



## Informe Técnico

# Determinación de Mínimo Técnico en Unidad Generadora Nehuenco I operando con Diésel COLBÚN 2018

SUBGERENCIA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

A	28.09.2018	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 .....	10
4.5	Justificaciones de eventuales fuentes de inestabilidad por operar en un valor menor de potencia activa	10
4.6	Otros antecedentes de respaldo.....	10
4.6.1	Mínimo técnico termodinámico .....	10
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 Registros pruebas agosto 2018 .....	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 con combustible diésel en Ciclo Abierto (CA) y Ciclo Combinado (CC), 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 CT Nehuenco I.

#### 2. Objetivo

Actualizar el parámetro de Mínimo Técnico de la CT Nehuenco I operando en CA y CC, considerando la operación con combustible diésel en ambas configuraciones, 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 CT Nehuenco I operando con combustible diésel para sus configuraciones de CA y CC, se consideraron los siguientes antecedentes:

1. Parámetros técnicos de la unidad;
2. Recomendaciones del fabricante;
3. Registros operacionales;
4. Pruebas de operación con diésel (agosto 2018);
5. Restricciones ambientales.

Luego, el valor de Mínimo Técnico quedará determinado por la mínima potencia capaz de generar respetando los antecedentes señalados, para la operación de la unidad con las configuraciones y combustible ya mencionados.

#### 4. Antecedentes

La CT Nehuenco I, que entró en funcionamiento el año 1998, tiene una potencia instalada de 380 MW y consta con dos turbinas, una a gas (TG) y otra a vapor (TV), ambas suministradas por SIEMENS. El valor de Mínimo Técnico declarado al Coordinador a la fecha de este informe operando con combustible diésel y en sus configuraciones de CA y CC es de 160 y 290 MW brutos, respectivamente.

##### 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 DE LA 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 DE PLACA TURBINA DE LA 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 DE LA 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	Polos	2

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

DATOS DE PLACA TURBINA UNIDAD DE LA 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<sub>x</sub>, 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).

Estos álabes permanecen en posición totalmente cerrada (0%) hasta que la temperatura del gas de escape no alcance 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 un documento llamado “Descripción de la central completa” perteneciente al manual de operaciones de la CT 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 operacional 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 Caldera de Recuperación de Calor (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 Alta Presión (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 y en la Figura 2 se muestran los diagrama PQ de los generadores de la turbina a gas y de la turbina a vapor, respectivamente. 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 de los generadores.

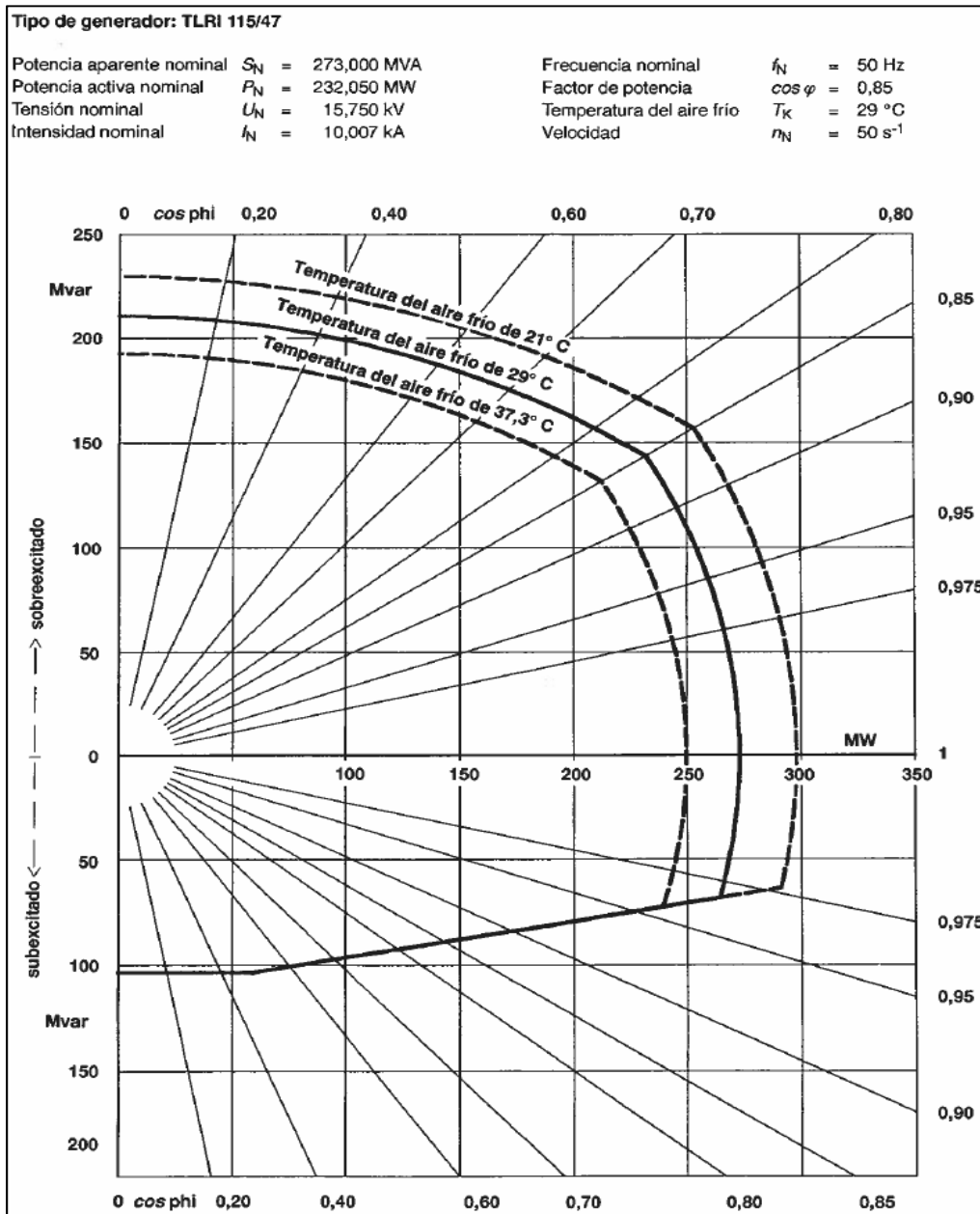


Figura 1: Diagrama PQ del generador de la TG.

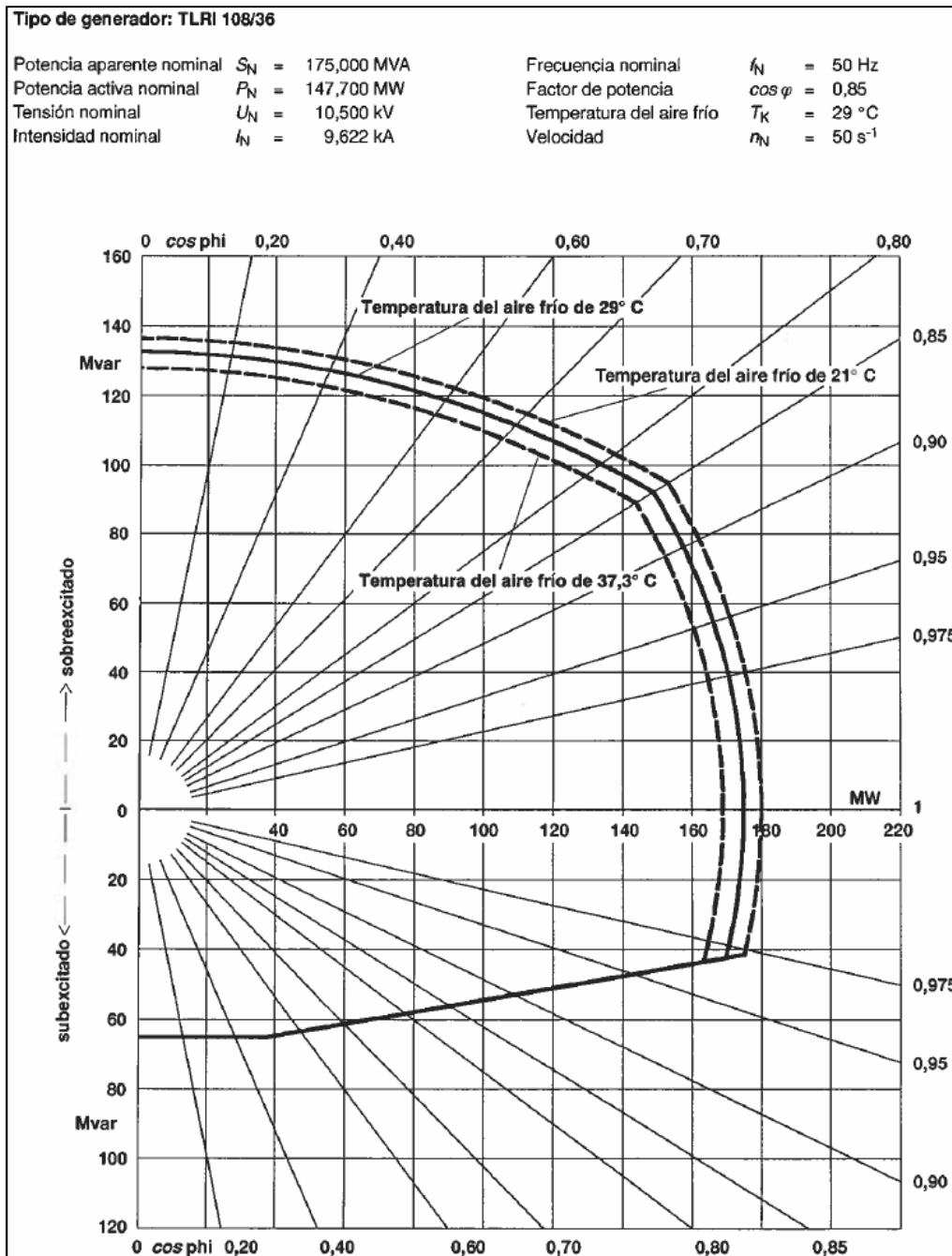


Figura 2: Diagrama PQ del generador de la TV.

#### 4.1.3 Informe de performance y ajustes

En el Anexo 4, se encuentra el informe de performance para el ciclo combinado de la CT Nehuenco I desarrollado por ThermoGen Power Services Inc durante junio de 2015, el cual no se refiere a valores de Mínimo Técnico. No obstante, 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 durante el mes de agosto de 2018, especialmente para determinar el nivel de Mínimo Técnico operando con combustible diésel, se contó con la presencia de especialistas de SIEMENS 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 la 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 Mínimo Técnicos aprobados en combustible diésel para las centrales mencionadas son los siguientes:

Central	Configuración CA: Ciclo Abierto CC: Ciclo Combinado	Mínimo Técnico con diésel [MW brutos]	
		Termodinámico	Ambiental
San Isidro 1	CA (TG)	13	215
	CC (TG+TV)	78	310
San Isidro 2	CA (TG)	13	216
	CC (TG+TV)	65	315

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

#### 4.4 Antecedentes y restricciones operacionales

##### 4.4.1 Datos obtenidos del sistema de información en tiempo real

En el Anexo 5, se muestra gráficamente la operación de la CT Nehuenco I durante el mes de junio de 2016, con datos obtenidos del Sistema de Información en Tiempo Real de Colbún S.A. En el registro se destaca el Mínimo Técnico declarado actualmente de 290 MW brutos.

Del registro, se observa que el Mínimo Técnico actualmente informado (290 MW brutos) es consistente debido a que no se registran operaciones estables bajo este valor. Aquellas operaciones que muestran valores por debajo de 290 MW brutos están debidamente respaldadas indicando su causa y adjuntando el informe diario de operación realizado por Colbún, en caso que corresponda. En términos generales, las operaciones bajo el mínimo técnico declarado 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 mes de junio de 2016 no se puede replicar para la condición de operación en CA, debido a que la central normalmente opera en CC.

#### **4.4.2 Restricciones ambientales**

Según establece el Decreto Supremo Nº 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, el límite de emisión de Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) que aplica a la CT Nehuenco I operando exclusivamente con diésel es de  $200 \text{ mg/Nm}^3$ . En esta condición existen límites de  $30 \text{ mg/Nm}^3$  para las emisiones de Material Particulado (MP) y Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ).

Adicionalmente, la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) Nº 003/1997 establece que los límites de emisión másica que aplican a la CT Nehuenco I operando exclusivamente con diésel son:

1. 6,38 toneladas/día de Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ );
2. 0,52 toneladas/día de Monóxido de Carbono (CO);
3. 2 toneladas/día de Material Particulado (MP); y
4. 10,8 toneladas/día de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ).

#### **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 parámetro de Mínimo Técnico de la CT Nehuenco I en CC y operando con combustible GNL, identificando restricciones termodinámicas y ambientales. Del informe presentado por INERCO, se indica que el control distribuido del CC de la CT Nehuenco I está fijado en 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. Esta restricción se mantiene para la operación con diésel.

#### **4.6 Otros antecedentes de respaldo**

Con el fin de determinar el valor de Mínimo Técnico ambiental y termodinámico de la CT Nehuenco I en operación con diésel, Colbún S.A programó pruebas efectuadas durante el 21 de agosto del 2018. Éstas consistieron en tomar medidas de las variables ambientales y del proceso termodinámico para distintos estados de cargas del CC, comenzando por el valor actual de mínimo técnico aprobado, 290 MW brutos, para luego ir descendiendo en potencia. Se consideró mantener a la central operando por una hora en cada de estado carga programado con el fin de que las distintas medidas se estabilizaran y fueran válidas.

##### **4.6.1 Mínimo técnico termodinámico**

De los distintos ensayos para determinar el Mínimo Técnico Termodinámico, se concluyó que el valor óptimo, operando en CC y con combustible diésel, es de 215 MW brutos. Todos los datos registrados durante el ensayo a 215 MW brutos se encuentran disponibles en el Anexo 6 con el nombre de Neh1-7.

## Informe Técnico

### Determinación del Mínimo Técnico en la CT Nehuenco I

La potencia de 215 MW brutos queda determinada por la posición de la válvula de vapor de baja presión de la TV, que durante el ensayo Neh1-8 (ver Anexo 6), a 200 MW brutos, alcanzó un valor promedio de apertura de 6,3% poniendo en riesgo la operación del ciclo ante cualquier evento que pueda ocurrir y que provoque el cierre de la válvula y por consiguiente la salida intempestiva de la TV. Por lo que al momento de observar esta situación se decide suspender el ensayo Neh1-8 luego de 10 minutos de haber llegado a este estado de carga.

Adicionalmente, en el Anexo 6 se muestran los datos registrados del ensayo para el mínimo técnico actualmente declarado, 290 MW brutos, denominado Neh1-3.

Cabe destacar que las pruebas mencionadas anteriormente fueron realizadas utilizando el modo de combustión PREMIX, con el fin de cumplir con los límites de emisiones exigidos.

En cuanto a la operación de la central en CA y con combustible diésel, se analizaron dos procesos de arranque de la TG acontecidos los días 20 y 21 de agosto del presente año.

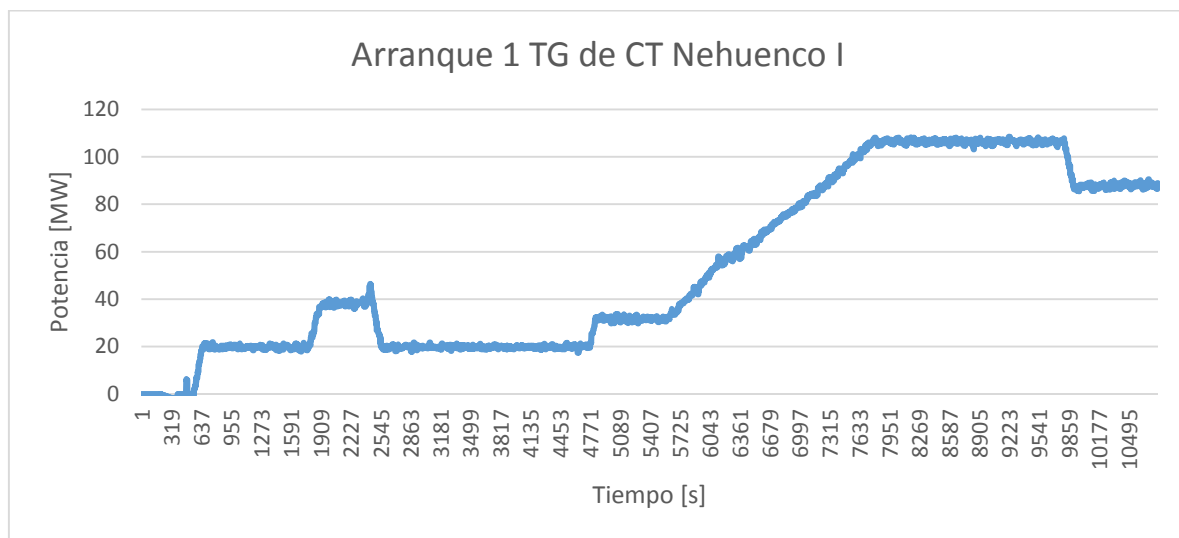


Figura 3: Encendido TG Nehuenco I (Diésel), 20.08.2018

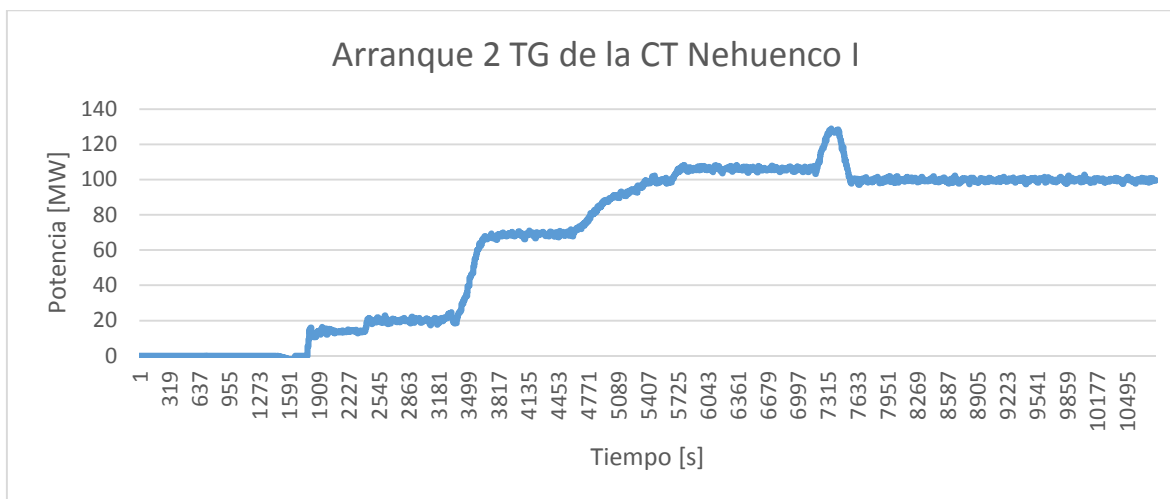


Figura 4: Encendido TG Nehuenco I (Diésel), 21.08.2018

A partir de las figuras 3 y 4 se puede observar que al sincronizar la unidad sube su potencia hasta llegar a 20 MW brutos aproximadamente. Este corresponde a la potencia de sincronización de la TG, y una vez alcanzado este valor se deja a la unidad en este nivel de carga esperando a que se estabilicen todos los parámetros de control para luego comenzar con el proceso de toma de carga. Luego, los 20 MW brutos corresponden al Mínimo Técnico Termodinámico de la CT Nehuenco I operando en CA y con diésel.

#### 4.6.2 Mínimo técnico ambiental

Durante las pruebas realizadas en el mes de agosto para el CC de la CT Nehuenco I con diésel, no se sobrepasaron los límites impuestos tanto en el decreto DS-13 así como en la RCA respectiva, para ninguno de los estados de carga ensayados en el modo de combustión PREMIX (revisar antecedentes en el Anexo 6). Luego, el Mínimo Técnico Ambiental queda limitado por restricciones termodinámicas de la unidad en 215 MW brutos cumpliendo con las emisiones.

Con respecto a la operación de la CT Nehuenco I en CA y con diésel, el Mínimo Técnico Termodinámico igual a 20 MW brutos no permite el cumplimiento de las normativas ambientales. Lo anterior es debido a que, para dicho nivel de potencia, la CT Nehuenco I opera con la combustión en modo DIFUSION. Luego, dado que la combustión en modo PREMIX permite los cumplimientos ambientales, se considera que el Mínimo Técnico Ambiental estará determinado por la potencia que permite el cambio a dicho modo de combustión.

Dado que la potencia en la cual se produce el cambio de modo de combustión está influenciada por distintas variables, entre ellas las condiciones ambientales, se propone que el Mínimo Técnico Ambiental sea igual a 124 MW brutos, el cual corresponde al mínimo valor determinado para la TG en el ensayo Neh1-8 (ver Anexo 6) para la operación con combustión en modo PREMIX. Cabe destacar que, para dicho nivel de potencia se asegura que la operación de la CT Nehuenco I en CA y con diésel cumpla con los límites de emisiones, así como también en forma estable y segura, sin riesgo de que algún evento pueda provocar el cambio a modo de combustión DIFUSION.

## 5. Conclusiones

A la fecha de este informe, el Mínimo Técnico declarado para la CT Nehuenco I en CA y CC operando con diésel es de 160 MW brutos y 290 MW brutos, respectivamente.

De las pruebas realizadas durante el mes de agosto del presente año, se determinó que el **Mínimo Técnico** de la CT Nehuenco I operando en **CC** y con **diésel** es de **215 MW brutos**. Dicho valor, corresponde tanto al Mínimo Técnico Termodinámico como al Ambiental, ya que en este estado de carga se cumple con el nivel de emisiones fijado en las distintas restricciones ambientales.

Con respecto a la operación de la CT Nehuenco I en **CA** y con **diésel** se concluye, a raíz de los arranques analizados, que el valor de **Mínimo Técnico Termodinámico es 20 MW brutos**. No obstante, dicho valor no permite el cumplimiento de las normativas ambientales. Es por ésta razón, y dadas las pruebas realizadas durante el mes de agosto de 2018, se fija el valor de **Mínimo Técnico Ambiental igual a 124 MW brutos**, permitiendo solventar el incumplimiento antes mencionado.

Cabe considerar, que el Coordinador en el Informe de Definición y Programación de Servicios Complementarios ha determinado los montos de reserva para control primario y secundario de frecuencia de la CT Nehuenco I. En caso de requerirse la operación a Mínimo Técnico de dicha central, 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 Registros pruebas agosto 2018**