



Informe Técnico

Determinación de Mínimo Técnico en Unidad Generadora Nehuenco I COLBÚN 2017

SUBGERENCIA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

A	05.10	Revisión interna	MC	GN
Rev.	Fecha	Naturaleza de revisión	Preparado	Revisado

ÍNDICE

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
4.5	JUSTIFICACIONES DE EVENTUALES FUENTES DE INESTABILIDAD POR OPERAR EN UN VALOR MENOR DE POTENCIA ACTIVA.....	10
4.6	OTROS ANTECEDENTES TÉCNICOS DE RESPALDO.....	10
5.	CONCLUSIONES	12
6.	ANEXOS	13
	ANEXO 1 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL COMPLETA.....	13
	ANEXO 2 DATOS TÉCNICOS TG.....	13
	ANEXO 3 DATOS TÉCNICOS TV	13
	ANEXO 4 INFORME DE PERFORMANCE.....	13
	ANEXO 5 REGISTRO DE OPERACIÓN.....	13
	ANEXO 6 PROTOCOLO PRUEBAS DE DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO.....	13
	ANEXO 7 INFORME DE PRUEBAS DE INERCO A NEHUENCO I	13

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio versión enero 2016 (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 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 Generadora” de la NTSyCS.

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 Central Nehuenco I operando en CC y con combustible GNL, de acuerdo a lo establecido en el Anexo Técnico “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadora” de la NTSyCS.

3. METODOLOGÍA

Para la determinación de Mínimo Técnico de la Central Nehuenco I, COLBUN S.A. contrató el servicio a la empresa INERCO Ingeniería, Tecnología y Consultoría, S.A. de Sevilla, España, para realizar las pruebas operacionales que permitieran 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.

4. ANTECEDENTES

La central 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 (06 de octubre de 2017) operando en CC y utilizando como combustible GNL es de 260 MW.

4.1 ANTECEDENTES TÉCNICOS DE DISEÑO

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

Tabla 1: Datos de placa del generador de 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 2: Datos de placa de la 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

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

Tabla 3: Datos de placa del generador de 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 4: Datos de placa 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

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

- La turbina a gas no ha sufrido modificaciones desde su puesta en servicio, con la salvedad de que actualmente no opera la inyección de agua en la cámara de combustión para el control de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO_x), cuando utiliza como combustible GNL.
- **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 MEZCLA 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 MEZCLA 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).

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

En el documento preparado por SIEMENS "Descripción de la central completa" perteneciente al manual de operaciones de la central Nehuenco I, incluido en el Anexo 1, se 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."

En base a los resultados extraídos de las pruebas realizadas por INERCO, en donde se midió la temperatura de vapor a la entrada de la turbina, para ninguna de las potencias de generación alcanzadas se registró una temperatura de vapor a la entrada de la turbina inferior a 450°C. Ahora bien, al analizar los datos de las pruebas, se observa que para potencias de generación sobre 190 MW la temperatura del vapor de alta presión a la entrada de la turbina registra valores entre 518 y 526°C. Para el caso de la prueba de 163,8 MW la temperatura bajó a 495,6°C.

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.

Tipo de generador: TLRI 115/47

Potencia aparente nominal $S_N = 273,000 \text{ MVA}$
 Potencia activa nominal $P_N = 232,050 \text{ MW}$
 Tensión nominal $U_N = 15,750 \text{ kV}$
 Intensidad nominal $I_N = 10,007 \text{ kA}$

Frecuencia nominal $f_N = 50 \text{ Hz}$
 Factor de potencia $\cos \varphi = 0,85$
 Temperatura del aire frío $T_K = 29^\circ \text{ C}$
 Velocidad $n_N = 50 \text{ s}^{-1}$

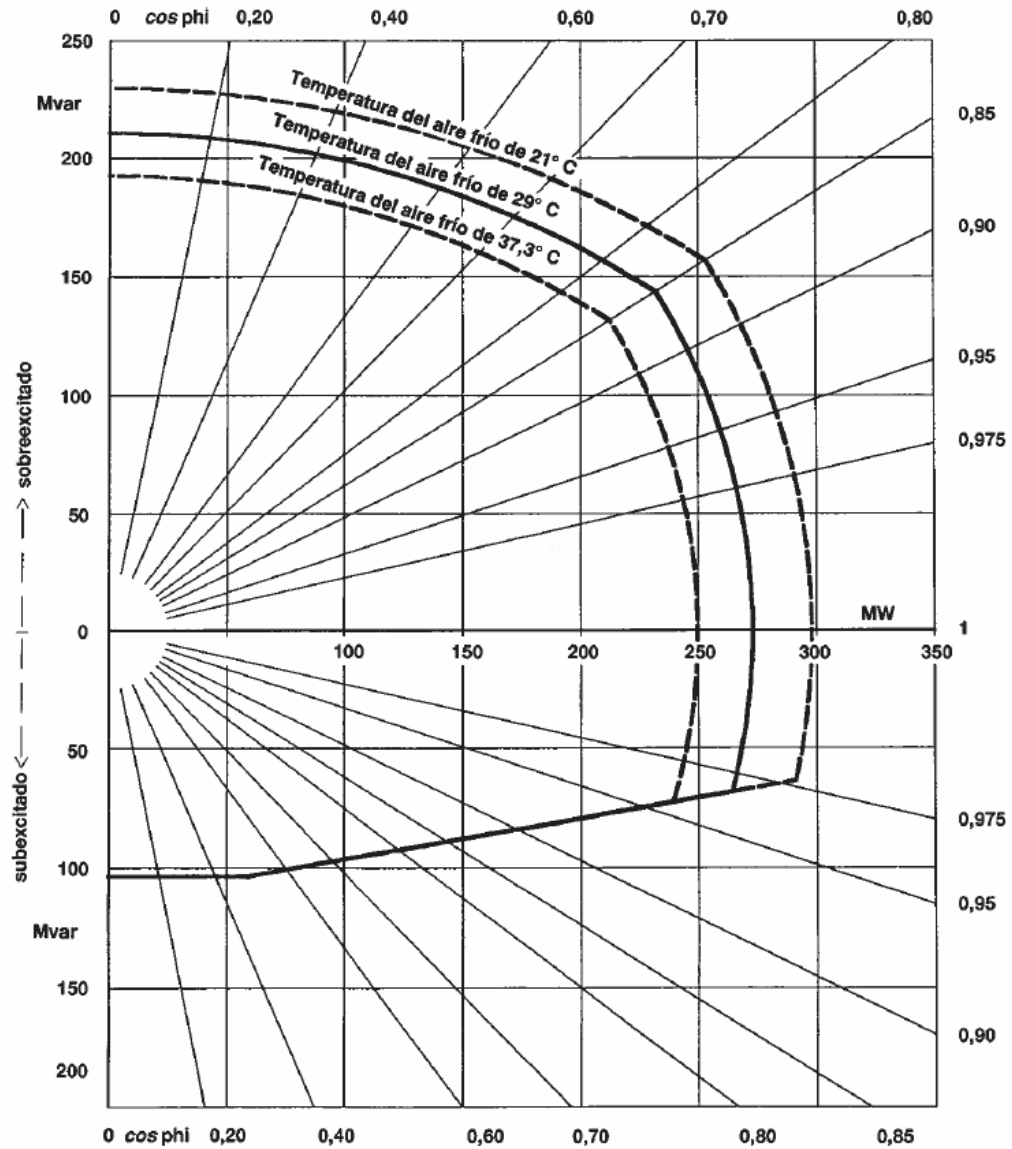


Figura 1: Diagrama PQ del generador de la TG..

Tipo de generador: TLRI 108/36

Potencia aparente nominal $S_N = 175,000$ MVA
 Potencia activa nominal $P_N = 147,700$ MW
 Tensión nominal $U_N = 10,500$ kV
 Intensidad nominal $I_N = 9,622$ kA

Frecuencia nominal $f_N = 50$ Hz
 Factor de potencia $\cos \varphi = 0,85$
 Temperatura del aire frío $T_K = 29$ °C
 Velocidad $n_N = 50$ s⁻¹

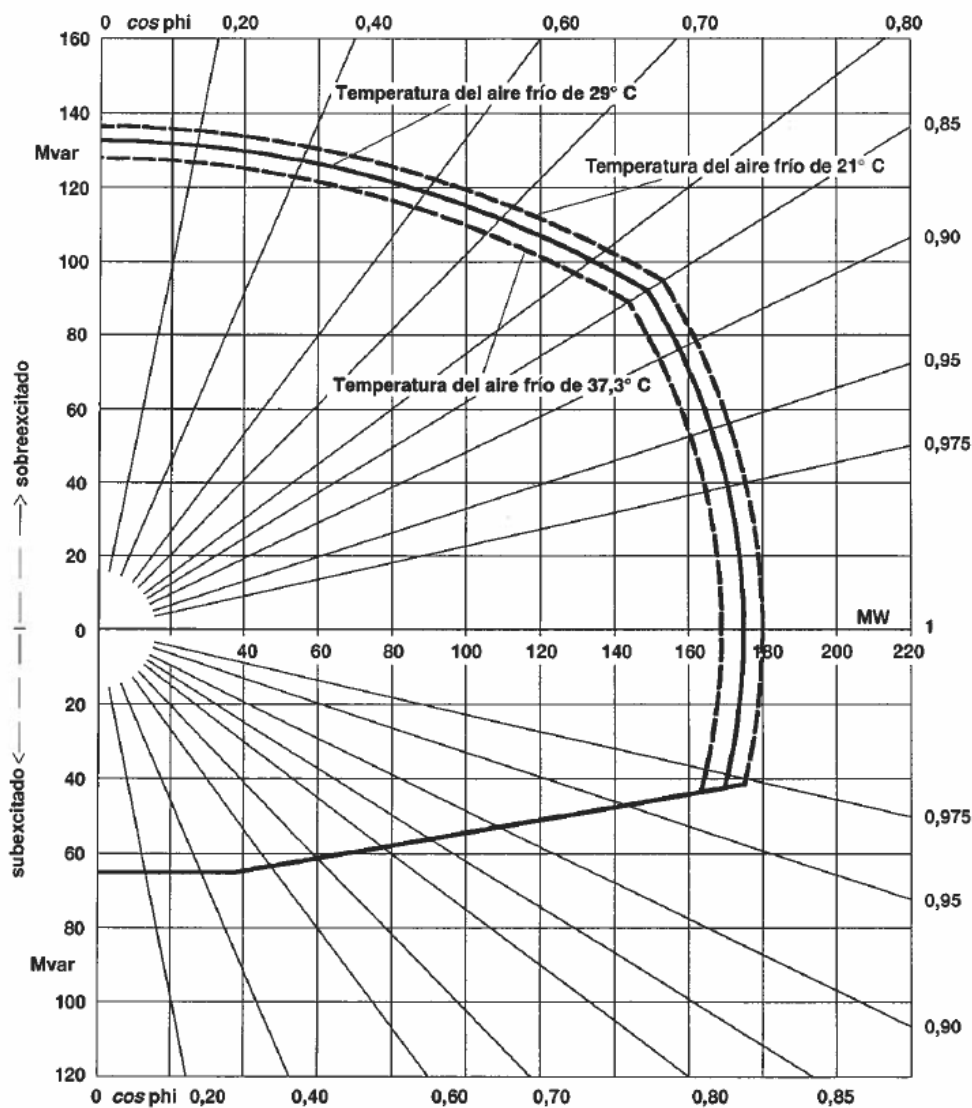


Figura 2: Diagrama PQ del generador de la TV.

4.1.3 Informe de performance y ajustes

En el Anexo 4, se encuentra el informe de performance para el ciclo combinado de 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 por INERCO, especialmente 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, en comparación a marca y modelo de los equipos, turbina a gas y turbina a vapor, la unidad similar a la CT Nehuenco I es la Central Térmica Mejillones 3 (CTM 3) de propiedad de la empresa ENGIE. Dicha unidad tiene declarado 160 MW como Mínimo Técnico brutos operando en CC y con combustible GNL (70,8% de su potencia máxima bruta).

De antecedentes internacionales, en comparación a marca y modelo de los equipos, turbina a gas y turbina a vapor, la unidad comparable a la CT Nehuenco I es la Central Térmica Salta, que tiene declarado 255 MW brutos como Mínimo Técnico en su configuración con una turbina a gas y una turbina a vapor en CC (58,6% de su potencia máxima bruta).

4.4 ANTECEDENTES Y RESTRICCIONES OPERACIONALES

Datos obtenidos del Sistema de Información en Tiempo Real

En el Anexo 5 se representa gráficamente la operación de la unidad 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, el Mínimo Técnico Ambiental de 247 MW y el Mínimo Técnico Termodinámico de 189 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, 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.

Restricciones ambientales

Según establece el Decreto Supremo Nº 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 NO_2/Nm^3 . En esta condición no existen límites para las emisiones de Material Particulado (MP) ni Dióxido de Azufre (SO_2).

La Resolución de Calificación Ambiental (RCA) Nº 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 (NO_2);
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

COLBÚN S.A. contrató los servicios del Consultor INERCO para validar el valor de generación de Mínimo Técnico para la Central Nehuenco I en CC utilizando como combustible GNL, identificando restricciones termodinámicas y ambientales. Del informe presentado por INERCO, adjunto en el Anexo 6, se indica que el control distribuido de CC de Nehuenco I está fijado un valor de carga mínima de 150 MW netos, bajo el cual no se puede garantizar un adecuado nivel de sobrecalentamiento del vapor que ingresa en el cuerpo de baja presión de la turbina de vapor, considerando la presión de trabajo de diseño en dicho cuerpo.

4.6 OTROS ANTECEDENTES TÉCNICOS DE RESPALDO

El Coordinador realizó una Auditoria Técnica para confirmar, entre otros, el valor de Mínimo Técnico informado por COLBUN S.A. para la Central 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, COLBUN S.A. encargó al Consultor INERCO determinar el valor de Mínimo Técnico, entre otros parámetros, para la Central Nehuenco I operando en CC y con GNL como combustible. El protocolo de pruebas utilizado se encuentra en el Anexo 8. En el informe preparado por INERCO, presentado en el Anexo 6, se muestran los resultados de las pruebas realizadas para los distintos valores de generación. Entre las variables medidas, se encuentran parámetros de las turbina y caldera (potencia, velocidad, presiones, temperaturas, entre otros) y el registro de la emisión de gases durante las pruebas.

A continuación, se describen los resultados obtenidos por INERCO para los valores de Mínimo Técnico:

Mínimo Técnico Termodinámico

El Mínimo Técnico Termodinámico alcanzado, operando en CC y con combustible GNL, es de 189 MW netos o 195 MW brutos, equivalente al 58% de la Potencia Máxima. 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 pues, para cargas inferiores a 189 MW netos, no existe capacidad de regulación de las temperaturas de vapor que entran en la turbina. Dado que este valor solo se probó durante el verano, se debe destacar que se verá modificado toda vez que las condiciones ambientales cambien respecto a las presentes durante el desarrollo de la prueba.

Se analizó el impacto sobre las condiciones de operación de la TV que provoca la reducción de carga del ciclo combinado una vez que los dampers IGV cerraron por completo y, por lo tanto, se agota el margen de actuación para mantener la temperatura de gas de escape de la TG en valores de consigna. Para ello, se procedió a reducir la carga desde 189 MW netos hasta los 164 MW

netos. En este proceso, se evidenció el deterioro de los parámetros del vapor que ingresa a los cuerpos de alta, media y baja presión.

Mínimo Técnico Ambiental

Durante las pruebas realizadas en estación de verano (enero de 2017), se alcanzó el valor de 233 MW netos (239 MW brutos), equivalente a un 72% del valor de Potencia Máxima, 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.

Durante las pruebas realizadas en la estación de invierno (julio de 2017), se alcanzó el valor de 244 MW netos (250 MW brutos), equivalente a un 75% del valor de Potencia Máxima, 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. Ahora bien, se encontró que, para condiciones ambientales más extremas, el valor de Mínimo Técnico Ambiental será mayor.

En base a los resultados obtenidos en verano e invierno, se establece un valor de Mínimo Técnico Ambiental de 247 MW netos (253 MW brutos), correspondiente al 76% de la Potencia Máxima de diseño. Este valor considera un cierto grado de cobertura respecto a las distintas condiciones ambientales y no hace necesario efectuar ninguna inversión.

De acuerdo a lo indicado como Mínimo Técnico Termodinámico y Ambiental, y dado que se debe informar el Mínimo Técnico sin considerar, entre otras, restricciones ambientales, se concluye que el Mínimo Técnico encontrado por INERCO es de 189 MW netos (195 MW brutos) operando en CC y con combustible GNL.

5. CONCLUSIONES

A la fecha de este informe (06 de octubre de 2017), el Mínimo Técnico declarado para la Central Nehuenco I en ciclo combinado utilizando como combustible GNL es de 260 MW brutos.

De las pruebas realizadas por parte de INERCO, se determinó que 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 y está sujeto a las condiciones ambientales. 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**.

Cabe considerar, que el Coordinador en el Informe de Definición y Programación de Servicios Complementarios (diciembre de 2016) ha determinado los montos de reserva para control primario y secundario de frecuencia de la Central Térmica Nehuenco I. En caso de requerirse la operación de la Central Nehuenco I a Mínimo Técnico, esta no podrá participar en el esquema de regulación de frecuencia para los eventos que resultan con fenómenos de sobrefrecuencia.

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 Protocolo pruebas de determinación del Mínimo Técnico

ANEXO 7 Informe de pruebas de INERCO a Nehuenco I