



“EMISIONES DE NO_x EN UNIDAD TG HITACHI”

Central Tres Puentes



Julio 2020

ESTADO DE REVISIONES								
Proyecto			"Asesoría Determinación efectos de las emisiones de NOx generadas por la Turbina Hitachi- período 2016, 2017 y 2018".					
N° de documento			JI-27820					
Título			"EMISIONES DE NOX EN UNIDAD TG HITACHI"					
Revisión			JHG Ingeniería			EDELMA G		
REV	Descripción		Por	Revisó	Aprobó	Revisó	Revisó	Aprobó
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	NOMBRE	CML	JAB				
		FECHA	03-07-20	04-07-20				
		FIRMA						
B	EMITIDO PARA APROBACIÓN	NOMBRE	CML	JAB				
		FECHA	06-07-20	06-07-20				
		FIRMA						
		NOMBRE						
		FECHA						
		FIRMA						

Índice

1. Resumen Ejecutivo	5
2. Introducción	6
3. Objetivo	6
4. Descripción de la unidad generadora	7
5. Cuantificación de Emisiones	10
5.1 Descripción de la metodología de cuantificación de emisiones	10
5.1.1 Concentración de NOx	10
5.1.2 Flujo de gases de salida.....	11
5.1.3 Emisión de NOx	12
5.2 Resultados	13
5.2.1 Año 2016	13
5.2.2 Año 2017	15
5.2.3 Año 2018	16
6 Conclusiones	17
7 Anexos	18

Índice de Tablas

Tabla 1: Emisiones de NOx año 2016, 2017 y 2018.	5
Tabla 2: Parque generador de la Central Tres Puentes.	8
Tabla 3: Características principales de la unidad TG Hitachi.	8
Tabla 4: Coordenadas UTM de la unidad TG Hitachi.	8
Tabla 5: Horas de Funcionamiento de la unidad TG Hitachi, año 2018.	14
Tabla 6: Horas de funcionamiento de la unidad TG Hitachi sobre el límite de concentración en el año 2016.	14
Tabla 7: Emisiones de NOx para el año 2016.	14
Tabla 8: Horas de Funcionamiento de la unidad TG Hitachi, año 2017.	15
Tabla 9: Horas de funcionamiento de la unidad TG Hitachi sobre el límite de concentración en el año 2017.	15
Tabla 10: Emisiones de NOx para el año 2017.	15
Tabla 11: Horas de Funcionamiento de la unidad TG Hitachi, año 2018.	16
Tabla 12: Horas de funcionamiento de la unidad TG Hitachi sobre el límite de concentración en el año 2018.	16
Tabla 13: Emisiones de NOx para el año 2018.	17
Tabla 14: Emisiones de NOx año 2016, 2017 y 2018.	17

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación referencial Central Tres Puentes.	7
Figura 2: Ubicación de Unidad TG Hitachi en Central Tres Puentes.	9

1. Resumen Ejecutivo

La unidad TG Hitachi de la Central Tres Puentes operó un total de 8.384 horas entre los años 2016 y 2018, dentro de las cuales se sobrepasó el límite de concentración establecido en el Decreto Supremo N°13/2011 (50 mg/Nm³) un 86%, equivalente a 7.210 horas para los tres períodos de análisis.

Las emisiones totales de NOx generadas durante los tres años en estudio fueron de 466,2 [ton/año], constituidas por las emisiones sobre el límite de la norma, representadas por un total de 325,5 [ton/año] y por las emisiones dentro del límite de concentración de 50 mg/Nm³, las que presentaron un valor de 140,7 [ton/año].

A continuación, en la Tabla 1 se muestran las emisiones de NOx totales para los tres años de análisis, además, de las emisiones del mismo contaminante que sobrepasaron el límite de la norma.

Tabla 1: Emisiones de NOx año 2016, 2017 y 2018.

Emisiones de NOx	Año 2016 [ton/año]	Año 2017 [ton/año]	Año 2018 [ton/año]	Total [ton/año]
Emisión Total de NOx (incluye horas en régimen, horas de encendido y horas de apagado)	182,9	157,3	126,0	466,2
Emisión de NOx dentro del límite de concentración máxima de 50 mg/Nm ³	56,7	47,0	37,0	140,7
Emisiones de NOx sobre el límite de la norma	126,2	110,3	89,0	325,5

2. Introducción

EDELMAG es una empresa dedicada al servicio público eléctrico en la XII^a Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, para lo cual genera, transporta, distribuye y suministra energía eléctrica a las comunas de Punta Arenas, Puerto Natales, Porvenir y Puerto Williams.

En la actualidad cuenta con más de 62.000 clientes¹, para lo cual dispone de centrales generadoras que configuran cuatro sistemas eléctricos aislados con unidades a gas natural y diésel que totalizan una potencia instalada de 109,2 MW².

El 03 de junio del 2020, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) emite la Resolución Exenta N°3, la cual establece observaciones al Programa de Cumplimiento presentado por EDELMAG. En dicho documento se le solicita a la empresa calcular la cantidad de NOx emitido al medio ambiente con ocasión de la superación del límite a la norma de termoeléctricas para los años 2016, 2017 y 2018, específicamente en los numerales 27, 30 y 41.

Sobre la base de lo descrito, EDELMAG solicita a JHG estimar las emisiones de NOx generadas por la unidad TG Hitachi de la Central Tres Puentes para el período 2016, 2017 y 2018, y así, dar respuesta a los numerales mencionados en el inciso anterior.

3. Objetivo

El objetivo de este informe es estimar las emisiones totales de NOx generadas por la unidad Turbogeneradora Hitachi (TG Hitachi), como también las emisiones generadas por sobre el límite de la norma de termoeléctricas establecida en el Decreto Supremo N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente.

¹ Obtenido de Memoria Anual 2018, Edelmag Grupo CGE.

² Obtenido de Memoria Anual 2018, Edelmag Grupo CGE.

4. Descripción de la unidad generadora

Punta Arenas, capital de la XIIª Región de Magallanes y de la Antártica Chilena es abastecida por la energía eléctrica generada en la Central Tres Puentes, ubicada aproximadamente a 6,8 kilómetros al norte del centro de la ciudad, emplazada en el Barrio Industrial de Punta Arenas, en el sector de Bahía Catalina, a una elevación de 50 m.s.n.m.

En la Figura 1 se muestra una imagen área de la ubicación de la Central Tres Puentes respecto de la ciudad de Punta Arenas.

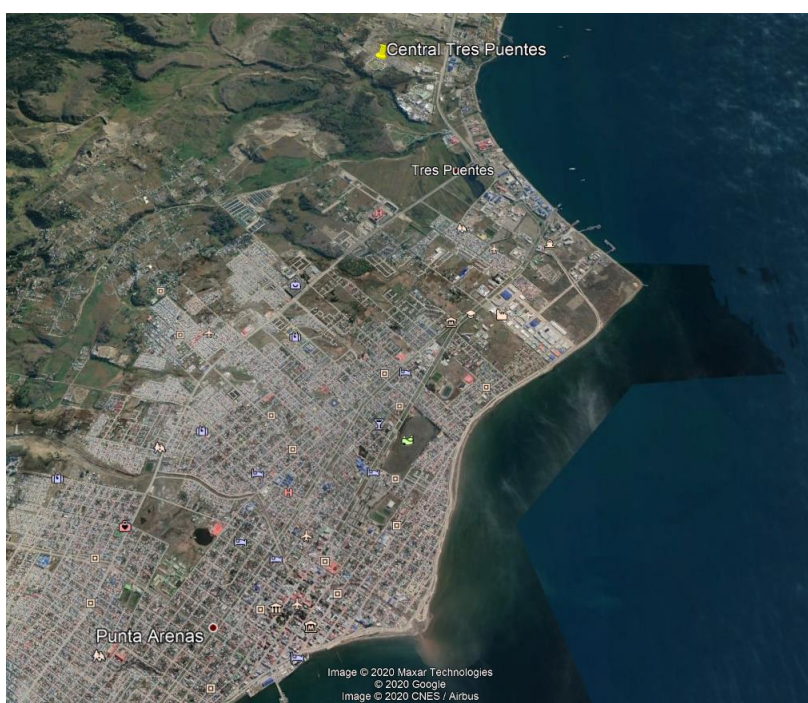


Figura 1: Ubicación referencial Central Tres Puentes.

La Central Termoeléctrica Tres Puentes cuenta con diversas unidades generadoras constituidas por turbogeneradores y motogeneradores que operan principalmente a gas natural. En la Tabla 2 se muestran las unidades generadoras de la Central.

Tabla 2: Parque generador de la Central Tres Puentes.

Tipo de Unidad	Marca	Cantidad	Potencia MW	Año de Fabricación
Turbina a Gas	Hitachi	1	24	1975
	Solar Titan	1	13,7	2002
	Solar Mars	1	10	1995
	GE-10	1	10,5	2004
	Solar Titan	1	15	2007
Motor a gas	Caterpillar	1	2,7	1997
Motor a diésel	Caterpillar	2	2,9	1993

Dentro de las unidades que constituyen el parque, se encuentra el Turbogenerador Hitachi. En condiciones normales, esta unidad funciona exclusivamente con gas natural y está considerada como una unidad de respaldo que opera ante indisponibilidad por falla o mantenciones programadas de las unidades principales de la Central Tres Puentes (Turbinas a gas Titan, Mars y GE-10).

En la Tabla 3 se muestran las principales características de la turbina TG Hitachi.

Tabla 3: Características principales de la unidad TG Hitachi.

Marca	Hitachi-GE
Tipo	Turbina a gas
Combustible Principal	Gas Natural
Combustible de Emergencia	Petróleo 2 (Diésel)
Potencia Eléctrica	24 MW
Potencia Térmica	92,8 MWt
Año de Fabricación	1975
Año de puesta en servicio	1985
Número de Registro	EL 008509-9

La turbina Hitachi presenta las siguientes coordenadas UTM:

Tabla 4: Coordenadas UTM de la unidad TG Hitachi³.

	Norte	Este
TG Hitachi	4114760.141	372995.037

³ De Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), Características de las chimenea.

La Figura 2 muestra la ubicación de la turbina respecto a la Central Tres Puentes.



Figura 2: Ubicación de Unidad TG Hitachi en Central Tres Puentes.

La producción de energía eléctrica en esta unidad se realiza en la modalidad de ciclo abierto, donde el combustible se quema en la cámara de combustión y los gases de salida se descargan a la atmósfera a través de un ducto rectangular a una temperatura cercana a los 420°C.

La unidad TG Hitachi cuenta con un CEMS, el cual está conformado por un analizador de NOx al que viene integrado un módulo para la determinación de las concentraciones de O₂ (las características principales del CEMS se encuentran en el Anexo A del presente documento). Además del CEMS, la turbina cuenta con un sistema de medición de gas combustible compuesto por un flujómetro Marca Actaris, modelo Fluxi 2300.

5. Cuantificación de Emisiones

5.1 Descripción de la metodología de cuantificación de emisiones

La cuantificación de emisiones de NOx para la unidad TG Hitachi se obtiene con la medición directa de la concentración de NOx registrada por el CEMS y con el flujo de gases de salida, el cual es calculado por el Datalogger (denominado Ambilogger) del sistema de monitoreo.

5.1.1 Concentración de NOx

El valor de concentración registrado por el CEMS es obtenido en unidades de ppm, el cual debe ser convertido a la unidad de mg/Nm³ para utilizarlo en el cálculo de las emisiones de NOx.

De acuerdo con lo estipulado en la Resolución Exenta N°1.743/2019 de la SMA⁴, “Protocolo para validación, aseguramiento y control de calidad de sistemas de monitoreo continuo de emisiones CEMS”, la concentración registrada debe corregirse por oxígeno, para luego aplicar el factor de conversión señalado en el mismo documento.

Sobre la base de lo anterior, la concentración en unidades de mg/Nm³ se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$(1) \text{ Concentración NOx } \left[\frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right] = \text{Concentración NOx [ppm]} * \left(\frac{20,9\% - 15\%}{20,9\% - \%O_2} \right) * F_c$$

Donde:

Concentración NOx $\left[\frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right]$: Concentración de NOx en [mg/Nm³].

Concentración NOx [ppm]: Concentración de NOx registrada por el CEMS en [ppm].

15%: Porcentaje de oxígeno en base seca para turbinas a gas natural estipulado en el Decreto Supremo N°13/2011 del MMA⁵.

%O₂: Porcentaje de oxígeno medido por el CEMS en base seca [%].

F_c: Factor de conversión de ppm a mg/Nm³, que para el NOx es de 1,881⁶.

⁴ Superintendencia del Medio Ambiente.

⁵ Ministerio del Medio Ambiente.

⁶ Factor de conversión señalado en la Tabla 6: “Factores de conversión de concentración” de la Resolución Exenta N°1743/2019 de la SMA.

**Nota 1: Aquellos datos perdidos de concentración de NOx se sustituyeron por el máximo potencial de concentración (200 ppm para turbinas a gas natural, según lo estipulado en el Apéndice A de la Parte 75, Volumen 40 del CFR de la USA-EPA) indicado en la Resolución Exenta N°33/2015 de la SMA.*

**Nota 2: Existen algunos datos de concentración de NOx en unidades de mg/Nm³ para los años 2016, 2017 y 2018, que se encuentran muy por sobre el promedio. Esto se debe a las altas concentraciones de oxígeno (cercanas a 20,9%) registradas por el CEMS que al usar la ecuación (1) amplifica la concentración de NOx en forma exagerada. No obstante, se prefirió no modificar estos valores altos, asumiendo la concentración de O₂ medida, y castigando conservadoramente el impacto en la emisión.*

5.1.2 Flujo de gases de salida

El flujo total de gases de combustión es proporcional a la tasa de consumo energético aportada por el consumo de combustible durante la generación y a un F-factor independiente de cada uno de los combustibles que se utilicen en la unidad.

Cuando se combustiona gas natural, el valor del consumo energético a utilizar será el obtenido mediante la siguiente ecuación extraída del Apéndice D de la Parte 75, Volumen 40 del CFR de la US-EPA:

$$HI_{rate-GN} = V_{GN-N} * \frac{GCV_{GN-N}}{10^6}$$

Donde:

$HI_{rate-GN}$: Consumo energético del combustible [mmBtu/h].

V_{GN-N} : Consumo de combustible de la fuente a condiciones normales [Nm³/h]

GCV_{GN-N} : Poder calorífico bruto a condiciones normales, para el gas natural es de 37.708 [Btu/m³].

10⁶: Factor de conversión de Btu a mmBtu.

El F-factor a utilizar para la obtención del flujo de gases de salida es el presentado en el Método 19 de la normativa EPA denominado "SO₂ Removal & PM, SO₂, NOx, Rates from Electric Utility Steam Generators (o de la tabla F-1 del Apéndice G de la Parte 75, Volumen 40 del CFR de la US-EPA).

El cálculo del flujo de gases de salida se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_s = F_d * HI_{rate-GN} * \frac{20,9}{20,9 - \%O_2} * 0,3048^3$$

Donde:

Q_s : Flujo de gases de salida en base seca [Nm³/h].

F_d : F-Factor para gas natural con un valor de 8.710 [ft³/mmBtu].

$HI_{rate-GN}$: Consumo energético del combustible [mmBtu/h].

$\%O_2$: Porcentaje de oxígeno medido por el CEMS en base seca [%].

0,3048³: Conversión de ft³ a m³.

**Nota: Mientras la unidad se encontraba en funcionamiento, se registraron datos de concentración de oxígeno en base seca, superiores a los 20,9%. Se asumen que esto tiene como origen la realización discontinuada de las calibraciones diarias del analizador de oxígeno.*

En consecuencia, a lo indicado en la nota anterior, es que se presentan entre 10 a 15 datos de flujo de gases por año que se encuentran sobre el flujo promedio de la fuente (450.000 Nm³/h), cercanos al 1.000.000 Nm³/h.

5.1.3 Emisión de NOx

Una vez calculada la concentración en masa de NOx y el valor del flujo de gases de salida en base seca, se determinó la emisión horaria mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Emisión de NOx} = \frac{\text{Concentración de NOx} * \text{Flujo de gases}}{10^9}$$

Donde:

Emisión: Emisión de NOx en [ton/h].

Concentración de NOx: Concentración de NOx en [mg/Nm³].

Flujo de gases: Flujo de gases de salida en base seca [Nm³/h].

10⁹: Conversión de mg a ton.

La estimación de las emisiones anuales de NOx que se encuentran sobre el límite de la norma (concentración mayor a 50 mg/Nm³) se calcularon como la diferencia entre las emisiones totales de NOx y las emisiones de NOx bajo el límite estipulado la Norma de Termoeléctricas -Decreto Supremo N°13/2011 del MMA.

A continuación, se presenta la ecuación para la estimación de la emisión de NOx sobre el límite de la norma

$$\text{Emisión de NOx sobre el límite} = \frac{\text{Conc. de NOx} * F_g}{10^9} - \frac{\text{Conc. de NOx DS N°13} * F_g}{10^9}$$

Donde:

Emisión de NOx sobre el límite: Emisión de NOx que supera el límite de la norma en [ton/h].

Conc. de NOx: Concentración de NOx en [mg/Nm³].

F_g: Flujo de gases de salida en base seca [Nm³/h].

Conc. de NOx DS N°13: Concentración de NOx máxima permitida para unidades generadoras existentes presentado en el Decreto Supremo N°13/2011 del MMA, el cual equivale a 50 [mg/Nm³].

10⁹: Conversión de mg a ton.

Finalmente, la emisión anual de NOx se obtendrá como la suma de las emisiones horarias dentro de cada uno de los años en estudio.

5.2 Resultados

De acuerdo con lo descrito en el punto 5.1.3, las emisiones anuales de NOx se obtendrán al sumar las emisiones horarias de la fuente, cuando ésta se encuentra en funcionamiento, lo cual incluye las horas de encendido (HE), horas en régimen (ER) y horas de apagado (HA)⁷.

5.2.1 Año 2016

El año 2016 la unidad TG Hitachi operó 2.941 horas, las cuales corresponden a 2.770 horas en régimen y 171 horas de encendido. Por otra parte, las horas de funcionamiento de la turbina en las cuales se superó el límite de concentración establecido en el D.S. N°13/2011 del MMA fueron de 2.933 horas/año, equivalente al 99,7%.

⁷ Definición presentada en la Circular IN. AD. N°1 "Interpretación administrativa del decreto N°13, de 2011, MMA, Norma de emisiones para centrales termoeléctricas de reemplazo de Circular N°2, de 18 de diciembre de 2013". 12 de febrero de 2015, Ministerio del Medio Ambiente.

Definición obtenida de la Circular IN. AD. N°1/2015 del MMA.

En la Tabla 5 y 6 se muestran las horas totales de funcionamiento de la fuente, como también, las horas en que ésta superó la concentración de 50 mg/Nm³.

Tabla 5: Horas de Funcionamiento de la unidad TG Hitachi, año 2018.

Horas de Funcionamiento de la Fuente	Valor [horas/año]
Horas en Régimen	2.770
Horas de Encendido	171
Horas de Apagado	0
Horas Totales de Funcionamiento	2.941

Tabla 6: Horas de funcionamiento de la unidad TG Hitachi sobre el límite de concentración en el año 2016.

Horas de Funcionamiento de la Fuente sobre una concentración de 50 mg/Nm³	Valor [horas/año]
Horas en Régimen	2.769
Horas de Encendido	164
Horas de Apagado	0
Horas Totales de Funcionamiento	2.933

Como se mencionó en el apartado 5.1.3, el cálculo de la emisión sobre el límite de la norma se obtendrá como una diferencia entre las emisiones totales y las dentro del límite de concentración, de lo cual se obtiene lo siguiente:

Tabla 7: Emisiones de NOx para el año 2016.

Emisiones de NOx	Valor [ton/año]
Emisión Total de NOx (incluye horas en régimen y horas de encendido)	182,9
Emisión dentro del límite de concentración máximo de 50 mg/Nm ³	56,7
Emisiones de NOx sobre el límite de la norma	126,2

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 7, la emisión anual de NOx sobre el límite de la norma es de 126,2 [ton/año], lo cual equivale a un 69% de la emisión anual total de NOx (182,9 [ton/año]).

5.2.2 Año 2017

La Turbina Hitachi, el año 2017 estuvo en operación 3.620 horas, de las cuales 3.487 horas fueron en régimen, 94 horas fueron de encendido y 39 horas correspondieron al apagado de la fuente.

Tabla 8: Horas de Funcionamiento de la unidad TG Hitachi, año 2017.

Horas de Funcionamiento de la Fuente	Valor [horas/año]
Horas en Régimen	3.487
Horas de Encendido	94
Horas de Apagado	39
Horas Totales de Funcionamiento	3.620

Estas horas de funcionamiento difieren de las indicadas por la SMA en la Resolución Exenta N°3/2020, lo que puede deberse a que hay 1.028 datos registrados por el CEMS, en los cuales aparecen consumo de combustible y fuente con valores nulos, aunque sí hay mediciones de NOx y O₂, que pudieron no haber sido contabilizadas como horas de funcionamiento de la unidad.

De las 3.620 horas, el 70% de éstas sobrepasaron el límite de concentración de 50 mg/Nm³, es decir, 2.541 horas en el año 2017, divididas en 2.430 horas en régimen, 73 horas de encendido y 38 horas de apagado.

Tabla 9: Horas de funcionamiento de la unidad TG Hitachi sobre el límite de concentración en el año 2017.

Horas de Funcionamiento de la Fuente sobre una concentración de 50 mg/Nm³	Valor [horas/año]
Horas en Régimen	2.430
Horas de Encendido	73
Horas de Apagado	38
Horas Totales de Funcionamiento	2.541

Las emisiones totales de NOx para el presente período fueron de 157,3 [ton/año], un 70% superior a las emisiones dentro del límite de concentración establecido en el D.S. N°13/2011 del MMA, las cuales resultaron de 47 [ton/año].

Tabla 10: Emisiones de NOx para el año 2017.

Emisiones de NOx	Valor [ton/año]
Emisión Total de NOx (incluye horas en régimen, horas de encendido y horas de apagado)	157,3

Emisión dentro del límite de concentración máximo de 50 mg/Nm ³	47
Emisiones de NOx sobre el límite de la norma	110,3

5.2.3 Año 2018

El año 2018, la unidad TG Hitachi operó 1.823 horas, de las cuales 1.778 corresponden a horas en régimen de la fuente, equivalente al 97,5%. Respecto de las horas de encendido y apagado estas resultaron en 24 y 21 horas, respectivamente.

En la Tabla 11 se muestran las horas totales de funcionamiento de la unidad, al igual, que las horas de encendido, apagado y en régimen.

Tabla 11: Horas de Funcionamiento de la unidad TG Hitachi, año 2018.

Horas de Funcionamiento de la Fuente	Valor [horas/año]
Horas en Régimen	1.778
Horas de Encendido	24
Horas de Apagado	21
Horas Totales de Funcionamiento	1.823

Las horas de funcionamiento de la turbina en las cuales se superó el límite de concentración establecido en el D.S. N°13/2011 del MMA fueron de 1.736 horas/año, equivalente al 95,2%.

Tabla 12: Horas de funcionamiento de la unidad TG Hitachi sobre el límite de concentración en el año 2018.

Horas de Funcionamiento de la Fuente sobre una concentración de 50 mg/Nm³	Valor [horas/año]
Horas en Régimen	1.714
Horas de Encendido	12
Horas de Apagado	10
Horas Totales de Funcionamiento	1.736

Las emisiones de NOx sobre el límite de la norma para el año 2018, resultaron de 89 [ton/año] un 71% de las emisiones totales de NOx, que presentan un valor de 126 [ton/año].

Tabla 13: Emisiones de NOx para el año 2018.

Emisiones de NOx	Valor [ton/año]
Emisión Total de NOx (incluye horas en régimen, horas de encendido y horas de apagado)	126
Emisión dentro del límite de concentración máxima de 50 mg/Nm ³	37
Emisiones de NOx sobre el límite de la norma	89

6 Conclusiones

La unidad TG Hitachi de la Central Tres Puentes operó un total de 8.384 horas entre los años 2016 y 2018, logrando reducir el año 2018 aproximadamente el 50% de las horas de funcionamiento del año 2017, lo cual confirma su operación como unidad de respaldo de las turbinas Titan, Mars y GE-10.

De las horas de funcionamiento de la fuente, las que incluyen las horas de encendido, en régimen y apagado, se sobrepasó el límite de concentración establecido en el Decreto Supremo N°13/2011 del MMA un 86% del tiempo, equivalente a 7.210 horas para los tres años de análisis.

A continuación, en la Tabla 14 se muestran las emisiones totales de NOx para los tres años de análisis. Además, se presentan las emisiones del mismo contaminante que sobrepasaron el límite de concentración de 50 mg/Nm³.

Tabla 14: Emisiones de NOx año 2016, 2017 y 2018.

Emisiones de NOx	Año 2016 [ton/año]	Año 2017 [ton/año]	Año 2018 [ton/año]
Emisión Total de NOx (incluye horas en régimen, horas de encendido y horas de apagado)	182,9	157,3	126,0
Emisión de NOx dentro del límite de concentración máxima de 50 mg/Nm ³	56,7	47,0	37,0
Emisiones de NOx sobre el límite de la norma	126,2	110,3	89,0

7 Anexos

- A. Características del CEMS.
- B. Data Horaria Año 2016.
- C. Data Horaria Año 2017.
- D. Data Horaria Año 2018.