



CONSORCIO:	GENERADORA:
 Hamek <small>INGENIEROS ASOCIADOS SAC</small>	
<small>AMADEO CARRILLO VILLENA</small>	

PROYECTO:	CLIENTE:
DETERMINACIÓN DE CONSUMOS ESPECÍFICOS DE UNIDADES GENERADORAS	

TITULO:	INFORME FINAL DE PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO DE LAS CENTRALES DE CICLO COMBINADO ATACAMA 1 Y 2
N° DE DOCUMENTO PROYECTO	CTA-3-INF-HMK-002

REVISIÓN:	2	EDITADO PARA	Coordinador Eléctrico Nacional
FECHA:	20-08-2019		

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	22-07-2019	Primera versión	Marco Quispe C.	Amadeo Carrillo V.
2	12-08-2019	Observaciones al Informe de Consumo Especifico Neto de las unidades Atacama 1 y Atacama 2	Marco Quispe C.	Amadeo Carrillo V.
3	20-08-2019	Segunda versión	Marco Quispe C.	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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
			Consortio HAMEK - Amadeo Carrillo

CONTENIDO GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	5
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	9
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	9
1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES DE CICLO COMBINADO ATACAMA 1 Y 2	9
2 OBJETIVO DE LAS PRUEBAS	11
2.1 PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO	11
3 PROGRAMA DE LAS PRUEBAS	12
4 PARTICIPANTES EN LAS PRUEBAS Y ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL	13
5 CONDICIONES DE DISEÑO Y REFERENCIA.....	13
6 FRONTERA DE PRUEBA, MEDICIONES REQUERIDAS E INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA.....	14
6.1 FRONTERA DE PRUEBA Y MEDICIONES REQUERIDAS	14
6.2 VARIABLES MEDIDAS E INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN	17
6.2.1 Variables Primarias	17
7 REPORTE DE COMBUSTIBLE.....	18
7.1 REPORTE DE GAS NATURAL	18
7.2 ANÁLISIS DE COMBUSTIBLE DIÉSEL	19
8 METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	20
8.1 VALIDACIÓN DE DATOS.....	20
8.2 CÁLCULOS DE LOS CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO EN CICLO ABIERTO, TG.....	20
8.2.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido ($HRN_{M,TG}$).....	20
8.2.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido ($HRN_{C,TG}$).....	21
8.3 CÁLCULOS DE LOS CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO EN CICLO CERRADO, TG.....	23
8.3.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido ($HRN_{M,CC}$).....	23
8.3.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido ($HRN_{C,CC}$).....	23
8.4 CÁLCULOS DE LA INCERTIDUMBRE	25
8.4.1 Incertidumbre de la Prueba	25
9 CÁLCULO DE CONSUMO ESPECIFICO NETO	27
10 RESULTADOS.....	28
10.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CONSUMOS ESPECÍFICOS NETO.....	28
10.2 RESULTADOS DE INCERTIDUMBRE	30

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consortio HAMEK - Amadeo Carrillo

ANEXOS

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

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1-1: Descripción de la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Atacama 1	9
Tabla 1-2: Descripción de la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Atacama 2	10
Tabla 2-1: Variables primarias	11
Tabla 3-1: Programa de Pruebas de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2	12
Tabla 5-1: Condiciones de Referencia	13
Tabla 6-1: Variables e Instrumentos de Medición Utilizados en las Pruebas	17
Tabla 7-1: Reporte de Combustible – Gas Natural	18
Tabla 7-2: Análisis de Combustible – Diésel	19
Tabla 8-1: Condiciones de estabilidad de la Prueba de Consumo Específico Neto de la Unidad Generadora TG1A	20
Tabla 10-1: Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 con Gas Natural	28
Tabla 10-2: Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 con Diésel	29

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 4-1: Participantes y Organización del Personal durante las Pruebas	13
Ilustración 6-1: Frontera de Prueba de las Centrales Atacama 1 y 2 en Ciclo Abierto	14
Ilustración 6-2: Frontera de Prueba de las Centrales Atacama 1 y 2 en Ciclo combinado 1x1	15
Ilustración 6-3: Frontera de Prueba de las Centrales Atacama 1 y 2 en Ciclo Combinado 2x1	16

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	CONTRATISTA	
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consortio HAMEK - Amadeo Carrillo

RESUMEN EJECUTIVO

Enel es una de las empresas eléctricas más importantes de Chile, que controla los negocios de generación, transmisión y distribución del país. Enel Generación Chile S.A. es a su vez la empresa de generación eléctrica más importante de Chile, con una capacidad instalada total de 6.274 MW y un parque generador de 111 unidades distribuidas a lo largo del país. Su producción alcanzó los 17.373 GWh en 2018, el 55% de ella fue hidroeléctrica, 44% de fuentes termoeléctricas y el 1% de fuente eólica.

La Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Atacama, se ubica a 50 km. al norte del puerto de Antofagasta, Mejillones, II Región de Antofagasta, Chile y está conformada por dos ciclos combinados; ambas compuestas por dos turbinas de gas y una turbina de vapor, que han sido concebidas para operar con combustible dual: gas natural y diésel.

El presente informe contiene los resultados de las pruebas de Consumo Especifico Neto de las Central de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2, operando con gas natural y diésel.

Las pruebas se ha realizaron para las siguientes configuraciones:

- TG1A / Gas Natural
- TG1A + 0.5TV1C / Gas Natural
- TG1A + 0.5TV1C / Diésel
- TG1B / Gas Natural
- TG1B + 0.5TV1C / Gas Natural
- TG1B + 0.5TV1C / Diésel
- TG1A + TG1B + TV1C / Diésel
- TG2A / Gas Natural
- TG2A + 0.5TV2C / Gas Natural
- TG2A + 0.5TV2C / Diésel
- TG2A / Gas Natural
- TG2A + 0.5TV2C / Gas Natural
- TG2A + 0.5TV2C / Diésel
- TG2A + TG2A + TV2C / Diésel

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

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

Tabla N° 1
Condiciones de Diseño y de Referencia

Ítem	Unidades	Condiciones de Diseño	Condiciones de Referencia
Factor de Potencia		0.85	0.85
Temperatura Ambiente	(°C)	15.00	15.00
Humedad Relativa Ambiente	(%)	60.00	60.00
Caída de Presión al Ingreso	(mmH ₂ O)	88.90	88.90
Caída de Presión al Escape	(inH ₂ O)	5.00	5.00
Temperatura de Agua de Mar	(°C)	17.00	17.00

Las Pruebas de Consumo Especifico Neto se realizaron con Gas Natural y con Diésel. Para las pruebas con gas natural se obtuvo un reporte cromatográfico por hora durante toda la prueba, mientras que para las pruebas con diésel se obtuvo un análisis del combustible por día ensayado; de donde se obtuvieron los valores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 2
Reporte Cromatográfico del Combustible – Gas Natural

Reporte	Poder Calorífico Superior		Densidad
	kcal/m ³	MJ/m ³	kg/m ³
Promedio	9366.4849	39.2156	0.7102

Tabla N° 3
Reporte de Análisis del Combustible – Diésel

Reporte	Poder Calorífico Superior		Poder Calorífico Inferior		Densidad
	kcal/m ³	MJ/m ³	kcal/m ³	MJ/m ³	kg/m ³
29-05-2019 / 02:23	10931.0	45770.0	10252.0	42920.0	836.4
29-05-2019 / 03:12	10931.0	45770.0	10252.0	42920.0	836.4
29-05-2019 / 04:01	10932.0	45770.0	10253.0	42930.0	835.9
Promedio	10931.3	45770.0	10252.3	42923.3	836.2

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL
			Consortio HAMEK - Amadeo Carrillo

RESULTADOS

1.1. Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto

Tabla N° 4

Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 con Gas Natural

Configuración	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 Neto C
						(kcal/kWh)	(kJ/kWh)					
		(kW)	(kW)	(kW)	(m³/h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m³/kWh)	(%)	(kW)	(kW)	(kcal/kWh)
TG1A	63000	63000	62905.059	62602.529	25053.069	3748.398	15693.792	0.400	22.939	61708.369	61405.839	3778.858
	25000	25000	25002.408	24974.234	15544.198	5829.788	24408.157	0.622	14.749	24236.122	24207.948	5887.149
TG1A+0.5TV1C	Escalón Pmáx	188400	178797.378	177887.922	38420.029	2022.963	8469.740	0.216	42.504	167894.751	166985.295	2005.000
	Escalón MTA	109000	109677.229	109215.650	26156.158	2243.188	9391.781	0.239	38.331	106149.577	105687.998	2239.421
	Escalón MT	81000	82049.079	81678.963	21534.639	2469.471	10339.183	0.264	34.819	80202.948	79832.833	2468.954
TG1B	Escalón MTA	63000	63072.128	58743.371	25184.201	4015.558	16812.340	0.429	21.413	63852.013	59523.256	4023.475
	Escalón MT	25000	26032.314	21503.248	15995.553	6967.417	29171.183	0.744	12.341	26708.083	22179.017	6958.150
TG1B+0.5TV1C	Escalón MTA	109000	110079.664	105457.481	26094.226	2317.628	9703.443	0.247	37.100	107854.279	103232.097	2310.825
	Escalón MT	81000	81244.683	76948.793	21479.539	2614.567	10946.669	0.279	32.887	79396.048	75100.158	2611.828
TG2A	Escalón MTA	63000	63479.939	62140.513	24533.132	3697.897	15482.355	0.395	23.252	62200.336	60860.910	3731.018
TG2A+0.5TV2C	Escalón MTA	109000	108386.332	107038.810	26284.180	2300.010	9629.683	0.246	37.384	106520.326	105172.804	2295.727
TG2B	Escalón MTA	63000	62707.203	58598.356	25109.874	4013.615	16804.205	0.429	21.423	61508.417	57399.569	4048.451
TG2B+0.5TV2C	Escalón MTA	109000	108592.430	104530.525	25806.427	2312.392	9681.521	0.247	37.184	106137.980	102076.075	2303.290

Tabla N° 5

Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 con Diésel

Configuración	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 Neto Corregido
		(kW)	(kW)	(kW)	(kg/h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(kg/kWh)	(%)	(kW)	(kW)	(kcal/kWh)
TG1A+0.5TV1C	Escalón Pmáx	179400	174437.816	173318.502	31063.089	1959.173	8203149.483	0.179	43.888	165869.070	164749.756	1941.962
	Escalón MT	91000	93258.698	92791.832	19594.367	2308.313	9665012.277	0.211	37.250	92051.780	91584.914	2305.260
TG1B+0.5TV1C	Escalón MT	91000	92941.927	88345.721	18631.804	2305.380	9652733.428	0.211	37.297	91830.570	87234.364	2301.359
TG1A+TG1B+TV1C	Escalón Pmáx	378000	356593.515	347216.963	61181.937	1926.174	8064978.229	0.176	44.640	344398.678	335022.125	1908.424
	2do Escalón	219000	218260.482	212746.115	41300.880	2122.124	8885432.711	0.194	40.518	218045.300	212530.933	2115.790
	3er Escalón	180000	183744.851	178432.204	36280.690	2222.672	9306432.062	0.203	38.685	184688.679	179376.032	2218.128
	Escalón MT	127000	125803.079	121361.457	27379.276	2466.121	10325761.574	0.226	34.866	125676.091	121234.469	2464.286
TG2A+0.5TV2C	Escalón MT	91000	91105.582	89769.310	19408.279	2363.373	9895552.539	0.216	36.382	89882.939	88546.667	2361.337
TG2B+0.5TV2C	Escalón MT	91000	91732.405	87283.921	19493.808	2441.381	10222175.655	0.223	35.220	90052.086	85603.602	2434.610
TG2A+TG2B+TV2C	Escalón Pmáx	354000	336984.657	326943.294	59616.967	1993.290	8345999.551	0.182	43.137	326819.251	316777.887	1972.458
	2do Escalón	197000	199483.645	193781.384	39765.310	2243.187	9392327.602	0.205	38.331	196008.571	190306.309	2238.485
	3er Escalón	180000	176017.265	170284.101	36918.062	2369.943	9923062.093	0.217	36.281	172064.845	166331.681	2367.201
	Escalón MT	127000	124016.845	119219.276	27903.930	2558.539	10712721.101	0.234	33.607	121692.235	116894.666	2558.314

1 INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Descripción de la Empresa

Enel es una de las empresas eléctricas más importantes de Chile, que controla los negocios de generación, transmisión y distribución del país. Enel Generación Chile S.A. es a su vez la empresa de generación eléctrica más importante de Chile, con una capacidad instalada total de 6.274 MW y un parque generador de 111 unidades distribuidas a lo largo del país. Su producción alcanzó los 17.373 GWh en 2018, el 55% de ella fue hidroeléctrica, 44% de fuentes termoeléctricas y el 1% de fuente eólica.

1.2 Descripción de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2

La Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Atacama, se ubica a 50 km. al norte del puerto de Antofagasta, Mejillones, II Región de Antofagasta, Chile.

Esta central está conformada por dos ciclos combinados; ambas compuestas por dos turbinas de gas y una turbina de vapor, cuyas características se indican a continuación:

Tabla 1-1: Descripción de la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Atacama 1

Concepto ¹	Unidad	Unidad TG1A	Unidad TG1B	Unidad TV1C
Marca		Almston / GE	Almston / GE	Almston / GE
Modelo		PG 9171 E	PG 9171 E	VEGA 209E
Serie		-	-	-
Tipo de Unidad		Turbina de Gas	Turbina de Gas	Turbina de Vapor
Tipo de Combustible		Gas Natural y Petróleo Diésel		-
Año de Fabricación	Año	1997	1997	-
Fecha de Entrada en Operación	dd-mm-aa	15-09-1999	15-09-1999	01-01-1999
Potencia Nominal	MW	121.70	121.70	135.30
Potencia Mínimo Técnico con Gas Natural	MW	25.00	25.00	-
Potencia Mínimo Técnico con Petróleo Diésel	MW	27.00	27.00	-
Potencia Mínimo Técnico Ambiental con Gas Natural	MW	63.00	63.00	-
Potencia Mínimo Técnico Ambiental con Petróleo Diésel	MW	31.00	31.00	-
Potencia Máxima Técnico	MW	120.35	120.35	-
Tensión Nominal	kV	15	15	15
Factor de Potencia	-	0.85	0.85	0.85
Velocidad de Rotación	RPM	3 000	3 000	3 000

¹ Información extraída desde:

<https://www.enel.cl/es/inversionistas/inversionistas-enel-generacion/nuestras-centrales/atacama.html>

<https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>

y

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

Tabla 1-2: Descripción de la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Atacama 2

Concepto ²	Unidad	Unidad TG2A	Unidad TG2B	Unidad TV2C
Marca		Almston / GE	Almston / GE	Almston / GE
Modelo		PG 9171 E	PG 9171 E	VEGA 209E
Serie		-	-	-
Tipo de Unidad		Turbina de Gas	Turbina de Gas	Turbina de Vapor
Tipo de Combustible		Gas Natural y Petróleo Diésel		-
Año de Fabricación	Año	1997	1997	-
Fecha de Entrada en Operación	dd-mm-aa	15-09-1999	15-09-1999	01-01-1999
Potencia Nominal	MW	121.70	121.70	135.30
Potencia Mínimo Técnico con Gas Natural	MW	25.00	25.00	-
Potencia Mínimo Técnico con Petróleo Diésel	MW	27.00	27.00	-
Potencia Mínimo Técnico Ambiental con Gas Natural	MW	63.00	63.00	-
Potencia Mínimo Técnico Ambiental con Petróleo Diésel	MW	31.00	31.00	-
Tensión Nominal	kV	15	15	15
Factor de Potencia	-	0.85	0.85	0.85
Velocidad de Rotación	RPM	3 000	3 000	3 000

² Información extraída desde:

<https://www.enel.cl/es/inversionistas/inversionistas-enel-generacion/nuestras-centrales/atacama.html>

<https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>

y

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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 las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2, para las configuraciones de ciclo abierto, ciclo cerrado 1x1 y ciclo cerrado 2x1, y bajo condiciones de estabilidad requeridas.

Durante los ensayos se han medido los siguientes parámetros:

Tabla 2-1: Variables primarias

Ítem	Variable	Ciclo Abierto	Ciclo Cerrado 1x1	Ciclo Cerrado 2x1
Variables de Condiciones Ambientales				
a)	Temperatura Ambiente	Si	Si	Si
b)	Humedad Relativa Ambiente	Si	Si	Si
c)	Presión Ambiente	Si	Si	Si
d)	Temperatura de agua de Mar	No	Si	Si
Variables Eléctricas				
a)	Potencia Activa Bruta	Si	Si	Si
b)	Potencia Reactiva Bruta	Si	Si	Si
c)	Factor de Potencia Bruta	Si	Si	Si
d)	Potencia Activa Neta	Si	Si	Si
e)	Potencia Reactiva Neta	Si	Si	Si
f)	Factor de Potencia Neta	Si	Si	Si
Consumo de Combustible				
a)	Consumo del combustible	Si	Si	Si
b)	Temperatura del combustible	Si	Si	Si
c)	Presión del combustible	Si	Si	Si
d)	Composición del combustible	Si	Si	Si
e)	Poder calorífico del combustible	Si	Si	Si
Condiciones Operativas				
a)	Caída de Presión al Ingreso	Si	Si	Si
b)	Presión de Gases de Escape	Si	Si	Si

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. Consumos propios o auxiliares.
- c. Temperatura de gases de escape.
- d. Temperatura del combustible.
- e. Presión de descarga del compresor.
- f. 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	CONTRATISTA	
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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 de la central, se definió finalmente el Programa de Pruebas de Consumo Especifico Neto de las diferentes configuraciones, el cual se muestra en la siguiente tabla

Tabla 3-1: Programa de Pruebas de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2

Día	Configuración / Combustible / Potencia	Hito	Hora Inicio	Hora Fin
Día 1				
25/06/2019	TG1B / Gas Natural / 25 MW	Prueba CEN	15:41	16:11
25/06/2019	TG1B / Gas Natural / 63 MW	Prueba CEN	16:41	17:11
25/06/2019	TG1B + 0.5TVC1 / Gas Natural / 109 MW	Prueba CEN	19:20	20:20
25/06/2019	TG1B + 0.5TVC1 / Gas Natural / 81 MW	Prueba CEN	22:16	23:16
26/06/2019	TG1A + 0.5TVC1 / Gas Natural / 81 MW	Prueba CEN	02:00	03:00
26/06/2019	TG1A + 0.5TVC1 / Gas Natural / 109 MW	Prueba CEN	03:40	04:40
26/06/2019	TG1A + 0.5TVC1 / Gas Natural / 188.4 MW	Prueba CEN	05:30	06:30
26/06/2019	TG1B / Gas Natural / 25 MW	Prueba CEN	08:00	08:30
26/06/2019	TG1B / Gas Natural / 63 MW	Prueba CEN	09:00	09:30
Día 2				
26/06/2019	TG2A + 0.5TVC2 / Gas Natural / 109 MW	Prueba CEN	20:35	21:35
26/06/2019	TG2A + 0.5TVC2 / Diésel / 91 MW	Prueba CEN	22:30	23:30
27/06/2019	TG2B + 0.5TVC2 / Diésel / 91 MW	Prueba CEN	01:30	02:30
27/06/2019	TG2B + 0.5TVC2 / Gas Natural / 109 MW	Prueba CEN	03:10	04:10
27/06/2019	TG2B / Gas Natural / 63 MW	Prueba CEN	04:50	05:20
27/06/2019	TG2A / Gas Natural / 63 MW	Prueba CEN	06:40	07:10
Día 3				
27/06/2019	TG1B + 0.5TVC1 / Diésel / 91 MW	Prueba CEN	18:30	19:30
28/06/2019	TG1A + TG1B + TVC1 / Diésel / 127 MW	Prueba CEN	10:00	11:00
28/06/2019	TG1A + TG1B + TVC1 / Diésel / 180 MW	Prueba CEN	13:30	14:30
28/06/2019	TG1A + TG1B + TVC1 / Diésel / 219 MW	Prueba CEN	15:00	16:00
28/06/2019	TG1A + TG1B + TVC1 / Diésel / 378 MW	Prueba CEN	17:25	18:25
28/06/2019	TG1A + 0.5TVC1 / Diésel / 91 MW	Prueba CEN	19:40	20:40
28/06/2019	TG1A + 0.5TVC1 / Diésel / 179.4 MW	Prueba CEN	21:30	22:30
Día 4				
29/06/2019	TG2A + TG2B + TVC2 / Diésel / 127 MW	Prueba CEN	05:20	06:20
29/06/2019	TG2A + TG2B + TVC2 / Diésel / 180 MW	Prueba CEN	07:00	08:00
29/06/2019	TG2A + TG2B + TVC2 / Diésel / 197 MW	Prueba CEN	08:30	09:30
29/06/2019	TG2A + TG2B + TVC2 / Diésel / 354 MW	Prueba CEN	10:40	11:40

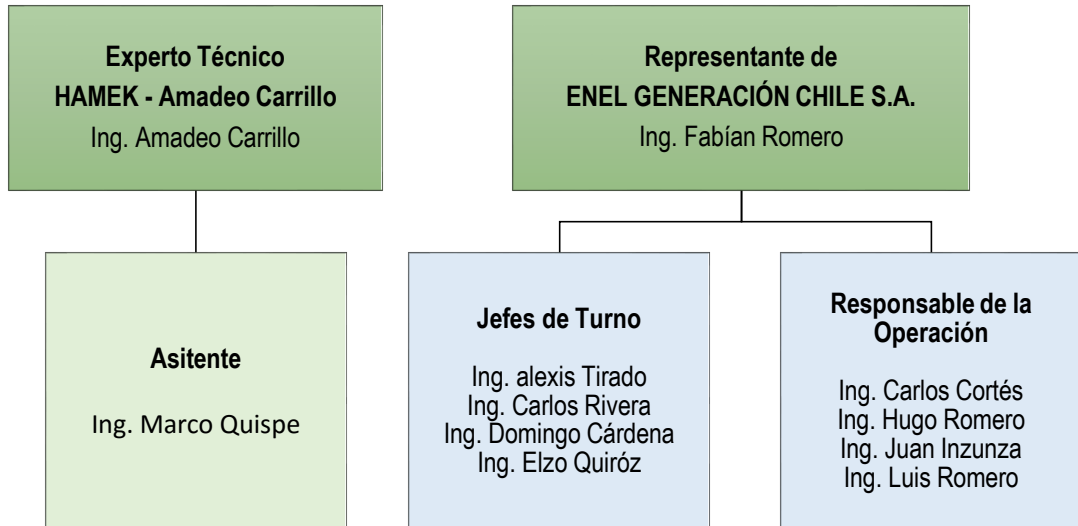
ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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 corregida a fin de homologarla con los valores de referencia para los cuales fue calculada 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		0.85	0.85
Temperatura Ambiente	(°C)	15.00	15.00
Humedad Relativa Ambiente	(%)	60.00	60.00
Caída de Presión al Ingreso	(mmH ₂ O)	88.90	88.90
Caída de Presión al Escape	(inH ₂ O)	5.00	5.00
Temperatura de Agua de Mar	(°C)	17.00	17.00

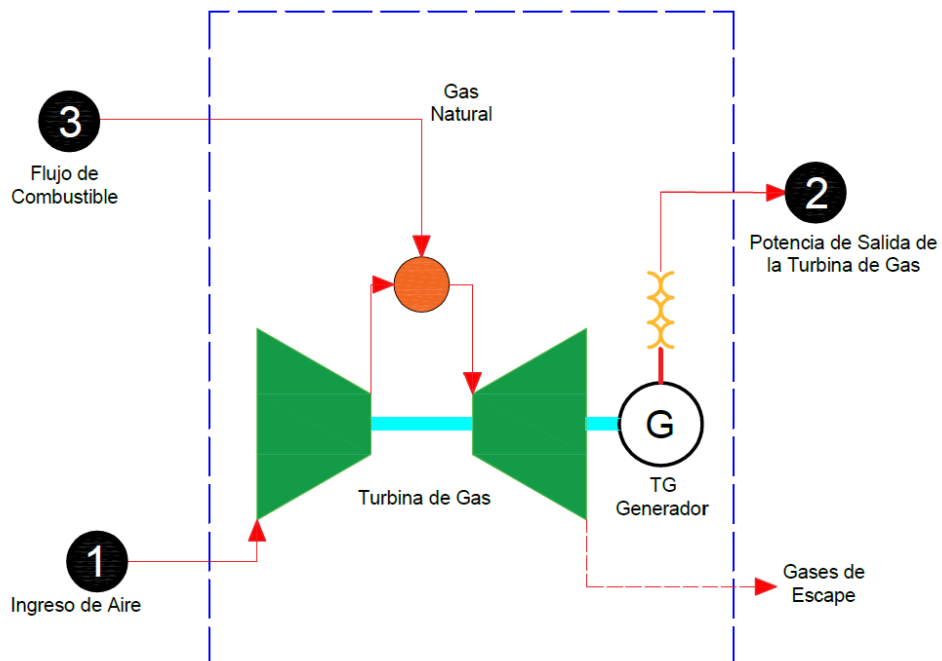
ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN PROPIETARIA Y NO PUEDE SER DUPLICADO, PROCESADO O CEDIDO A TERCEROS PARA UN USO DISTINTO AL DE ESTE PROYECTO Y EL OBJETO PARA EL QUE HA SIDO PREVISTO SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL				
INFORME		PROPIETARIO	GENERADORA	CONTRATISTA
Versión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

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 para cada configuración ensayada, 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 las Centrales Atacama 1 y 2 en Ciclo Abierto

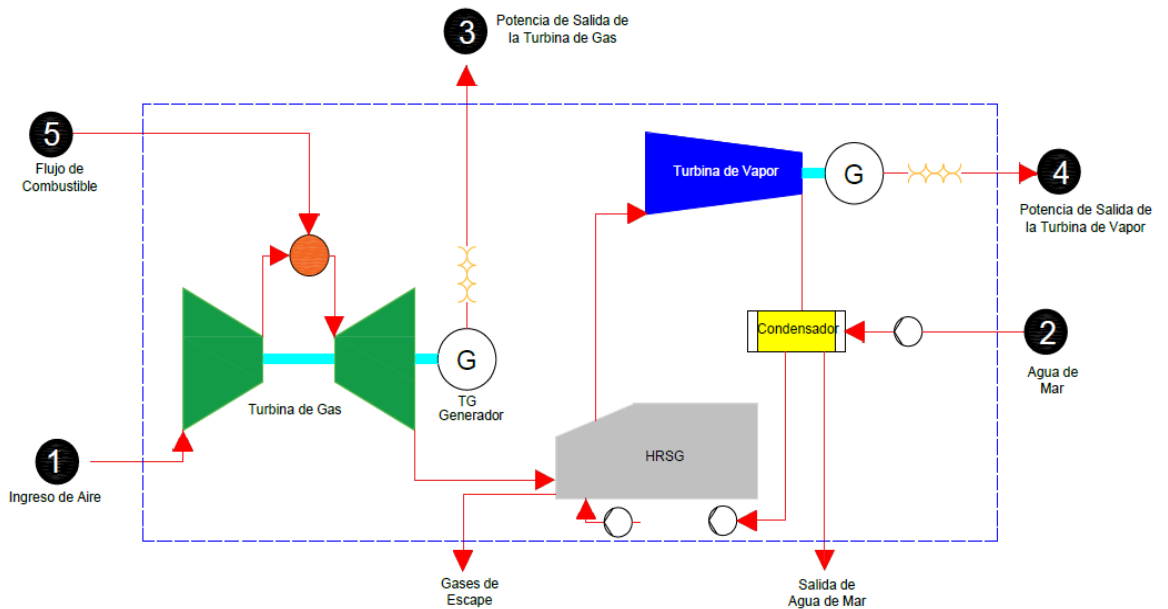


Para la obtención de los resultados corregidos, acorde con la frontera de prueba graficado anteriormente se requiere las siguientes mediciones:

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 gas natural/diésel que ingresa a la turbina de gas.
4. Caída de Presión al Ingreso
5. Caída de Presión de Gases de Escape

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

Ilustración 6-2: Frontera de Prueba de las Centrales Atacama 1 y 2 en Ciclo combinado 1x1

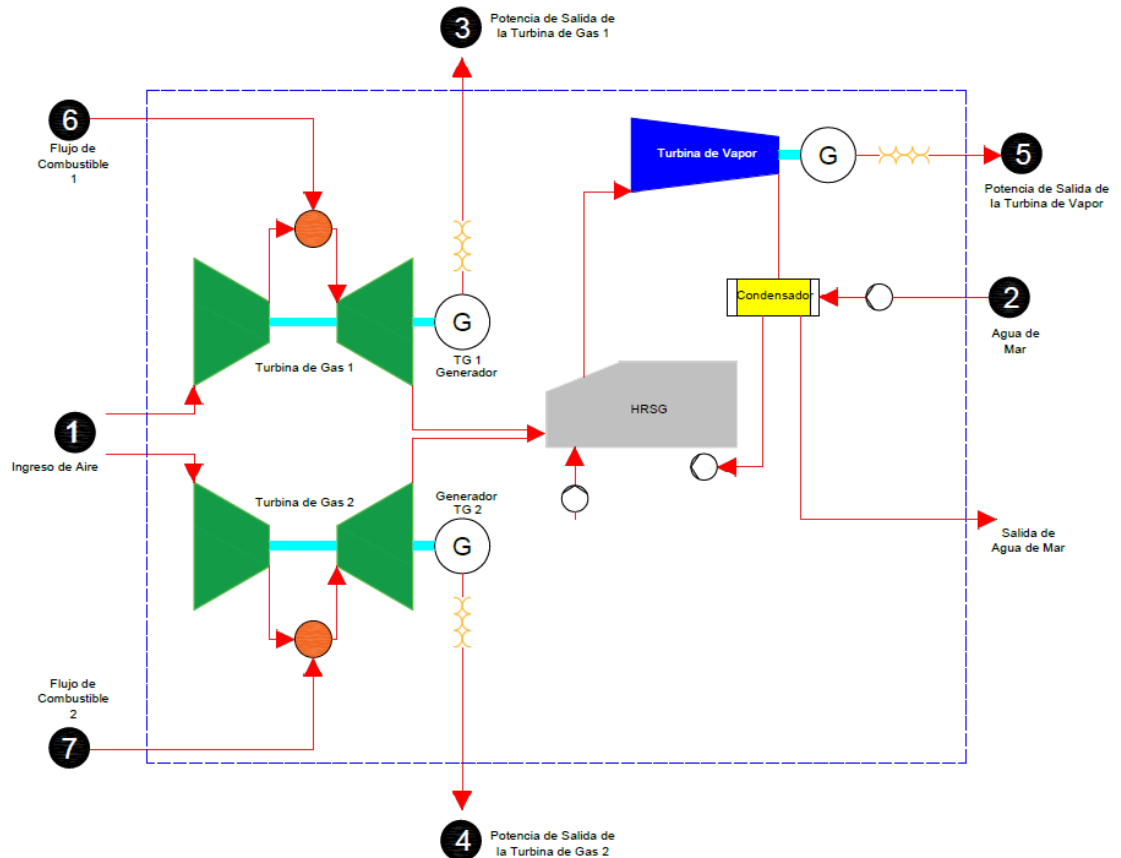


Para la obtención de los resultados corregidos, acorde con la frontera de prueba graficado anteriormente se requiere las siguientes mediciones:

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. Condiciones del absorbente de calor, en este caso siendo un ciclo de enfriamiento abierto corresponde a la temperatura del agua circulante (agua de mar), en el punto donde cruza la frontera de prueba.
3. Potencia de salida del generador de la turbina a gas.
4. Potencia de salida del generador de la turbina de vapor.
5. Flujo de gas natural/diésel que ingresa a la turbina de gas.
6. Caída de Presión al Ingreso
7. Caída de Presión de Gases de Escape

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

Ilustración 6-3: Frontera de Prueba de las Centrales Atacama 1 y 2 en Ciclo Combinado 2x1



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. Condiciones del absorbente de calor, en este caso siendo un ciclo de enfriamiento abierto corresponde a la temperatura del agua circulante (agua de mar), en el punto donde cruza la frontera de prueba.
3. Potencia de salida del generador de la turbina a gas 1.
4. Potencia de salida del generador de la turbina a gas 2.
5. Potencia de salida del generador de la turbina de vapor.
6. Flujo de gas natural que ingresa a la turbina de gas 1.
7. Flujo de gas natural que ingresa a la turbina de gas 2.
8. Caída de Presión al Ingreso
9. Caída de Presión de Gases de Escape

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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 las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2. 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	TG1A	Schneider Electric	ION 7650	MJ-1702A111-05
	TG1B	Schneider Electric	ION 7650	MJ-1706A103-05
	TV1C	Schneider Electric	ION 7650	MJ-1705A124-05
	TG2A	Schneider Electric	ION 7650	MJ-1705A374-05
	TG2B	Schneider Electric	ION 7650	MJ-1706A468-05
	TV2C	Schneider Electric	ION 7650	MJ-1706A348-05
Potencia Neta				
Parámetros eléctricos: Potencia, factor de potencia	TG1A	Schneider Electric	ION 7650	MW-1311A363-01
	TG1B	Schneider Electric	ION 7650	MW-1311A376-01
	TV1C	Schneider Electric	ION 7650	MW-1311A369-01
	TG2A	Schneider Electric	ION 7650	MW-1311A384-01
	TG2B	Schneider Electric	ION 7650	MW-1311A386-01
	TV2C	Schneider Electric	ION 7650	MW-1311A385-01
Condiciones Ambientales				
Parámetros ambientales: Temperatura ambiente, humedad relativa y presión ambiente.	TG1A, TG1B, TV1C, TG2A, TG2B, TV2C,	Sensor de Temperatura	AirTC	2531269
		Sensor de Humedad Relativa	RH	2531269
		Sensor de Presión Ambiental	PB	3436813
Consumo de Gas Natural				
Flujo, temperatura y presión de combustible (Gas Natural)	TG1A, TG1B	ROSEMOUNT	3051-CD	0785603
			3051-CG	0633792
			3144-P	0449913
	TG2A, TG2B	ROSEMOUNT	3051-CD	0785604
			3051-CG	0593554
			3144-P	0449912
Consumo de Diésel				
Flujo, temperatura y presión de combustible (Diésel)	TG1A	Micro Motion, Inc	10160811	14388876
	TG1B	Micro Motion, Inc	10160811	14389033
	TG2A	Micro Motion, Inc	10160811	14389057
	TG2B	Micro Motion, Inc	10160811	14389101

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

7 REPORTE DE COMBUSTIBLE

7.1 Reporte de Gas Natural

Durante las pruebas de Consumo Específicos Neto con Gas Natural, la empresa distribuidora de gas (Gaseoducto Atacama) reportó información del análisis cromatográfico cada hora, durante todos los días de ensayo con Gas Natural.

Este reporte contiene la siguiente información:

- I. Análisis cromatográfico en porcentaje volumétrico o molar que incluya el contenido de hidrocarburos (metano, etano, propano, isobutano, n-butano, isopentano, n-pentano, hexano y heptano), nitrógeno, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico (H₂S).
- II. Densidad relativa y densidad del gas.
- III. Gravedad específica.
- IV. Poderes caloríficos superior.

Del reporte cromatográfico mencionado se ha extraído la siguiente información correspondiente al gas natural para cada uno de los escalones de la prueba.

Tabla 7-1: Reporte de Combustible – Gas Natural

Reporte	Poder Calorífico Superior		Densidad
	kcal/m ³	MJ/m ³	kg/m ³
Promedio	9366.4849	39.2156	0.7102

Los reportes cromatográficos emitidos por Gaseoducto Atacama, se encuentran en el Apéndice B.

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

7.2 Análisis de Combustible Diésel

Durante las pruebas de Consumo Específicos Neto Diésel, se tomó 1 muestra de combustible de 1 litro cada una por día prueba, este combustible proviene de un solo tanque sin reposición.

Dicha muestra fue sometido a un análisis de combustible, cuyo reporte contiene la siguiente información:

- V. Análisis cromatográfico en porcentaje volumétrico o molar que incluya el contenido de hidrocarburos (metano, etano, propano, isobutano, n-butano, isopentano, n-pentano, hexano y heptano), nitrógeno, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico (H₂S).
- VI. Densidad del combustible.
- VII. Gravedad específica.
- VIII. Poderes caloríficos superior e inferior.

De los análisis de combustible mencionados se ha extraído la siguiente información correspondiente al gas natural para cada uno de los escalones de la prueba.

Tabla 7-2: Análisis de Combustible – Diésel

Reporte	Poder Calorífico Superior		Poder Calorífico Inferior		Densidad
	kcal/m ³	MJ/m ³	kcal/m ³	MJ/m ³	kg/m ³
26-06-2019 / 23:00	10931.0	45770.0	10252.0	42920.0	836.4
27-06-2019 / 19:00	10931.0	45770.0	10252.0	42920.0	836.4
29-06-2019 / 06:10	10932.0	45770.0	10253.0	42930.0	835.9
Promedio	10931.3	45770.0	10252.3	42923.3	836.2

Los análisis de combustible emitidos por una entidad homologada (SGS), se encuentran en el Apéndice B.

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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 TG1A

Parámetro	Máxima fluctuación respecto al valor promedio
Potencia eléctrica de salida	± 1.3 %
Factor de Potencia	± 1.3 %
Presión barométrica	± 0.33 %
Temperatura de ingreso del aire	± 1.3 °F o ± 0.72 °C
Presión del combustible gaseoso suministrado a la turbina de gas	± 0.65 %
Flujo de combustible	± 1.3 %
Presión de descarga	± 0.33 %
Velocidad de rotación	± 0.65 %
Flujo de agua de alimentación	± 2 %
Temperatura de vapor al ingreso a la turbina	± 3 °C
Temperatura promedio de gases de escape	± 3 °C

8.2 Cálculos de los Consumos Específicos Neto en Ciclo Abierto, TG

8.2.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido ($HRN_{M,TG}$)

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

$$HRN_{M,TG} = \frac{\dot{m}_c * HHV}{PN_{M,TG}}$$

Donde:

- $HRN_{M,TG}$: Heat Rate Neto Medido, kJ/kWh.
- \dot{m}_c : Consumo de Combustible de la TG, m³/h o kg/h.
- HHV : Poder Calorífico Superior del Combustible, kJ.
- $PN_{M,TG}$: Potencia Neta de la TG Medida, kW.
-

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

8.2.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido ($HRN_{C,TG}$)

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

$$HRN_{C,TG} = \frac{HRN_{M,TG}}{\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4}$$

Donde:

- $HRN_{C,TG}$: Heat Rate Neto Corregido, kJ/kWh.
- $HRN_{M,TG}$: 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 Caída de Presión al Ingreso.
- α_4 : Factor de Corrección por Caída de Presión de Gases de Escape.

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 de las condiciones de prueba a condiciones de diseño entre el factor de corrección de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño; 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 diseño.
- α_{1b} : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño.

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

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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

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

Donde:

- α_3 : Factor de Corrección por Caída de Presión al Ingreso.
- α_{3a} : Factor de Corrección por Caída de Presión al Ingreso de las condiciones de pruebas a las condiciones de diseño.
- α_{3b} : Factor de Corrección por Caída de Presión al Ingreso de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño.

Finalmente, el factor de corrección por caída de presión de gases de escape (α_4) se deduce de la siguiente manera:

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

Donde:

- α_4 : Factor de Corrección por Caída de Presión de Gases de Escape.
- α_{4a} : Factor de Corrección por Caída de Presión de Gases de Escape de las condiciones de pruebas a las condiciones de diseño.
- α_{4b} : Factor de Corrección por Caída Presión de Gases de Escape de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño.

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

8.3 Cálculos de los Consumos Específicos Neto en Ciclo Cerrado, TG

8.3.1 Resultados de los Consumos Específicos Neto Medido ($HRN_{M,CC}$)

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

$$HRN_{M,CC} = \frac{\dot{m}_c * HHV}{PN_{M,CC}}$$

Donde:

- $HRN_{M,CC}$: Heat Rate Neto Medido, kJ/kWh.
- \dot{m}_c : Consumo de Combustible Total, m³/h o kg/h.
- HHV : Poder Calorífico Superior del Combustible, kJ.
- $PN_{M,CC}$: Potencia Neta Total del Ciclo Combinado Medida, kW.
-

8.3.2 Cálculo de los Consumos Específicos Neto Corregido ($HRN_{C,CC}$)

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

$$HRN_{C,CC} = \frac{HRN_{M,CC}}{\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4}$$

Donde:

- $HRN_{C,CC}$: Heat Rate Neto Corregido, kJ/kWh.
- $HRN_{M,CC}$: 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 Caída de Presión al Ingreso.
- α_4 : Factor de Corrección por Caída de Presión de Gases de Escape.

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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 de las condiciones de prueba a condiciones de diseño entre el factor de corrección de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño; 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 diseño.
- α_{1b} : Factor de Corrección por Temperatura Ambiente de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño.

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

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

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

Donde:

- α_3 : Factor de Corrección por Caída de Presión al Ingreso.
- α_{3a} : Factor de Corrección por Caída de Presión al Ingreso de las condiciones de pruebas a las condiciones de diseño.
- α_{3b} : Factor de Corrección por Caída de Presión al Ingreso de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño.

Finalmente, el factor de corrección por caída de presión de gases de escape (α_4) se deduce de la siguiente manera:

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

Donde:

- α_4 : Factor de Corrección por Caída de Presión de Gases de Escape.
- α_{4a} : Factor de Corrección por Caída de Presión de Gases de Escape de las condiciones de pruebas a las condiciones de diseño.
- α_{4b} : Factor de Corrección por Caída de Presión de Gases de Escape de las condiciones de referencia a las condiciones de diseño.

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

8.4 Cálculos de la incertidumbre

La incertidumbre del resultado de la prueba, es un cálculo matemático que calcula con una confianza específica, el rango dentro del cual se encuentra los resultados reales. Según la norma ASME PTC 19.1 "Test Uncertainty"; para la unidad que estamos evaluando en el modo de ciclo simple y ciclo combinado, la incertidumbre más grande deseada es igual a 0.8%.

A continuación, se muestra la metodología utilizada en el cálculo de la Incertidumbre de la prueba de Consumos Específicos Neto Corregido.

8.4.1 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:

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

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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:

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

Donde:

- N_j : Número total de lecturas de la variable i.
- tS_R : Incertidumbre aleatoria Absoluta.
- $S_{\bar{x}_i}$: Desviación estándar de la media de la variable Xi.
- $t_{95,v}$: 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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

9 CÁLCULO DE CONSUMO ESPECÍFICO NETO

Los cuadros de cálculo de la prueba de Consumo Especifico Neto de las diversas configuraciones de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 operando con Gas Natural y Diésel, se muestran en el Apéndice C.

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

10 RESULTADOS

10.1 Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto

Tabla 10-1: Resultados de las Pruebas de Consumos Específicos Neto de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 con Gas Natural

Configuración	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 Neto C
		(kW)	(kW)	(kW)	(m ³ /h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(m ³ /kWh)	(%)	(kW)	(kW)	(kcal/kWh)
TG1A	63000	63000	62905.059	62602.529	25053.069	3748.398	15693.792	0.400	22.939	61708.369	61405.839	3778.858
	25000	25000	25002.408	24974.234	15544.198	5829.788	24408.157	0.622	14.749	24236.122	24207.948	5887.149
TG1A+0.5TV1C	Escalón Pmáx	188400	178797.378	177887.922	38420.029	2022.963	8469.740	0.216	42.504	167894.751	166985.295	2005.000
	Escalón MTA	109000	109677.229	109215.650	26156.158	2243.188	9391.781	0.239	38.331	106149.577	105687.998	2239.421
	Escalón MT	81000	82049.079	81678.963	21534.639	2469.471	10339.183	0.264	34.819	80202.948	79832.833	2468.954
TG1B	Escalón MTA	63000	63072.128	58743.371	25184.201	4015.558	16812.340	0.429	21.413	63852.013	59523.256	4023.475
	Escalón MT	25000	26032.314	21503.248	15995.553	6967.417	29171.183	0.744	12.341	26708.083	22179.017	6958.150
TG1B+0.5TV1C	Escalón MTA	109000	110079.664	105457.481	26094.226	2317.628	9703.443	0.247	37.100	107854.279	103232.097	2310.825
	Escalón MT	81000	81244.683	76948.793	21479.539	2614.567	10946.669	0.279	32.887	79396.048	75100.158	2611.828
TG2A	Escalón MTA	63000	63479.939	62140.513	24533.132	3697.897	15482.355	0.395	23.252	62200.336	60860.910	3731.018
TG2A+0.5TV2C	Escalón MTA	109000	108386.332	107038.810	26284.180	2300.010	9629.683	0.246	37.384	106520.326	105172.804	2295.727
TG2B	Escalón MTA	63000	62707.203	58598.356	25109.874	4013.615	16804.205	0.429	21.423	61508.417	57399.569	4048.451
TG2B+0.5TV2C	Escalón MTA	109000	108592.430	104530.525	25806.427	2312.392	9681.521	0.247	37.184	106137.980	102076.075	2303.290

Tabla 10-2: Resultados de las Pruebas de Consumos Especificos Neto de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 con Diésel

Configuración	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 Neto Co
		(kW)	(kW)	(kW)	(kg/h)	(kcal/kWh)	(kJ/kWh)	(kg/kWh)	(%)	(kW)	(kW)	(kcal/kWh)
TG1A+0.5TV1C	Escalón Pmáx	179400	174437.816	173318.502	31063.089	1959.173	8203149.483	0.179	43.888	165869.070	164749.756	1941.962
	Escalón MT	91000	93258.698	92791.832	19594.367	2308.313	9665012.277	0.211	37.250	92051.780	91584.914	2305.260
TG1B+0.5TV1C	Escalón MT	91000	92941.927	88345.721	18631.804	2305.380	9652733.428	0.211	37.297	91830.570	87234.364	2301.359
TG1A+TG1B+TV1C	Escalón Pmáx	378000	356593.515	347216.963	61181.937	1926.174	8064978.229	0.176	44.640	344398.678	335022.125	1908.424
	2do Escalón	219000	218260.482	212746.115	41300.880	2122.124	8885432.711	0.194	40.518	218045.300	212530.933	2115.790
	3er Escalón	180000	183744.851	178432.204	36280.690	2222.672	9306432.062	0.203	38.685	184688.679	179376.032	2218.128
	Escalón MT	127000	125803.079	121361.457	27379.276	2466.121	10325761.574	0.226	34.866	125676.091	121234.469	2464.286
TG2A+0.5TV2C	Escalón MT	91000	91105.582	89769.310	19408.279	2363.373	9895552.539	0.216	36.382	89882.939	88546.667	2361.337
TG2B+0.5TV2C	Escalón MT	91000	91732.405	87283.921	19493.808	2441.381	10222175.655	0.223	35.220	90052.086	85603.602	2434.610
TG2A+TG2B+TV2C	Escalón Pmáx	354000	336984.657	326943.294	59616.967	1993.290	8345999.551	0.182	43.137	326819.251	316777.887	1972.458
	2do Escalón	197000	199483.645	193781.384	39765.310	2243.187	9392327.602	0.205	38.331	196008.571	190306.309	2238.485
	3er Escalón	180000	176017.265	170284.101	36918.062	2369.943	9923062.093	0.217	36.281	172064.845	166331.681	2367.201
	Escalón MT	127000	124016.845	119219.276	27903.930	2558.539	10712721.101	0.234	33.607	121692.235	116894.666	2558.314

10.2 Resultados de Incertidumbre

Los cuadros de cálculo que contienen los resultados de incertidumbre de la prueba de Consumo Especifico Neto en las diversas configuraciones de las Centrales de Ciclo Combinado Atacama 1 y 2 operando con Gas Natural y Diésel, se muestran en el Apéndice C.

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consorcio HAMEK - Amadeo Carrillo

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	CONTRATISTA
Versión	1	Coordinador Eléctrico Nacional	ENEL	Consortio HAMEK - Amadeo Carrillo