



Informe Técnico

Determinación de Mínimo Técnico en la Central Térmica Nehuenco I operando con GNL COLBÚN 2018

SUBGERENCIA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

C	27.11.2018	Revisión interna	J.L.	M.C.	G.N.
Rev.	Fecha	Naturaleza de revisión	Preparado	Revisado	Aprobado

CONTENIDO

1. Introducción	3
2. Objetivo	3
3. Metodología	3
4. Antecedentes	4
4.1 Antecedentes técnicos de diseño	4
4.1.1 Manual de operación y mantenimiento.....	6
4.1.2 Diagramas de operación	6
4.1.3 Informe de performance y ajustes	8
4.2 Recomendación de fabricante	9
4.3 Antecedentes nacionales o internacionales de unidades similares.....	9
4.4 Antecedentes y restricciones operacionales.....	9
4.4.1 Datos obtenidos del sistema de información en tiempo real.....	9
4.4.2 Restricciones ambientales.....	9
4.5 Justificaciones de eventuales fuentes de inestabilidad por operar en un valor menor de potencia activa	10
4.6 Pruebas de validación de Mínimo Técnico.....	10
4.6.1 Mínimo técnico termodinámico.....	11
4.6.2 Mínimo técnico ambiental	12
5. Conclusiones.....	13
6. Anexos	14
Anexo 1 Descripción de la central completa	14
Anexo 2 Datos Técnicos TG	14
Anexo 3 Datos Técnicos TV.....	14
Anexo 4 Informe de Performance	14
Anexo 5 Registro de operación	14
Anexo 6 Resultados mínimo termodinámico	14
Anexo 7 Resultados mínimo ambiental.....	14

1. Introducción

En el marco de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio versión mayo 2018 (NTSyCS), el Coordinador Eléctrico Nacional (en adelante el “Coordinador”) ha solicitado informar el Mínimo Técnico de la Central Térmica (CT) Nehuenco I operando en Ciclo Abierto (CA) y Ciclo Combinado (CC), y utilizando como combustible Gas Natural Licuado (GNL) acorde a lo indicado en el Artículo 9 del Anexo Técnico: “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras” (en adelante el “Anexo Técnico”) de la NTSyCS versión mayo 2018.

El presente documento entrega los antecedentes operacionales que respaldan el valor del Mínimo Técnico de la Central Nehuenco I.

2. Objetivo

Actualizar el parámetro de Mínimo Técnico de la CT Nehuenco I operando en CA y CC, y con combustible GNL, de acuerdo a lo establecido en el Anexo Técnico: “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras” de la NTSyCS versión mayo 2018.

3. Metodología

Para la determinación del Mínimo Técnico de la CT Nehuenco I, Colbún S.A. realizó pruebas operacionales para determinar este parámetro. Estas pruebas incluyeron la asistencia de un especialista en turbinas de SIEMENS, Original Equipment Manufacturer (OEM) de la turbina a gas y de la turbina a vapor.

Se realizaron un conjunto de pruebas en la estación de verano y un conjunto de pruebas en la estación de invierno, programadas en los meses de enero y julio de 2017, respectivamente.

Las pruebas fueron programadas con el propósito de determinar si es posible reducir sistemáticamente el nivel de generación controlando los parámetros termodinámicos del ciclo combinado y verificando la estabilidad del sistema de control de la central, de modo de identificar el Mínimo Técnico Termodinámico. El procedimiento debe asegurar la operación continua de la central en ese nivel de generación sin comprometer la seguridad de operación ni la vida útil de las instalaciones.

Adicionalmente, se identificó la carga más baja de generación del ciclo combinado que permitiera cumplir todos los límites de emisiones estipulados en el Decreto Supremo (DS) N°13/2011 y la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 003/1997, identificando este valor de potencia como el Mínimo Técnico Ambiental.

Por otra parte, se tomarán en consideración distintos antecedentes de diseño y operación de la CT Nehuenco I en su configuración CA y CC.

4. Antecedentes

La CT Nehuenco I, que entró en funcionamiento el año 1999, tiene una potencia instalada de 380 MW operando con combustible GNL y consta de una turbina a gas (TG) y una a vapor (TV), ambas suministradas por SIEMENS. El valor de Mínimo Técnico declarado al Coordinador a la fecha de este informe operando en CC y utilizando como combustible GNL es de 260 MW brutos. Por otra parte, operando en CA con combustible GNL 160 MW brutos.

4.1 Antecedentes técnicos de diseño

A continuación, se muestran los datos de placa del generador y de la turbina a gas:

DATOS DE PLACA DEL GENERADOR UNIDAD NEHUENCO I TG		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	N° de Fases	3
2	Potencia Nominal	232 MW
3	Voltaje Nominal	15,75 kV
4	Corriente Nominal	10,007 kA
5	Frecuencia Nominal	50 Hz
6	Factor de Potencia	0,85
7	Velocidad Nominal	3.000 rpm
8	Velocidad Embalamiento	3.240 rpm
9	Polos	2
10	Marca	SIEMENS

Tabla 1: Datos de placa del generador de turbina a gas.

DATOS PLACA TURBINA UNIDAD NEHUENCO I TG		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Central	Nehuenco I
2	Tipo turbina	Gas
3	Año de construcción	1997
4	Velocidad nominal	3.000 rpm
5	Potencia nominal	232 MW

Tabla 2: Datos de placa de la turbina a gas.

Datos de placa del generador y de la turbina a vapor:

DATOS DE PLACA DEL GENERADOR UNIDAD NEHUENCO I TV		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	N° de Fases	3
2	Potencia Nominal	148,7 MW
3	Voltaje Nominal	10,5 kV
4	Corriente Nominal	9,623 kA
5	Frecuencia Nominal	50 Hz
6	Factor de Potencia	0,85
7	Velocidad Nominal	3.000 rpm
8	Velocidad Embalamiento	-
9	Polos	2

Tabla 3: Datos de placa del generador de turbina a vapor.

DATOS PLACA TURBINA UNIDAD NEHUENCO I TV		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Central	Nehuenco I
2	Tipo turbina	Vapor
3	Año de construcción	1997
4	Velocidad Nominal	3.000 rpm
5	Potencia Nominal	148 MW

Tabla 4: Datos de placa turbina a vapor.

A continuación, se presentan algunos antecedentes generales sobre el funcionamiento de la CT Nehuenco I:

- **Modos de operación de los quemadores de la cámara de combustión de la TG.** Una vez que el ciclo combinado está operando, solo existen dos modos de funcionamiento de los quemadores de la cámara de combustión de la TG: el modo DIFUSION y el modo PREMIX. El modo PREMIX es el de menor generación de NO_x, y se activa una vez que la temperatura calculada de los gases de escape de la TG superan los 530°C en subida de carga (en torno a 116 MW brutos de la TG), y vuelve al modo DIFUSION cuando dicha temperatura es inferior a 510°C en bajada de carga (por debajo de 109 MW brutos de la TG).

- **Elementos de regulación para control de temperatura de gases de escape de la TG.** El elemento de regulación con el que cuenta la TG de la CT Nehuenco I para controlar la temperatura de los gases de escape y, en consecuencia, controlar las condiciones de vapor en la entrada a los diferentes cuerpos de la turbina, son los álabes de entrada al compresor de la TG (*“inlet guide vane”* o IGV). Este sistema de control es fundamental para la operación del CC de la CT Nehuenco I.

Estos álabes permanecen en posición totalmente cerrada (0%) hasta que la temperatura del gas de escape no alcanza un valor de consigna, y se van abriendo paulatinamente a medida que sube la carga de la TG hasta la máxima apertura permitida (100%). A medida que se reduce la carga del ciclo combinado desde Potencia Máxima, los dampers van regulando su posición tratando de mantener la consigna de temperatura de gases de escape. Una vez que han vuelto a cerrar, se agota la capacidad de regulación y la temperatura de los gases de escape de la TG cae bruscamente con el descenso de la carga del ciclo combinado. El sistema de control determina la posición de los dampers IGV en función del valor de *“Outlet T° Controller”* (OTC, Temperatura Calculada de Gases de Escape), que considera diversos parámetros de operación de la TG para su cálculo, siendo el parámetro principal la temperatura de gases de escape de la TG.

4.1.1 Manual de operación y mantenimiento

Durante la etapa de diseño del proyecto el fabricante SIEMENS preparó el documento llamado *“Descripción de la central completa”* perteneciente al manual de operaciones de la central Nehuenco I (incluido en el Anexo 1). Dicho documento contiene valores referenciales sobre distintos parámetros de la unidad previo a la puesta en servicio, y éstos no necesariamente representan el contexto actual de la unidad. En particular este documento indica lo siguiente (página 20 del archivo):

“Si la carga se reduce aún más y cae a la carga mínima del ciclo combinado, la CRC y la turbina a vapor deben pararse. La carga mínima de ciclo combinado se alcanza cuando la temperatura de entrada del vapor vivo de la turbina se acerca a la temperatura mínima admisible (aprox. 450°C), por debajo de la cual podrían producirse condiciones propicias al vapor húmedo, una vez que el vapor se ha expandido a lo largo de la sección de AP.”

4.1.2 Diagramas de operación

En el Anexo 2 y Anexo 3, se encuentran los datos técnicos y curvas de operación para el generador de la turbina a gas y a vapor, respectivamente.

En la Figura 1 se muestra el diagrama PQ del generador de la turbina a gas y en la Figura 2 el diagrama PQ del generador de la turbina a vapor. Se desprende, de ambos diagramas y de los datos técnicos anexados, que no existe un valor mínimo de potencia activa de generación asociado a las curvas características del generador.

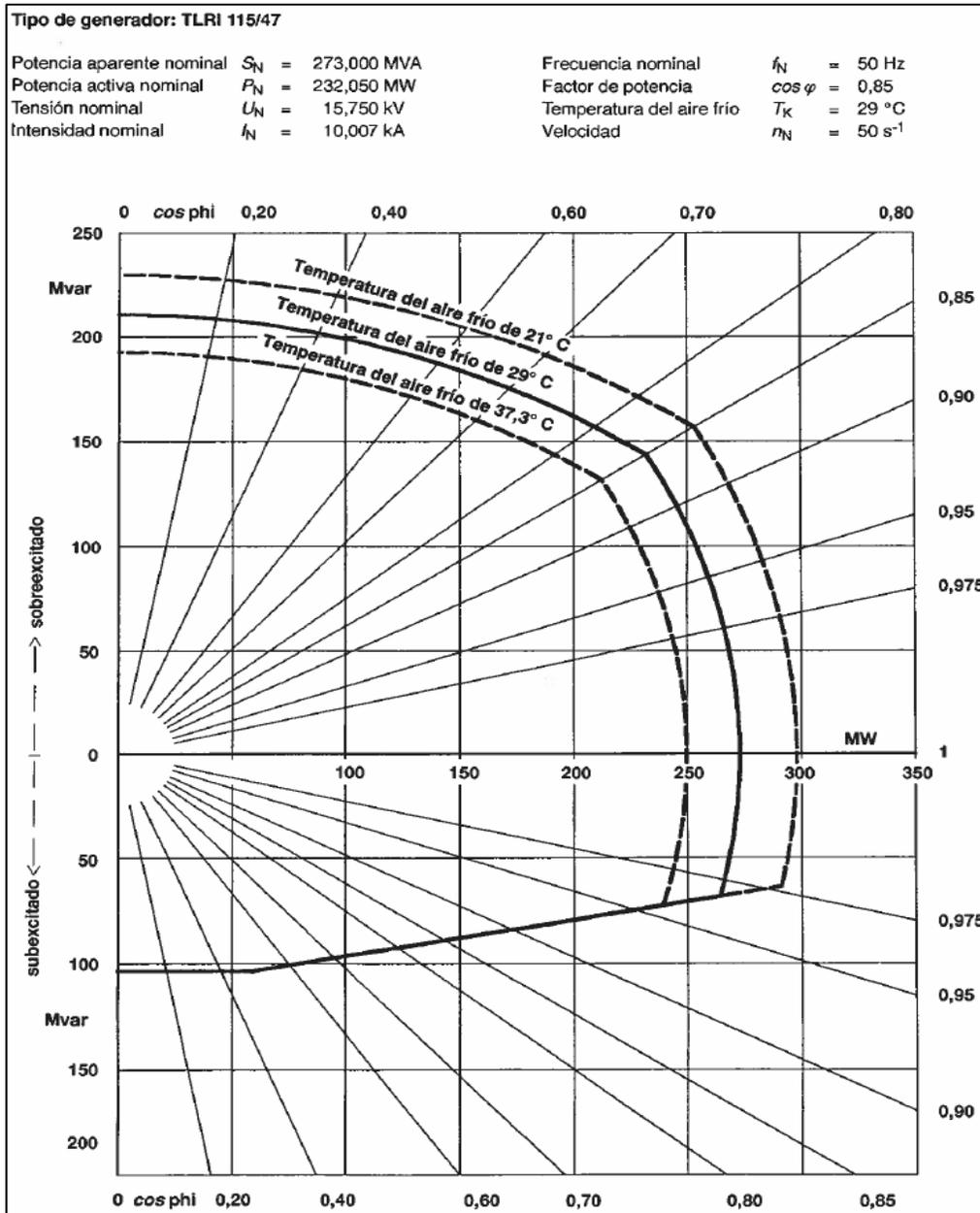


Figura 1: Diagrama PQ del generador de la TG..

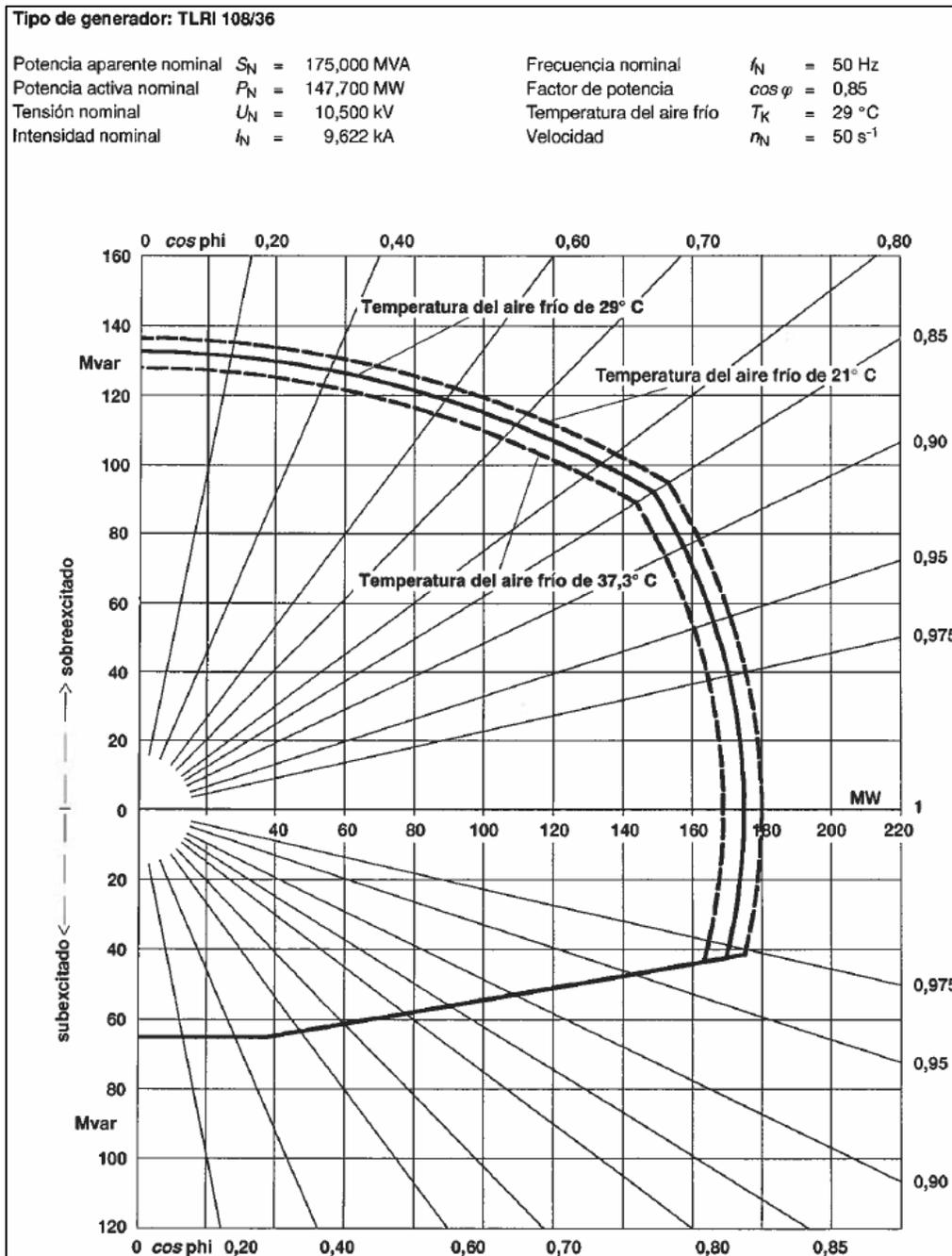


Figura 2: Diagrama PQ del generador de la TV.

4.1.3 Informe de performance y ajustes

En el Anexo 4, se encuentra el informe de performance para el ciclo combinado de CT Nehuenco I desarrollado por ThermoGen Power Services Inc durante junio de 2015. El informe no se refiere a valores de Mínimo Técnico, pero indica que la potencia de salida ha tenido una disminución del 6,35% y el Heat Rate ha aumentado en un 2,02% respecto a resultados del 2014.

4.2 Recomendación de fabricante

Durante la ejecución de las pruebas realizadas para determinar el nivel de Mínimo Técnico, se contó con un especialista de SIEMENS, OEM de la turbina a gas y de la turbina a vapor. De esta forma, las pruebas se ejecutaron conforme a los parámetros termodinámicos del ciclo manteniendo estabilidad del sistema de control de la central.

4.3 Antecedentes nacionales o internacionales de unidades similares

Del Sistema Eléctrico Nacional, las centrales termoeléctricas San Isidro 1 y 2 son las que mejor representan operacionalmente a la CT Nehuenco I para sus distintas configuraciones. En este contexto los valores de Mínimo Técnico aprobados en combustible GNL para las centrales mencionadas son los siguientes:

Central	Configuración CA: Ciclo Abierto CC: Ciclo Combinado	Mínimo Técnico con GNL [MW brutos]	
		Termodinámico	Ambiental
San Isidro 1	CA (TG)	14	113
	CC (TG+TV)	83	177
San Isidro 2	CA (TG)	14	216
	CC (TG+TV)	69	169

Tabla 5: Mínimos Técnicos CT San Isidro 1 y 2 operando con GNL.

4.4 Antecedentes y restricciones operacionales

4.4.1 Datos obtenidos del sistema de información en tiempo real

En el Anexo 5 se representa gráficamente la operación de la CT Nehuenco I durante el año 2016, con datos obtenidos del Sistema de Información en Tiempo Real de Colbún S.A. En el registro se indica el Mínimo Técnico declarado actualmente de 260 MW.

Del registro, se observa que el Mínimo Técnico actualmente informado (260 MW brutos) es consistente debido a que no se registran operaciones estables bajo este valor. Aquellas operaciones que muestran valores por debajo de 260 MW brutos están debidamente respaldadas en los gráficos, indicando su causa y adjuntando el informe diario de operación realizado por Colbún S.A., en caso que corresponda. En términos generales, las operaciones bajo 260 MW brutos corresponden a situaciones de falla de la unidad (ya sea por la salida de la TV, TG o ambas) o a arranques fallidos.

Este análisis de los datos operacionales correspondientes al año 2016 no se puede replicar para la condición de operación en CA, debido a que la mayoría de las ocasiones la central opera en CC.

4.4.2 Restricciones ambientales

Según establece el Decreto Supremo N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, el límite de emisión de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) que aplica a CC Nehuenco I operando exclusivamente con gas natural es de 50 mg NO₂/Nm³. En esta condición no existen límites para las emisiones de Material Particulado (MP) ni Dióxido de Azufre (SO₂).

La Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 003/1997 establece que los límites de emisión másica que aplican a CC Nehuenco I operando exclusivamente con gas natural son:

1. 2,13 toneladas/día de Dióxido de Nitrógeno (NO₂);
2. 0,52 toneladas/día de Monóxido de Carbono (CO); y
3. 0,1 toneladas/día de Material Particulado (MP).

4.5 Justificaciones de eventuales fuentes de inestabilidad por operar en un valor menor de potencia activa

Durante la ejecución de las pruebas a la central con motivo de la determinación del mínimo técnico, no se presentaron fuentes de inestabilidad en los parámetros operacionales de la unidad, es decir éstos se mantuvieron dentro de los límites definidos por el fabricante y las cargas fueron establecidas en función a los parámetros de desempeño y límites operacionales definidos por el fabricante.

De esta forma y para la operación con Gas Natural, la carga mínima o mínimo técnico fue supeditado por el cierre de los dampers de IGV, que controlan la capacidad de regulación de la temperatura del vapor que entran en la turbina. Este control es fundamental para la correcta operación del CC, y la falta de esta regulación de temperatura pone en riesgo la turbina a vapor.

4.6 Pruebas de validación de Mínimo Técnico

El Coordinador realizó una Auditoría Técnica para confirmar, entre otros, el valor de Mínimo Técnico informado por Colbún S.A. para la CT Nehuenco I. Las pruebas fueron realizadas por la empresa STEAG, en enero de 2017, y consistieron en reducir carga hasta 240 MW. En la prueba, se comprobó operación permanente, segura y estable por un periodo de 2 horas (ver Anexo 7). Los resultados de las pruebas arrojaron inconsistencias entre el valor informado (260 MW brutos) y el valor alcanzado (240 MW). Considerando que en el informe no se indica si la potencia alcanzada es bruta o neta, se considerará para este caso que dicho valor es bruto.

Por su parte, Colbún S.A. realizó pruebas para determinar el valor de Mínimo Técnico para la CT Nehuenco I operando en CC y con GNL como combustible. Los resultados de estas pruebas se presentan en los Anexos 6 y 7. Entre las variables medidas se muestran datos de potencia, velocidad, presiones, temperaturas, entre otros, asociados a la turbina y caldera () y el registro de la emisión de gases durante las pruebas. A partir de las pruebas realizadas, es posible también determinar el valor de Mínimo Técnico para Nehuenco I operando en CA y con GNL.

A continuación, se describen los resultados obtenidos durante las pruebas de validación del Mínimo Técnico:

4.6.1 Mínimo técnico termodinámico

El Mínimo Técnico Termodinámico alcanzado, operando en CC y con combustible GNL, es igual a 195 MW brutos. Este valor queda determinado por el control de las temperaturas de vapor que entran en la turbina, el cual está restringido por el cierre de los dampers del IGV ya que, para cargas inferiores a 195 MW brutos, no existe capacidad de regulación de las temperaturas de vapor que entran en la turbina, y con esto se pone en riesgo la turbina. Esto se puede observar en el Anexo 6.

Por otra parte, para el caso de operación de la central en CA y con combustible GNL, se analizaron dos procesos de encendido de la TG acontecidos el 19 de marzo y 19 julio del presente año.

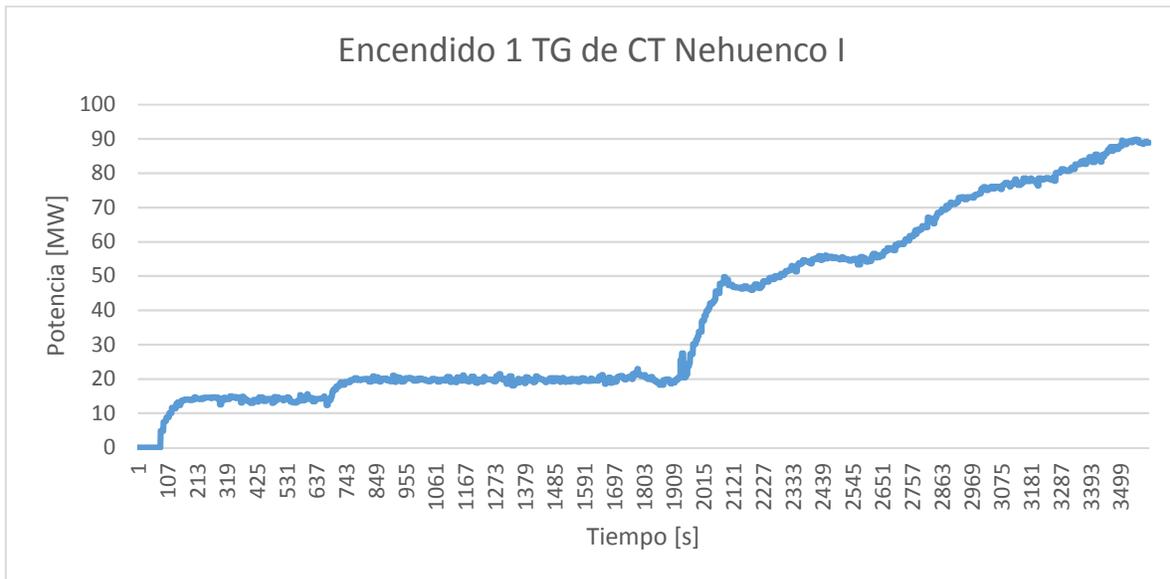


Figura 3: Encendido TG Nehuenco I (GNL), 19.03.2018

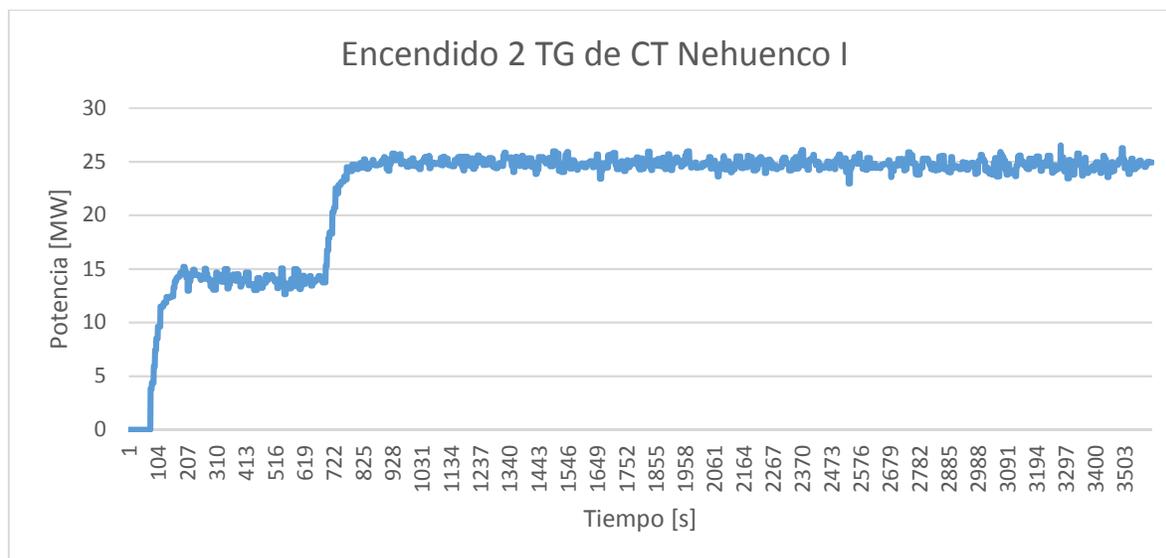


Figura 4: Encendido TG Nehuenco I (GNL), 19.07.2018

A partir de las Figuras 3 y 4 se puede observar que al sincronizar la unidad sube su potencia hasta llegar a 14 MW brutos aproximadamente. Este valor es la potencia de sincronización de la TG y está dado por el control de la unidad, una vez alcanzado se deja a la unidad en este nivel de carga esperando a que se estabilicen todos los parámetros para luego comenzar con el proceso de toma de carga.

4.6.2 Mínimo técnico ambiental

Durante las pruebas realizadas en estación de verano (enero de 2017), el ciclo combinado alcanzó el valor de 238 MW brutos, revisar Anexo 7, que queda determinado al alcanzar el límite de emisión de NO_x establecido por el DS N° 13/2011. Para ese nivel de carga, se verificó que no se superó el límite de toneladas/día de CO impuesto por la RCA. La turbina a gas generó 149 MW brutos, por otra parte, la TV alcanzó el valor de 89 MW brutos aproximadamente.

Durante las pruebas realizadas en la estación de invierno (julio de 2017), el ciclo combinado alcanzó el valor de 245 MW brutos, revisar Anexo 7, que queda determinado al alcanzar el límite de emisión de NO_x establecido por el DS N° 13/2011. Para ese nivel de carga, se verifica que no se supera el límite de toneladas/día de CO impuesto por la RCA. La turbina a gas generó 155 MW brutos, por otra parte, la TV alcanzó el valor de 89 MW brutos aproximadamente. Ahora bien, es importante destacar que, para condiciones ambientales de invierno más extremas, se encontró que el valor de Mínimo Técnico Ambiental será mayor, cercano a los 250 MW brutos, equivalente a una generación de 160 MW brutos para la TG.

En base a los resultados obtenidos en verano e invierno, se establece un valor de Mínimo Técnico Ambiental de 253 MW brutos para la operación CC y de 160 MW brutos para la operación en CA.

5. Conclusiones

A la fecha de este informe, el Mínimo Técnico declarado para la CT Nehuenco I en CC utilizando como combustible GNL es de 260 MW brutos. Por otra parte, en el caso de operación en CA utilizando como combustible GNL, el Mínimo Técnico declarado es de 160 MW brutos.

De las pruebas realizadas se determinó que para CT Nehuenco I operando en CC con combustible GNL es posible disminuir el valor de **Mínimo Técnico a 195 MW brutos**, equivalente al 58% de la Potencia Máxima. Dicho valor, corresponde al Mínimo Técnico Termodinámico. Adicionalmente, la operación en ese nivel de potencia sobrepasa las restricciones ambientales exigidas por el DS N° 13/2011. En base a lo anterior, el **Mínimo Técnico Ambiental**, que garantiza la operación sin sobrepasar los límites ambientales, es de **253 MW brutos**.

Por otra parte, para la CT Nehuenco I operando en CA con combustible GNL se concluye, a raíz de los arranques analizados, que el valor de **Mínimo Técnico Termodinámico es 14 MW brutos**. Ahora bien, considerando los antecedentes de las pruebas realizadas, el valor de **Mínimo Técnico Ambiental sería de 160 MW brutos**.

6. Anexos

Anexo 1 Descripción de la central completa

Anexo 2 Datos Técnicos TG

Anexo 3 Datos Técnicos TV

Anexo 4 Informe de Performance

Anexo 5 Registro de operación

Anexo 6 Resultados mínimo termodinámico

Anexo 7 Resultados mínimo ambiental