



## Informe Técnico

# Determinación del Mínimo Técnico en la Central Térmica Nehuenco II operando con Diésel COLBÚN 2018

SUBGERENCIA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

A	14.12.2018	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 .....	4
4. Antecedentes .....	5
4.1 Antecedentes técnicos de diseño .....	5
4.1.1 Manual de operación y mantenimiento.....	7
4.1.2 Diagramas de operación .....	7
4.1.3 Informe de performance y ajustes .....	10
4.1.4 Informe de mantenimiento mayor del grupo turbina/generador .....	10
4.2 Recomendación del fabricante .....	10
4.3 Antecedentes nacionales o internacionales de unidades similares.....	10
4.4 Antecedentes operacionales.....	10
4.5 Restricciones ambientales.....	10
4.6 Justificaciones de eventuales fuentes de inestabilidad por operar en un valor menor de potencia activa .....	11
4.7 Pruebas de validación de Mínimo Técnico.....	11
4.7.1 Mínimo Técnico Termodinámico .....	11
4.7.2 Mínimo Técnico Ambiental .....	14
5. Conclusiones.....	15
6. Anexos .....	16
Anexo 1 Diagrama PQ TG .....	16
Anexo 2 Diagrama PQ TV.....	16
Anexo 3 Registro de operación .....	16
Anexo 4 Ajustes de caldera .....	16
Anexo 5 Resultados ensayos de mínimo técnico .....	16

#### 1. Introducción

En el marco de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTSyCS), el Coordinador Eléctrico Nacional (en adelante el “Coordinador”) ha solicitado actualizar el valor de mínimo técnico para las unidades generadoras que se encuentren conectadas al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

El presente documento entrega los antecedentes que respaldan el valor de mínimo técnico de la Central Térmica (CT) Nehuenco II conforme a lo establecido en el Anexo Técnico “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras” (en adelante el “Anexo Técnico”) de la NTSyCS versión mayo 2018.

#### 2. Objetivo

Actualizar el parámetro de mínimo técnico de la CT Nehuenco II operando en Ciclo Combinado (CC) y con diésel como combustible, 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 valor de mínimo técnico de la CT Nehuenco II, Colbún S.A. realizó pruebas operacionales. Dichas pruebas se realizaron durante los días 25 y 26 de octubre del 2018.

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, para identificar el mínimo técnico termodinámico. Dicho valor debe asegurar la operación continua de la central sin comprometer la seguridad de operación y 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° 034/2002, dicho valor de potencia corresponde al mínimo técnico ambiental.

Finalmente, se tomarán en consideración distintos antecedentes de diseño y operación histórica de la central.

**4. Antecedentes**

Para la actualización del valor del mínimo técnico de la CT Nehuenco II se tomaron en cuenta los siguientes antecedentes:

**4.1 Antecedentes técnicos de diseño**

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

DATOS DE PLACA DEL GENERADOR DE LA CT NEHUENCO II TG		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	N° de Fases	3
2	Potencia Nominal	300 MVA
3	Voltaje Nominal	15,75 kV
4	Corriente Nominal	10.997 A
5	Frecuencia Nominal	50
6	Factor de Potencia	0,85
7	Velocidad Nominal	3.000 rpm
8	Polos	2

*Tabla 1: Datos de placa del generador de la turbina a gas de CT Nehuenco II.*

DATOS DE PLACA DE LA TURBINA DE LA CT NEHUENCO II TG		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Tipo turbina	Gas
2	Velocidad nominal	3.000 rpm
3	Potencia nominal	255 MW

*Tabla 2: Datos de placa de la turbina a gas de CT Nehuenco II.*

A continuación, se muestran los datos de placa del generador y de la turbina a vapor (TV):

DATOS DE PLACA DEL GENERADOR DE LA CT NEHUENCO II TV		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	N° de Fases	3
2	Potencia Nominal	164 MVA
3	Voltaje Nominal	15,75 kV
4	Corriente Nominal	6.012 A
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 de CT Nehuenco II.*

DATOS DE PLACA DE LA TURBINA DE LA CT NEHUENCO II TV		
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Tipo turbina	Vapor
2	Velocidad nominal	3.000 rpm
3	Potencia nominal	139 MW

*Tabla 4: Datos de placa de la turbina a vapor de CT Nehuenco II.*

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

- **Modificaciones respecto al diseño original.** A finales del 2016, la TG sufrió una modificación que permite una menor generación de NO<sub>x</sub>. Adicionalmente, la modificación incluyó cambios de álabes y de aislamiento térmico de la TG permitiendo alcanzar potencias brutas ligeramente inferiores a 400 MW.
- **Modos de funcionamiento de los quemadores de la cámara de combustión de la TG.** El modo de combustión del quemador se establece a partir de un parámetro denominado “Referencia de Combustión (CRT)”, el cual es calculado por el sistema de control de la TG, en función de diferentes parámetros operativos, tomando un valor entre 0 a 100%. Todos los modos de funcionamiento son modos de premezcla (baja generación de NO<sub>x</sub>), variando unos de otros en el grado de premezcla modificando la combinación de las boquillas activas y el caudal de gas a través de ellas.
- **Ajuste de regulación de quemadores para control de NO<sub>x</sub>.** Los quemadores de la TG disponen de una capacidad de regulación que modifica la relación de mezcla de aire – diésel dentro del mismo modo de operación del quemador. Al modificar dicha relación, cambia la emisión de NO<sub>x</sub> y CO.

- **Elementos de regulación para control de temperatura de gases de escape de la TG.** Existen dos elementos de regulación en la TG para el control de la temperatura de los gases de escape que permiten controlar las condiciones de vapor de entrada a los diferentes cuerpos de la turbina. El primero de ellos, son los álabes de entrada al compresor de la TG (*"inlet guide vane"* o IGV) quienes regulan su apertura para mantener la consigna de temperatura de los gases de escape. El segundo elemento de regulación es la recirculación de aire en la salida del compresor de la TG hacia el conducto de entrada de aire en dicho compresor (*"inlet blade heating"* o IBH).

#### 4.1.1 Manual de operación y mantenimiento

Actualmente, no se cuenta con una versión digital del manual de operación y mantenimiento de CT Nehuenco II y, debido a que éste es una colección de tomos, tampoco es posible adjuntarlo. Sin embargo, en la siguiente sección, se presentan los diagramas PQ que forman parte del manual de los generadores de la turbina a gas y a vapor.

#### 4.1.2 Diagramas de operación

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, los que, adicionalmente, se encuentran en el Anexo 1 y Anexo 2, respectivamente. De ambos diagramas se desprende que no existe un valor mínimo de potencia activa de generación asociado a las curvas características de los generadores.

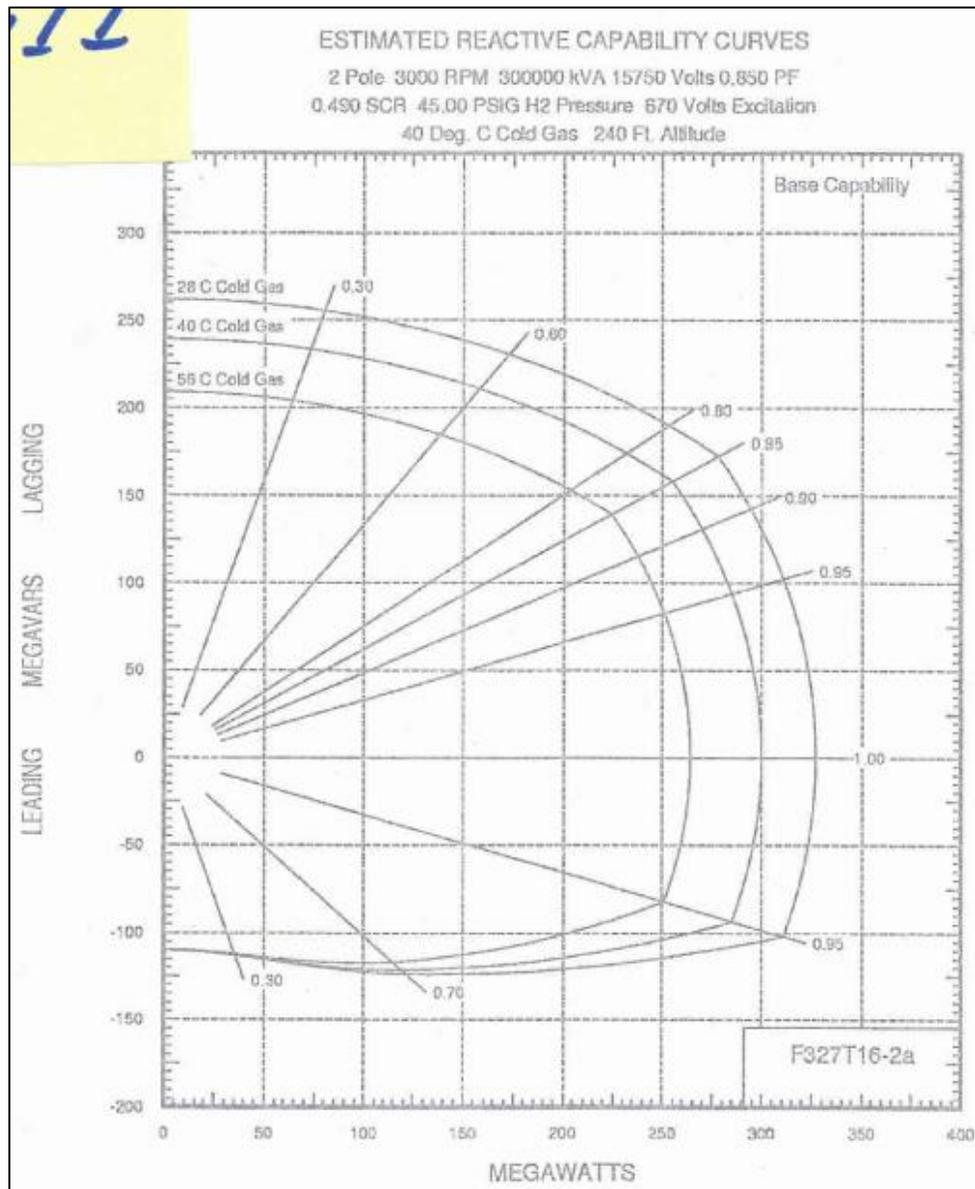


Figura 1: Diagrama PQ del generador de la TG.

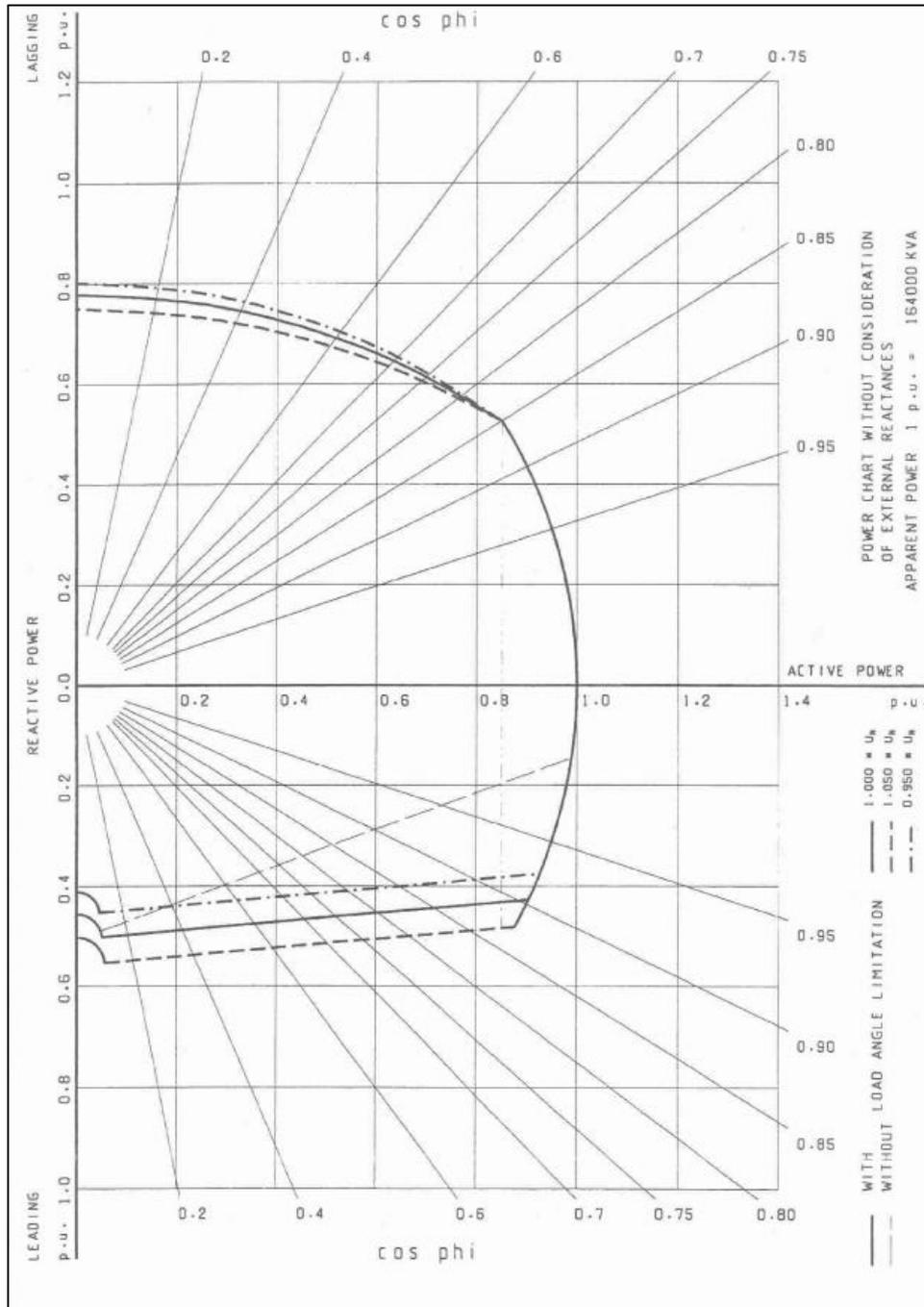


Figura 2: Diagrama PQ del generador de la TV.

#### 4.1.3 Informe de performance y ajustes

Del informe de performance y ajustes de automatismos, no se obtiene ninguna información que permita definir el parámetro de mínimo técnico.

#### 4.1.4 Informe de mantenimiento mayor del grupo turbina/generador

De los manuales e informes de mantenimiento disponibles, no se extrae ninguna información que permita definir el parámetro de mínimo técnico.

#### 4.2 Recomendación del fabricante

Durante la ejecución de las pruebas realizadas, especialmente para determinar el valor de mínimo técnico, se contó con el apoyo de General Electric, fabricante de la turbina a gas. De esta forma, se verificaron conforme los parámetros termodinámicos del ciclo y la estabilidad del sistema de control de la central. Adicionalmente, se adjuntan al presente informe los ajustes de operación de la caldera en el Anexo 6.

#### 4.3 Antecedentes nacionales o internacionales de unidades similares

En el SEN, la central similar a la CT Nehuenco II es la CT Nueva Renca, en relación al fabricante de equipos de turbina a gas y a vapor. En el mes de octubre del 2018, el Coordinador envió la carta de aceptación para el valor de mínimo técnico de la central mencionada, siendo éste igual a 205 MW brutos en su operación en CC y con combustible diésel.

#### 4.4 Antecedentes operacionales

En el Anexo 3 se muestra gráficamente la operación de la unidad Nehuenco II durante el año 2016, con datos obtenidos del Sistema de Información en Tiempo Real de Colbún S.A. De ellos, se puede observar que la central no registra operaciones bajo el mínimo técnico actualmente declarado, de 190 MW brutos para la operación con diésel, esto ocurre durante el mes de junio del año mencionado.

#### 4.5 Restricciones ambientales

Según establece el Decreto Supremo N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, el límite de emisión de Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) que aplica a CT Nehuenco II en ciclo combinado, operando exclusivamente con diésel es de 200 mg  $\text{NO}_2/\text{Nm}^3$ . Adicionalmente se establecen límites para las emisiones de Material Particulado (MP) y Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) de 30 mg/ $\text{Nm}^3$  en ambos casos.

La Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 034/2002 establece que los límites de emisión másica que aplican al CT Nehuenco II en ciclo combinado, operando exclusivamente con diésel son: 3,62 toneladas/día de Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ); 1,58 toneladas/día de Monóxido de Carbono (CO); 0,63 toneladas/día de Material Particulado (MP); y 1,44 toneladas/día para la emisión de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ).

#### **4.6 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 estos 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 diésel, la carga mínima o mínimo técnico fue supeditado por el control de gradiente de temperatura y la conmutación de estado de arranque – parada en la bomba crítica de arranque de domo de alta presión.

#### **4.7 Pruebas de validación de Mínimo Técnico**

De acuerdo a lo indicado en el capítulo anterior, anexos al presente informe se presentan los resultados de las variables medidas durante las pruebas ejecutadas para determinar el valor de mínimo técnico operando con diésel. Entre estas variables se muestran datos de potencia, velocidad, presiones, temperaturas, entre otros, asociados a las turbinas y caldera, y el registro de la emisión de gases durante las pruebas. Todos los datos medidos y registrados durante los ensayos se encuentran adjuntos en el Anexo 5.

A continuación, se describen los resultados obtenidos para los distintos estados de carga ensayados con el objetivo de encontrar el valor de mínimo técnico:

##### **4.7.1 Mínimo Técnico Termodinámico**

Durante la búsqueda del mínimo técnico termodinámico, se dieron dos condiciones operacionales que fijan este valor en 195 MW brutos, las condiciones son las siguientes:

- a) Cambio de control “PREDETERMINADO” a “TEMPERATURE MATCHING”
- b) Conmutación de estado Arranque-Parada en bomba crítica de arranque domo de lata presión (1AFSR-P-001)

##### **a) Cambio de control “PREDETERMINADO” a “TEMPERATURE MATCHING”**

El control por TEMPERATURE MATCHING es el control por gradiente de temperatura donde el valor de consigna de potencia es calculado por los Stress de caldera, este modo de control asegura obtener un gradiente de carga en turbina a gas seguro para la caldera. Este modo de control se habilita solo en los arranques y detenciones de Ciclo Combinado.

Cuando se alcanzan valores de temperatura de vapor de alta o media presión seguros para la caldera el control se conmuta de “TEMPERATURE MATCHING” a “PREDETERMINADO”. En modo de control PREDETERMINADO se libera la limitación por temperatura y el operador puede consignar valores de potencia a requerimientos del despacho.

En la Figura 3 se muestran los intentos de buscar el mínimo térmico Termodinámico, donde del modo PREDETERMINADO se consignan valores de potencia para verificar que el Ciclo Combinado

no cambie a TEMPERATRURE MATCHING, en los puntos A, B y C se producen las conmutaciones de modo no deseadas.

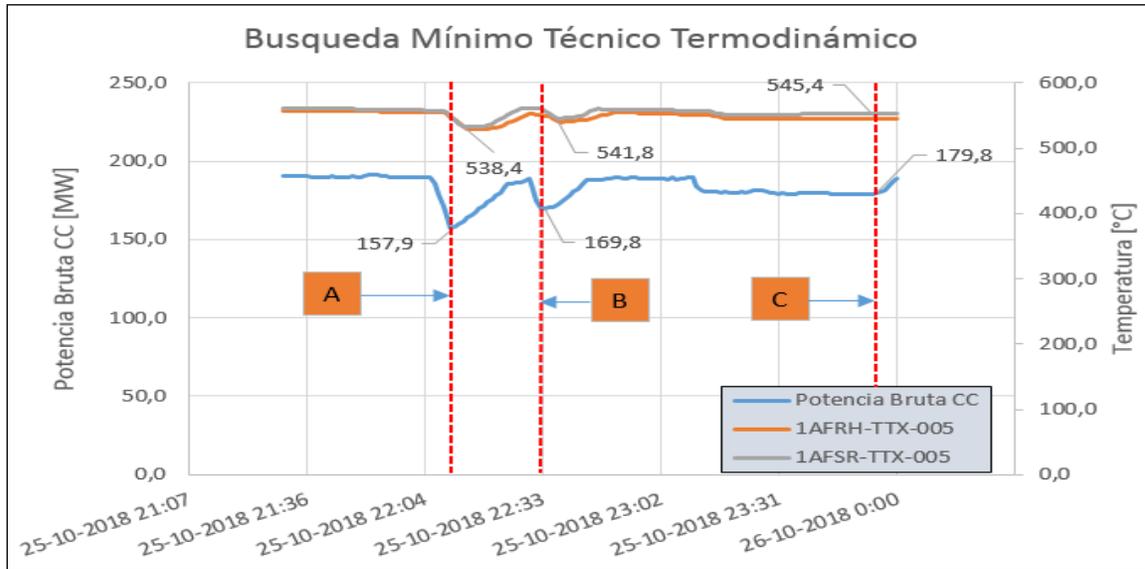


Figura 3: Operación control de la unidad.

A continuación, se describen los puntos y señales mostrados en la figura anterior:

- Variable 1AFSR-TTX-005: Temperatura vapor de alta presión.
- Variable 1AFRH-TTX-005: Temperatura vapor de media presión.
- Operación en punto A: Búsqueda de mínimo técnico termodinámico a 155 [MW] brutos, sin embargo, cambia de forma automática a modo control TEMPERATURE MATCHING subiendo carga hasta volver a conmutar a modo PREDETERMINADO.
- Operación en punto B: Búsqueda de mínimo técnico termodinámico a 170 [MW] brutos, sin embargo, cambia de forma automática a modo control TEMPERATURE MATCHING subiendo carga hasta volver a conmutar a modo PREDETERMINADO.
- Operación punto C: Búsqueda de mínimo técnico termodinámico a 180 [MW] brutos, sin embargo, cambia de forma automática después de 25 minutos a modo control TEMPERATURE MATCHING subiendo carga hasta volver a conmutar a modo PREDETERMINADO.

Finalmente, en cuanto al cambio de control analizado se observa que la unidad se comporta de manera estable a una carga de 190 MW brutos.

**b) Conmutación de estado Arranque-Parada en bomba crítica de arranque 1AFSR-P-001 (Bomba de arranque domo de alta presión)**

Una operación a cargas inferiores a 195MW Bruto, implican alcanzar condiciones de flujos agua-vapor en caldera que obliga el arranque de forma automática de la bomba de alta presión de arranque 1AFSR-P-001 por condición de diseño y de esta forma evitar stress térmico por bajo flujo.

Por otro lado, esta bomba es única y no tiene respaldo operacional. Tal como lo indica su nombre, está diseñada para apoyar el proceso de arranque de la unidad hasta alcanzar las condiciones de flujo necesarias, las que se alcanzan a una carga cercana a los 185 MW Bruto. No está diseñada para una operación permanente.

El arranque de la bomba se producirá cuando el flujo de agua de alimentación AP este por debajo de los 170 Ton/h, la detención se produce por sobre los 170 Ton/h después de 15 minutos por sobre este valor, la Figura 4 muestra el periodo donde la bomba arranca y se detiene (D), la Figura 5 es un extracto de los eventos del DCS.

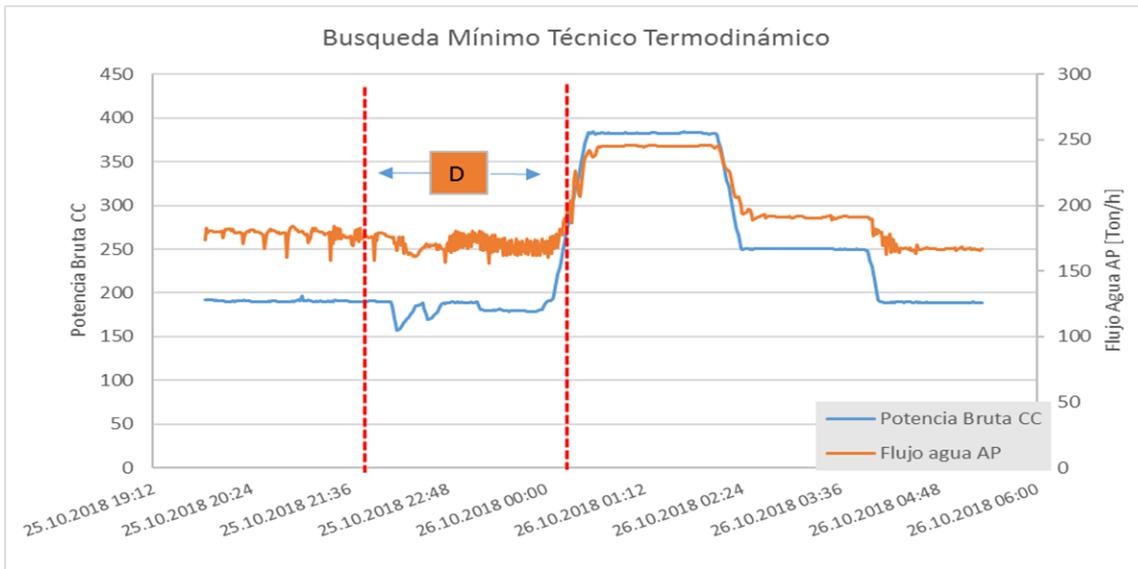


Figura 4: Operación bomba de arranque AP.

Time	ID	Label	Funcion ID	Description
25/10/2018 21:17:55.443	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	NE-SERV -> EN-SERV
25/10/2018 21:17:56.440	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	PARADO -> N-PARADO
25/10/2018 21:17:32.920	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[3] -> [1]
25/10/2018 21:17:32.980	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	N-PARADO -> PARADO
25/10/2018 21:17:32.987	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	EN-SERV -> NE-SERV
25/10/2018 21:02:14.600	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[1] -> [3]
25/10/2018 21:02:14.365	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	NE-SERV -> EN-SERV
25/10/2018 21:02:14.353	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	PARADO -> N-PARADO
25/10/2018 21:01:44.930	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[3] -> [1]
25/10/2018 21:01:44.613	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	N-PARADO -> PARADO
25/10/2018 21:01:44.610	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	EN-SERV -> NE-SERV
25/10/2018 22:45:43.600	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[1] -> [3]
25/10/2018 22:45:43.445	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	NE-SERV -> EN-SERV
25/10/2018 22:45:43.442	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	PARADO -> N-PARADO
25/10/2018 22:45:21.840	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[3] -> [1]
25/10/2018 22:45:21.592	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	N-PARADO -> PARADO
25/10/2018 22:45:21.589	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	EN-SERV -> NE-SERV
25/10/2018 22:09:38.030	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[1] -> [3]
25/10/2018 22:09:37.829	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	NE-SERV -> EN-SERV
25/10/2018 22:09:37.826	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	PARADO -> N-PARADO
25/10/2018 22:09:12.950	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[3] -> [1]
25/10/2018 22:09:12.862	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	N-PARADO -> PARADO
25/10/2018 22:09:12.876	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	EN-SERV -> NE-SERV
25/10/2018 21:53:52.920	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[1] -> [3]
25/10/2018 21:53:52.652	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	NE-SERV -> EN-SERV
25/10/2018 21:53:52.648	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	PARADO -> N-PARADO
25/10/2018 21:52:59.140	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[3] -> [1]
25/10/2018 21:52:56.945	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	N-PARADO -> PARADO
25/10/2018 21:52:56.942	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	EN-SERV -> NE-SERV
25/10/2018 21:37:40.270	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[1] -> [3]
25/10/2018 21:37:40.114	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	NE-SERV -> EN-SERV
25/10/2018 21:37:40.112	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	PARADO -> N-PARADO
24/10/2018 21:27:13.300	1AFSR_P_001_W	BOMBA DE ARRANQUE AP-ANIM	1AFSR	[3] -> [1]
25/10/2018 21:37:13.069	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	N-PARADO -> PARADO
25/10/2018 21:37:13.065	1AFSR_P_001_D	BOMBA DE ARRANQUE AP-POS	1AFSR	EN-SERV -> NE-SERV

Figura 5: Eventos DCS Nehuenco II, operación bomba.

**4.7.2 Mínimo Técnico Ambiental**

Durante las pruebas de validación de mínimo técnico, no se sobrepasaron los límites ambientales asociados al decreto supremo y resolución ambiental correspondiente.

A continuación, se muestra en la Tabla 5 los resultados obtenidos para los 4 ensayos realizados y que se encuentran detallados en el Anexo 5.

	Ensayos			
	Neh2-1	Neh2-2	Neh2-4	Neh2-5
NOx [mg/Nm3]	77,0	68,8	83,1	73,6
SO2 [mg/Nm3]	0,9	0,8	1,0	0,9
MP [mg/Nm3]	0,2	0,2	0,2	0,1
CO [mg/Nm3]	3,9	15,4	2,0	7,6
NOx [ton/día]	2,4	2,3	3,0	2,5
SO2 [ton/día]	0,0	0,0	0,0	0,0
MP [ton/día]	0,0	0,0	0,0	0,0
CO [ton/día]	0,1	0,5	0,1	0,3

Tabla 5: Resultados de emisiones pruebas de MT diésel Nehuenco II.

## 5. Conclusiones

El presente informe determina el valor de mínimo técnico de la CT Nehuenco II operando en Ciclo Combinado y con diésel como combustible en cumplimiento con el Anexo Técnico: “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras” de la NTSyCS, versión mayo 2018.

A la fecha de este informe, el mínimo técnico declarado para la CT Nehuenco II en ciclo combinado utilizando diésel como combustible era de 190 MW brutos.

De las pruebas realizadas, se determinó que el mínimo técnico Termodinámico de la CT Nehuenco II en ciclo combinado operando con diésel es de 195 MW brutos, ya que bajo dicho nivel de potencia se observaron limitaciones en el sistema de control de la unidad y de equipos críticos para la operación.

Dado lo anterior, el valor de mínimo técnico de la CT Nehuenco II en ciclo combinado utilizando diésel es **195 MW brutos**. Dicho valor, permite la operación permanente, estable, segura y no transgrede los límites de emisiones impuestos a la central.

**6. Anexos**

**Anexo 1 Diagrama PQ TG**

**Anexo 2 Diagrama PQ TV**

**Anexo 3 Registro de operación**

**Anexo 4 Ajustes de caldera**

**Anexo 5 Resultados ensayos de mínimo técnico**