Especifico de Combustible Neto Corregido (m ³ /kWh)	
a ₀	1,347518E+00
a ₁	-1,815728E-04
a ₂	1,115941E-08
a ₃	-2,329272E-13

Ilustración N° 16

Curva Característica de la Eficiencia Neto Corregido (%) de la Unidad Generadora TG2 de la Central Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)



Eficiencia Neto Corregido (%)	
a ₀	1,026130E+00
a ₁	3,226412E-03
a ₂	-1,578568E-07
a ₃	2,977139E-12

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL			
INFORME	PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
			Hamek Ingenieros Asociados

10.3 Resultados de Incertidumbre, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Superior)

Tabla 10-1: Resultados de Incertidumbre las Pruebas de Consumos Específicos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Superior)

Prueba de Consumo Específico Neto de la Unidad TG2 (Ciclo Abierto) - Central Térmica Tocopilla - (kcal/kWh)					
Descripción	CEN _c Consumo Específico Neto Corregido	Unidad	B _R Incertidumbre Sistemático de Cada Escalón	t S _R Incertidumbre Aleatorio de Cada Escalón	U _R Incertidumbre Absoluta Total de Cada Escalón
Consumo Específico Neto Corregido - 1er Escalón	9847,261	kcal/kWh	0,078	0,391	0,399
Consumo Específico Neto Corregido - 2do Escalón	4484,339	kcal/kWh	0,036	0,047	0,059
Consumo Específico Neto Corregido - 3er Escalón	4139,084	kcal/kWh	0,033	0,039	0,051
Consumo Específico Neto Corregido - 4to Escalón	3923,615	kcal/kWh	0,031	0,043	0,053
Consumo Específico Neto Corregido - 5to Escalón	3753,608	kcal/kWh	0,030	0,031	0,043
Consumo Específico Neto Corregido - 6to Escalón	3631,778	kcal/kWh	0,029	0,035	0,045

Prueba de Consumo Específico Neto de la Unidad TG2 (Ciclo Abierto) - Central Térmica Tocopilla - (kJ/kWh)					
Descripción	CEN _c Consumo Específico Neto Corregido	Unidad	B _R Incertidumbre Sistemático de Cada Escalón	t S _R Incertidumbre Aleatorio de Cada Escalón	U _R Incertidumbre Absoluta Total de Cada Escalón
Consumo Específico Neto Corregido - 1er Escalón	41228,511	kcal/kWh	0,327	1,639	1,671
Consumo Específico Neto Corregido - 2do Escalón	18852,718	kcal/kWh	0,149	0,196	0,246
Consumo Específico Neto Corregido - 3er Escalón	17367,915	kcal/kWh	0,137	0,163	0,213
Consumo Específico Neto Corregido - 4to Escalón	16441,195	kcal/kWh	0,130	0,181	0,223
Consumo Específico Neto Corregido - 5to Escalón	15725,385	kcal/kWh	0,124	0,131	0,181
Consumo Específico Neto Corregido - 6to Escalón	15206,433	kcal/kWh	0,120	0,145	0,188

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL					
INFORME		PROPIETARIO		GENERADORA	
CONSULTORA					
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Hamek Ingenieros Asociados	

10.4 Resultados de Incertidumbre, unidad TG2 (Sobre Poder Calorífico Inferior)

Tabla 10-2: Resultados de Incertidumbre las Pruebas de Consumos Especificos Neto de la Unidad Generadora TG2 de la Central Térmica Tocopilla (Sobre Poder Calorífico Inferior)

Prueba de Consumo Especifico Neto de la Unidad TG2 (Ciclo Abierto) - Central Térmica Tocopilla - (kcal/kWh)					
Descripción	CEN _c Consumo Especifico Neto Corregido	Unidad	B _R Incertidumbre Sistemático de Cada Escalón	t S _R Incertidumbre Aleatorio de Cada Escalón	U _R Incertidumbre Absoluta Total de Cada Escalón
Consumo Especifico Neto Corregido - 1er Escalón	9233,746	kcal/kWh	0,073	0,367	0,374
Consumo Especifico Neto Corregido - 2do Escalón	4204,951	kcal/kWh	0,033	0,044	0,055
Consumo Especifico Neto Corregido - 3er Escalón	3881,206	kcal/kWh	0,031	0,036	0,048
Consumo Especifico Neto Corregido - 4to Escalón	3679,162	kcal/kWh	0,029	0,040	0,050
Consumo Especifico Neto Corregido - 5to Escalón	3519,747	kcal/kWh	0,028	0,029	0,040
Consumo Especifico Neto Corregido - 6to Escalón	3405,507	kcal/kWh	0,027	0,032	0,042
Consumo Especifico Neto Corregido - 7mo Escalón	3278,979	kcal/kWh	0,026	0,003	0,026

Prueba de Consumo Especifico Neto de la Unidad TG2 (Ciclo Abierto) - Central Térmica Tocopilla - (kJ/kWh)					
Descripción	CEN _c Consumo Especifico Neto Corregido	Unidad	B _R Incertidumbre Sistemático de Cada Escalón	t S _R Incertidumbre Aleatorio de Cada Escalón	U _R Incertidumbre Absoluta Total de Cada Escalón
Consumo Especifico Neto Corregido - 1er Escalón	38659,848	kcal/kWh	0,306	1,537	1,567
Consumo Especifico Neto Corregido - 2do Escalón	17678,135	kcal/kWh	0,139	0,184	0,231
Consumo Especifico Neto Corregido - 3er Escalón	16285,841	kcal/kWh	0,129	0,152	0,200
Consumo Especifico Neto Corregido - 4to Escalón	15416,858	kcal/kWh	0,122	0,169	0,209
Consumo Especifico Neto Corregido - 5to Escalón	14745,645	kcal/kWh	0,117	0,123	0,169
Consumo Especifico Neto Corregido - 6to Escalón	14259,025	kcal/kWh	0,113	0,136	0,176
Consumo Especifico Neto Corregido - 7mo Escalón	13738,705	kcal/kWh	0,109	0,011	0,109

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL					
INFORME		PROPIETARIO		GENERADORA	
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	Hamek Ingenieros Asociados	CONSULTORA	
				Hamek Ingenieros Asociados	

APÉNDICES

ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONSULTORA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Hamek Ingenieros Asociados