



**EMPRESA ELÉCTRICA DE MAGALLANES S.A.**

**INFORME DE RESULTADOS  
ESTUDIO DE ESTRATIFICACIÓN DE GASES CHIMENEA  
UNIDAD TG HITACHI CENTRAL TRES PUENTES**

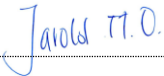

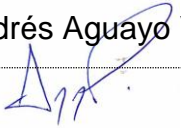
**PREPARADO POR:**

**JHG SERVICIOS AMBIENTALES LTDA.**



**SEPTIEMBRE 2015**

## ESTADO DE REVISIONES

TÍTULO		INFORME DE RESULTADOS ESTUDIO DE ESTRATIFICACIÓN DE GASES CHIMENEA UNIDAD TG HITACHI CENTRAL TRES Puentes				
REVISIÓN		JHG SERVICIOS AMBIENTALES LTDA.				
REV	DESCRIPCIÓN	Por	Revisó	Aprobó		
A	EMITIDO PARA APROBACIÓN	NOMBRE	Jarold Montes.	Catalina Puentes	Andrés Aguayo V.	
		FIRMA				
		FECHA	16/09/15	21/09/15	22/09/2015	
		NOMBRE				
		FIRMA				
		FECHA				
		NOMBRE				
		FIRMA				
		FECHA				
		NOMBRE				
		FIRMA				
		FECHA				

## INDICE

<b>1.</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA FUENTE .....</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO DE ESTRATIFICACIÓN .....</b>	<b>8</b>
3.1.	Descripción Ensayo de Estratificación y Consideraciones .....	8
3.2.	Resultados .....	12
<b>4.</b>	<b>SUEGERENCIA DE PUNTO DE MEDICIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>20</b>

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

### **ANEXO 1**

Informe de Medición

### **ANEXO 2**

Registros Potencia de TG Hitachi 07-09-2015

### **ANEXO 3**

Registros Históricos Potencia TG Hitachi 2014

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de fechas de ejecución de ensayos. ....	7
Tabla 2: Características básicas de la unidad generadora .....	8
Tabla 3: Resumen Resultado Ensayo de Estratificación .....	12

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Esquema de Chimenea Unidad TG Hitachi .....	9
Gráfico 2: Distribución Puntos de Muestreo en Área Transversal .....	10
Gráfico 3: Histograma Generación Horaria Unidad TG Hitachi en 2014* .....	11
Gráfico 4: Concentración de NO <sub>x</sub> durante Ensayo de Estratificación a 16 MW .....	12
Gráfico 5: Distribución de NO <sub>x</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 16 MW .....	13
Gráfico 6: Concentración de NO durante Ensayo de Estratificación a 16 MW .....	13
Gráfico 7: Distribución de NO en Área Transversal de la Chimenea a 16 MW .....	14
Gráfico 8: Concentración de O <sub>2</sub> durante Ensayo de Estratificación a 16 MW .....	14
Gráfico 9: Distribución de O <sub>2</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 20 MW .....	15
Gráfico 10: Concentración de NO <sub>x</sub> durante Ensayo de Estratificación a 20 MW .....	15
Gráfico 11: Distribución de NO <sub>x</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 20 MW .....	16
Gráfico 12: Concentración de NO durante Ensayo de Estratificación a 16 MW .....	16
Gráfico 13: Distribución de NO en Área Transversal de la Chimenea a 20 MW .....	17
Gráfico 14: Concentración de O <sub>2</sub> durante Ensayo de Estratificación a 20 MW .....	17
Gráfico 15: Distribución de O <sub>2</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 16 MW .....	18

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene los resultados del Estudio de Estratificación de concentración de gases realizado en la chimenea de la Unidad TG Hitachi de la Central Termoeléctrica Tres Puentes de EDELMAG S.A.

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) a través de la Resolución Exenta N° 765 del 23 de diciembre de 2014 aprobó la solicitud de Monitoreo Alternativo hecha por EDELMAG S.A. para la unidad TG Hitachi de la Central Tres Puentes. En dicha resolución la SMA autorizó la utilización de métodos alternativos para la determinación de los parámetros SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Material Particulado y Flujo de Gases, y la instalación de un Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones “CEMS” para los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>.

Para cumplir con el último punto, EDELMAG S.A. está en proceso de compra e instalación de un CEMS para monitorear los parámetros de NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub>. Dado que la chimenea de esta unidad tiene algunas condiciones especiales, que salen de las especificaciones ideales recomendadas por la EPA para la instalación de un CEMS y la aplicación de los Métodos de Referencia, se realizó un estudio que permitiera definir un sitio y punto de medición que entregue concentraciones representativas de los parámetros de interés de las emisiones en chimenea.

Respecto a lo anterior, de acuerdo a lo establecido en la sección 8.1.1 del *Performance Specification 2: Specification and Test Procedures for SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Continuous Emission Monitoring Systems in Stationary Sources*, la EPA permite que el CEMS se ubique en un sitio donde las mediciones de las concentraciones del contaminante o la tasa de emisión sean directamente representativas o puedan ser corregidas de modo que sean representativas de la emisión total de la instalación. Para ello, se realizó un ensayo de estratificación con el fin de encontrar un punto de medición adecuado.

Como referente para la ejecución del estudio de estratificación se utilizó el documento:

“DETERMINATION OF THE PRESENCE OF STRATIFICATION OF GASEOUS POLLUTANT AND DILUENT EMISSIONS FOR CONTINUOUS EMISSION MONITOR OR REFERENCE METHOD RELATIVE ACCURACY LOCATIONS”

Este documento se encuentra disponible en la página web del Emission Measurement Center de la EPA <http://www.epa.gov/ttn/emc/cem.html>: *Stratification for Emissions for CEM Locations*.

EDELMAG S.A. ha solicitado a la Entidad de Inspección JHG Servicios Ambientales Ltda., la ejecución de este Estudio de Estratificación, cuyos resultados se resumen en el presente informe. Los ensayos fueron realizados con la unidad operando en dos condiciones de operación diferentes, ambas dentro del rango de operación normal y siempre utilizando gas natural como combustible.

La fecha de ejecución de este ensayo se indica a continuación:

*Tabla 1: Resumen de fechas de ejecución de ensayos.*

Ensayo Ejecutado	Fecha de ejecución de los ensayos
Estratificación de NO <sub>x</sub> , NO y O <sub>2</sub>	7 de septiembre de 2015

Como resultado de la evaluación de las concentraciones de todos los parámetros medidos, y utilizando el criterio establecido en el documento de referencia<sup>1</sup>, se concluye que en el sitio de medición escogido y en el área evaluada no existe estratificación, de manera que puede ser un lugar adecuado para la ubicación de la sonda de muestreo del CEMS a instalar.

---

<sup>1</sup> “Determination of the Presence of Stratification of Gaseous Pollutant and Diluent Emissions for Continuous Emission Monitor or Reference Method Relative Accuracy Locations” de la EPA: <http://www3.epa.gov/ttn/emc/cem/gd-025.pdf>

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA FUENTE

La Central Termoeléctrica Tres Puentes se localiza en el barrio industrial ubicado a 6,8 kilómetros al norte de la ciudad de Punta Arenas, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Las coordenadas aproximadas UTM de localización de las instalaciones así como las principales características de la unidad se indican a continuación:

Tabla 2: Características básicas de la unidad generadora

Descripción	Unidad II
Marca	Hitachi G. E.
Tipo	Turbina a Gas
Combustible	Gas Natural/Petróleo Diesel en Condiciones de Emergencia
Modelo	PG 5341 N
Potencia Eléctrica	24 MW
Potencia Térmica	92,8 MWt
Año de Fabricación	1975
Año de Puesta en Servicio	1985
Coordenadas UTM	19 F; 372983.00 mE; 4114755.00 mS.

La unidad TG Hitachi en condiciones normales 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. Esta unidad está habilitada técnicamente para la operación con Petróleo Diesel, pero para que esto ocurra se deben presentar dos condiciones simultáneamente:

1. Salida de unidades base, debido a falla o mantención programada, y
2. Restricción de gas natural.

Esta situación de doble contingencia no se ha producido ni se prevé que pueda ocurrir de mantenerse las condiciones de abastecimiento de gas natural en la región.

## 3. ESTUDIO DE ESTRATIFICACIÓN

### 3.1. Descripción Ensayo de Estratificación y Consideraciones

Para la ejecución del ensayo de estratificación se consideró como referencia el documento:

“DETERMINATION OF THE PRESENCE OF STRATIFICATION OF GASEOUS POLLUTANT AND DILUENT EMISSIONS FOR CONTINUOUS EMISSION MONITOR OR REFERENCE METHOD RELATIVE ACCURACY LOCATIONS”



El cual se encuentra disponible en la página web del Emission Measurement Center de la EPA <http://www.epa.gov/ttn/emc/cem.html>: Stratification for Emissions for CEM Locations.

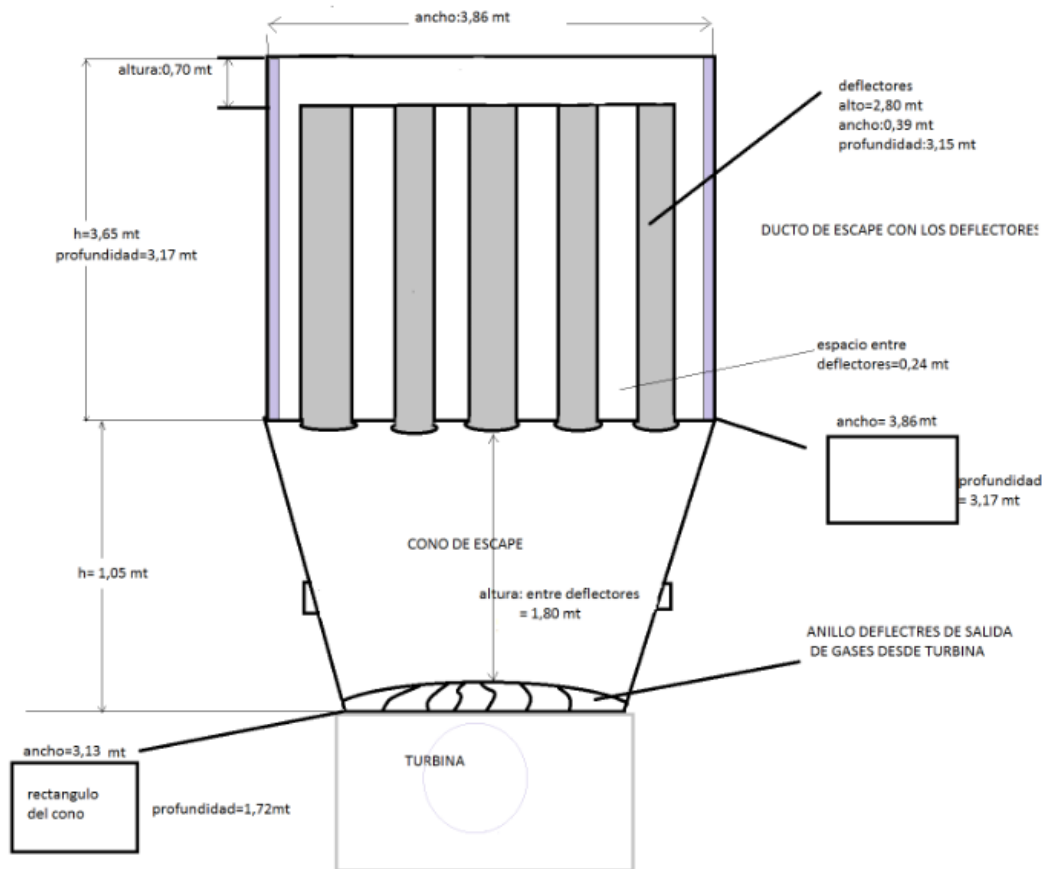
En él se establece que para la ejecución de este ensayo en ductos rectangulares, se deben localizar al menos 9 puntos en la sección transversal del ducto, de modo que estos estén localizados en los centros de cada división de igual forma y área. Posterior a esto se debe medir la concentración del contaminante y, si es aplicable, la concentración del diluyente en cada punto transversal usando métodos de referencia apropiados u otro método instrumental que dé una respuesta relativa a la concentración del contaminante.

Después se debe calcular el valor medio para todos los puntos transversales, y seleccionar un punto, puntos o trayectoria que provea un valor equivalente a la media.

Además, provee un criterio para establecer la existencia de estratificación, determinado por el hecho de que la concentración promedio del contaminante tiene una diferencia mayor al 10% de cualquier punto individual.

El esquema del ducto de salida de gases de la unidad se muestra a continuación:

Gráfico 1: Esquema de Chimenea Unidad TG Hitachi



Como se puede ver en el Gráfico 1, el ducto posee condiciones de dimensiones atípicas donde no se puede cumplir con los tramos mínimos recomendados por la EPA para la instalación de un CEMS, que corresponden a un de mínimo 2 diámetros equivalentes aguas abajo y 0,5 diámetros equivalentes aguas arriba de una perturbación de flujo.

La sección de la chimenea que se encuentra con mayor espacio libre es la ubicada entre los anillos deflectores de salida de gases de turbina y los deflectores, la que tiene forma de la base de una pirámide rectangular invertida, denominada “Cono de Escape”. Por espacio libre y accesibilidad, esta zona se consideró la más factible para realizar el estudio de estratificación.

Para la ubicación del sitio de medición y los puertos de muestreo, se tuvo en cuenta la altura disponible que corresponde a 1,05 m, y se localizaron a 4/5 partes de la altura disponible aguas abajo de la perturbación de flujo, y 1/5 parte de la altura disponible aguas arriba de la perturbación de flujo (tratando de hacer una analogía con el criterio de los 2 y 0,5 diámetros equivalentes para la localización del sitio de medición). A esta altura, el ducto tiene unas dimensiones de 2,9 m x 3,7 m, lo que da un diámetro equivalente de:

$$D_e = \frac{2LW}{L + W} = \frac{2 (2,9 \text{ m})(3,7 \text{ m})}{2,9 \text{ m} + 3,7 \text{ m}} = 3,25 \text{ m}$$

Para realizar el estudio de estratificación se utilizaron 5 puertos de muestreo en dos extremos del ducto, para la localización de 20 puntos transversales ubicados en el centro de 20 rectángulos de áreas iguales de la sección transversal de la chimenea, según se ilustra en el Gráfico 2.

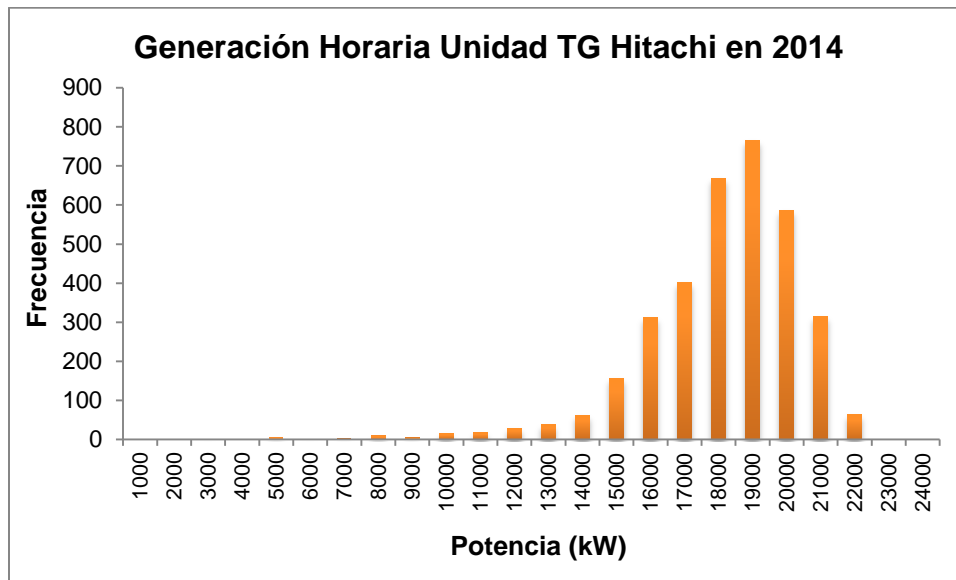
Gráfico 2: Distribución Puntos de Muestreo en Área Transversal



Para chequear el comportamiento de la estratificación con variaciones en las condiciones de operación, las pruebas se hicieron a 2 niveles diferentes de carga, 16 y 20 MW, las que se encuentran entre las más frecuentes de operación de la unidad según los datos históricos de generación del año 2014.

Como sustento de lo anterior, en el Gráfico 3 se muestra un histograma con la generación horaria de la unidad durante 2014:

Gráfico 3: Histograma Generación Horaria Unidad TG Hitachi en 2014\*



En el histograma anterior no se incluyeron las horas en que se generó 0 kW, que representan la mayoría de los casos dada la condición de unidad de respaldo. Los registros de la generación se encuentran en el Anexo 3.

Dada la ubicación extrema de la Central Tres Puentes y las implicaciones logísticas como económicas que implicaría trasladar un laboratorio móvil a la ciudad de Punta Arenas desde Santiago, para la ejecución del estudio se utilizó un analizador electroquímico portátil certificado, el cual fue chequeado con gases de calibración en las instalaciones de la Entidad de Inspección antes y después de hechas las mediciones en terreno.

Cabe destacar que el documento que se utilizó como referencia permite la utilización de cualquier método instrumental que dé una respuesta relativa a la concentración del contaminante, por lo que el método empleado resulta apropiado para los fines del presente estudio.

El certificado del analizador, los registros de los chequeos previos y posteriores a las mediciones, y los registros de las concentraciones tomadas para el estudio, se encuentran en el Anexo 1.

### 3.2. Resultados

Un resumen con los resultados se muestra en la Tabla 3. En ella se pueden ver los promedios para cada parámetro evaluados en las dos condiciones de operación, además del límite inferior y superior para las concentraciones en los diferentes puntos de la travesa considerando el criterio del  $\pm 10\%$  de la media.

Tabla 3: Resumen Resultado Ensayo de Estratificación

Unidad Operando a 16 MW			
	NO <sub>x</sub>	NO	O <sub>2</sub>
Promedio	37,5	35,5	17,51
Límite Inferior	33,75	31,95	15,75
Límite Superior	41,25	39,05	19,26
Unidad Operando a 20 MW			
	NO <sub>x</sub>	NO	O <sub>2</sub>
Promedio	57,45	54,50	16,96
Límite Inferior	51,71	49,05	15,26
Límite Superior	63,20	59,95	18,66

Complementando los resultados de la tabla anterior, en los gráficos siguientes se muestra la distribución de cada uno de los puntos medidos respecto de la media de las concentraciones y los límites establecidos en la Tabla 3:

Gráfico 4: Concentración de NO<sub>x</sub> durante Ensayo de Estratificación a 16 MW

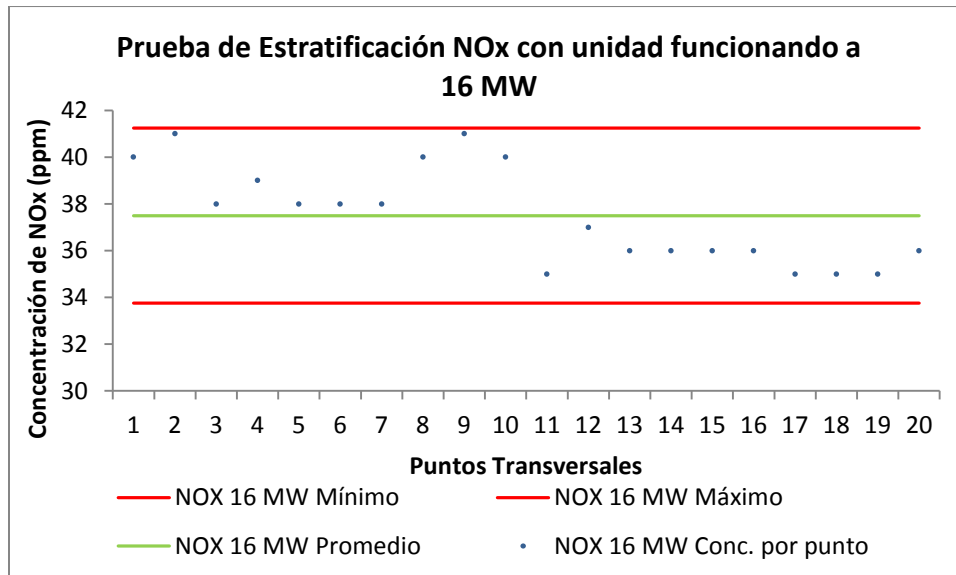


Gráfico 5: Distribución de NO<sub>x</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 16 MW

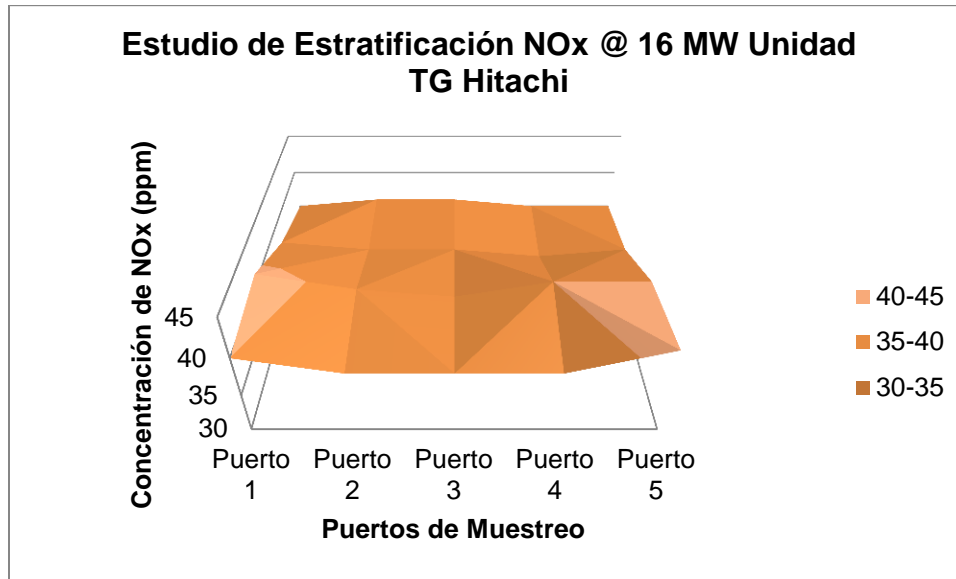


Gráfico 6: Concentración de NO durante Ensayo de Estratificación a 16 MW

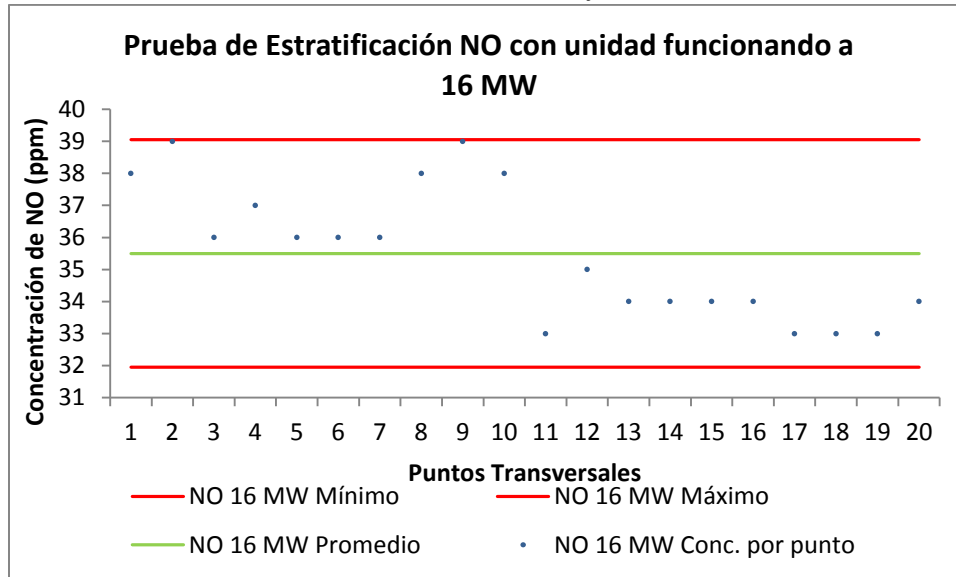


Gráfico 7: Distribución de NO en Área Transversal de la Chimenea a 16 MW

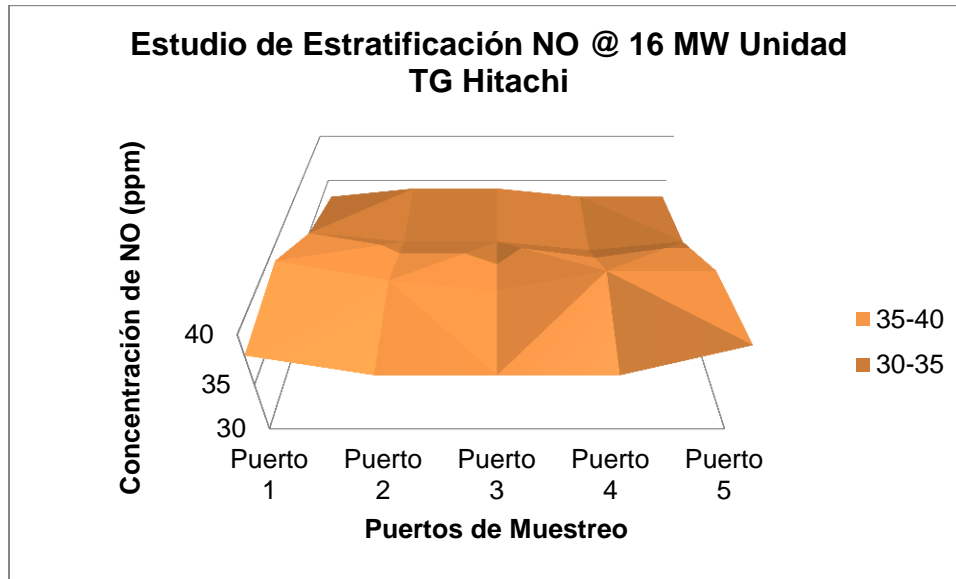


Gráfico 8: Concentración de O<sub>2</sub> durante Ensayo de Estratificación a 16 MW

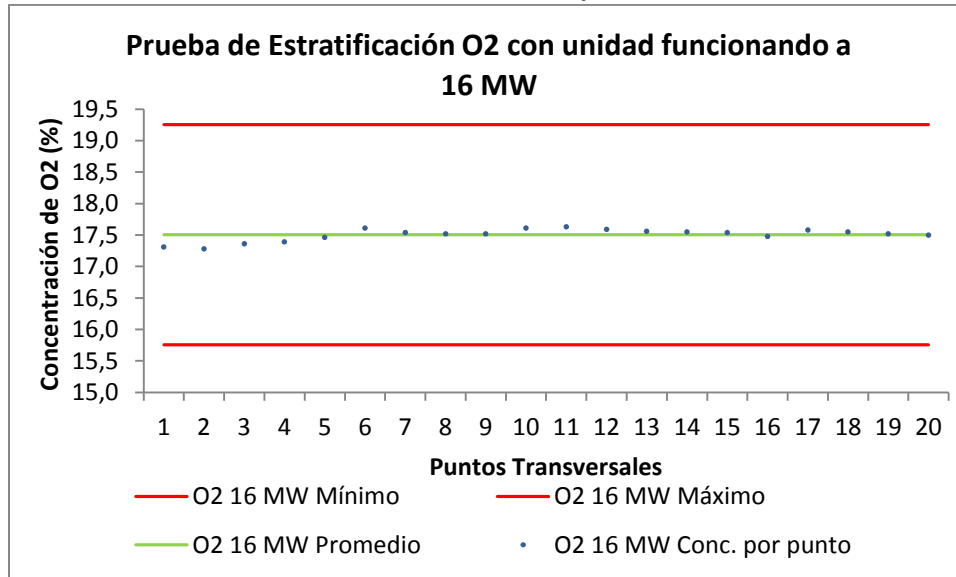


Gráfico 9: Distribución de O<sub>2</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 20 MW

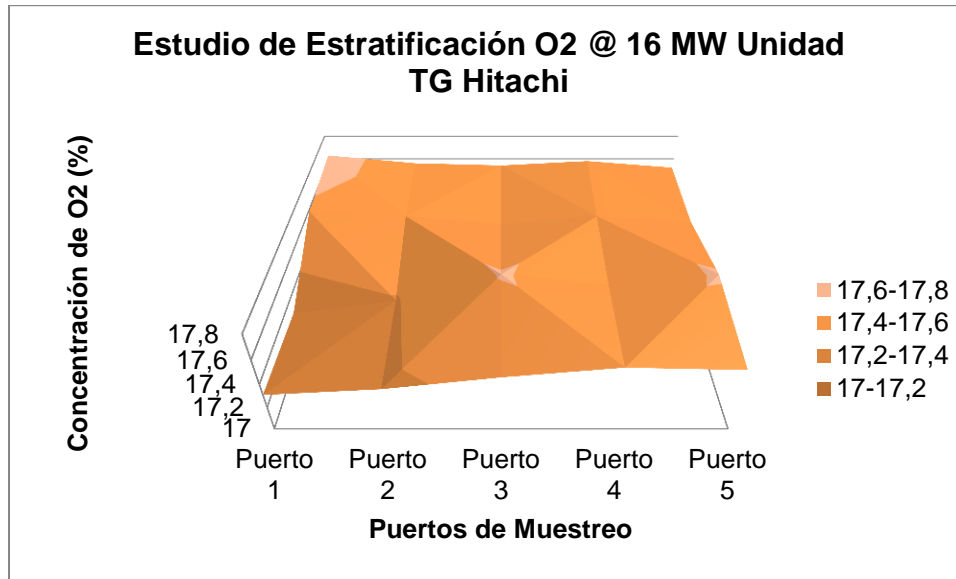


Gráfico 10: Concentración de NO<sub>x</sub> durante Ensayo de Estratificación a 20 MW

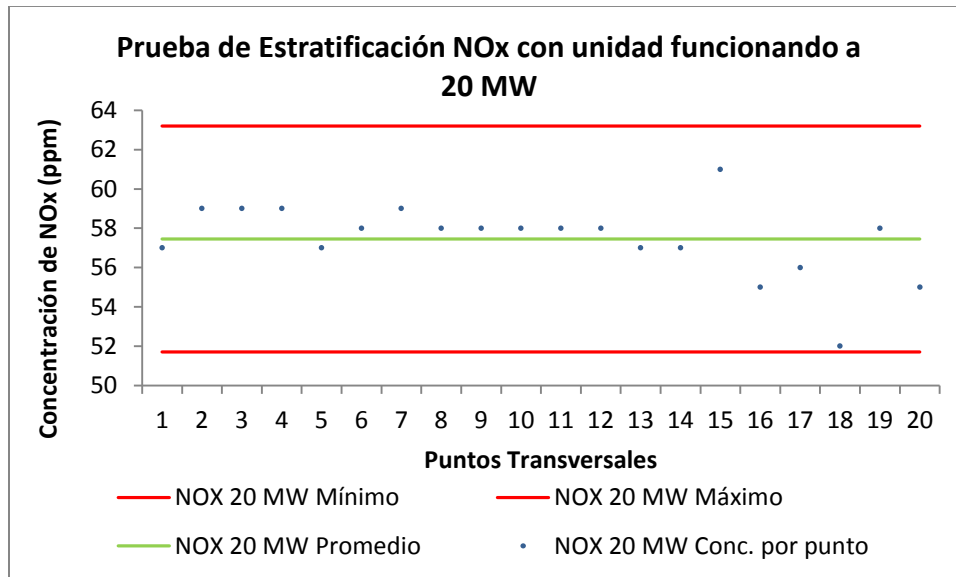


Gráfico 11: Distribución de NO<sub>x</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 20 MW

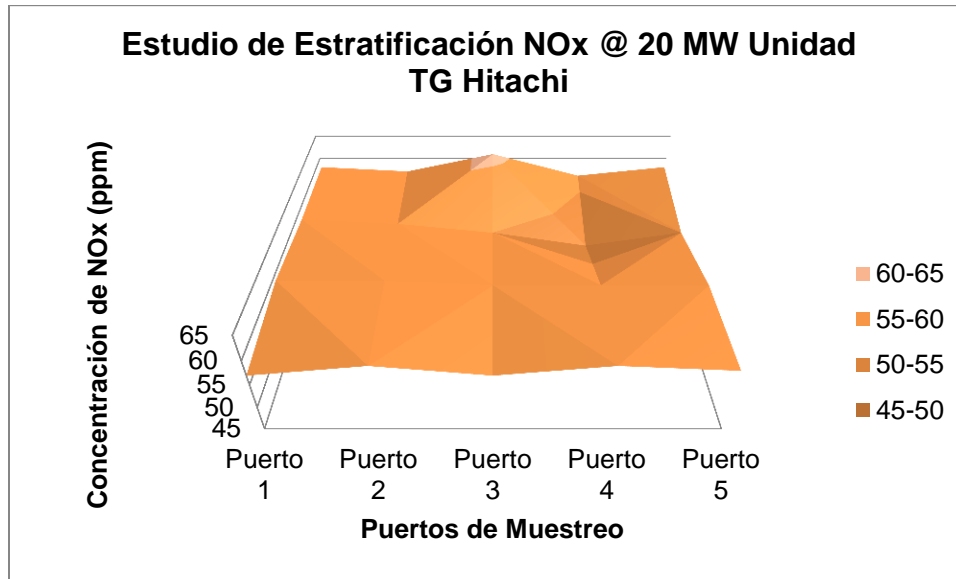


Gráfico 12: Concentración de NO durante Ensayo de Estratificación a 16 MW

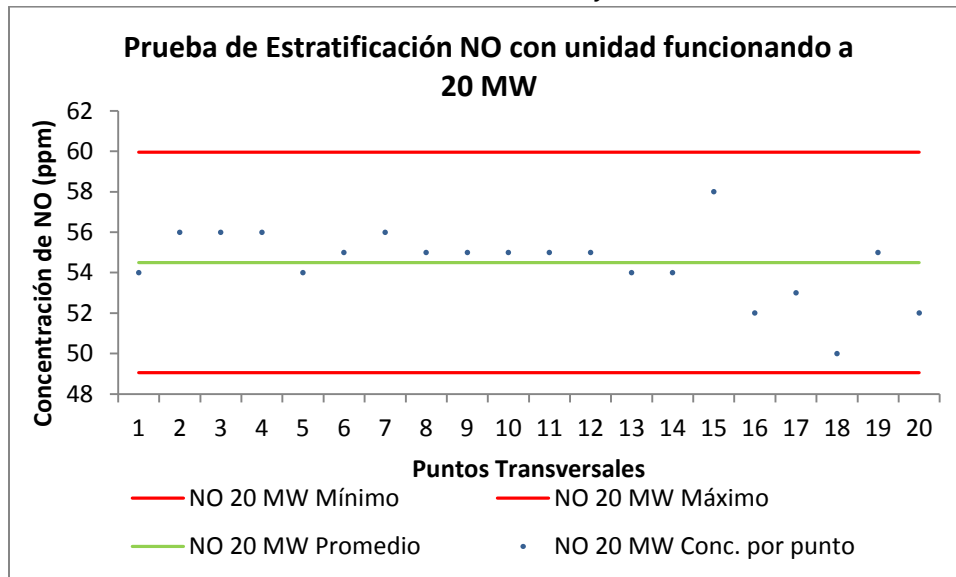




Gráfico 13: Distribución de NO en Área Transversal de la Chimenea a 20 MW

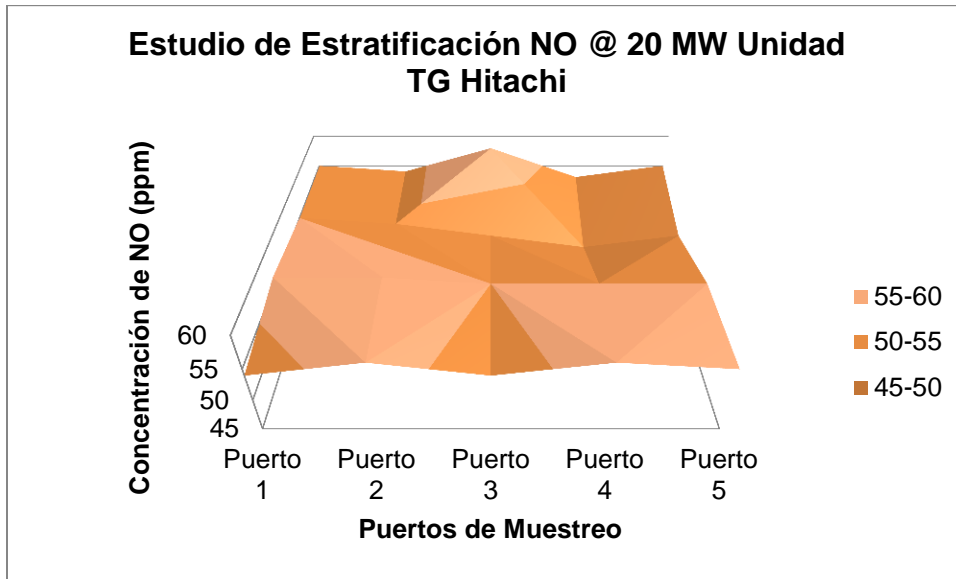


Gráfico 14: Concentración de O<sub>2</sub> durante Ensayo de Estratificación a 20 MW

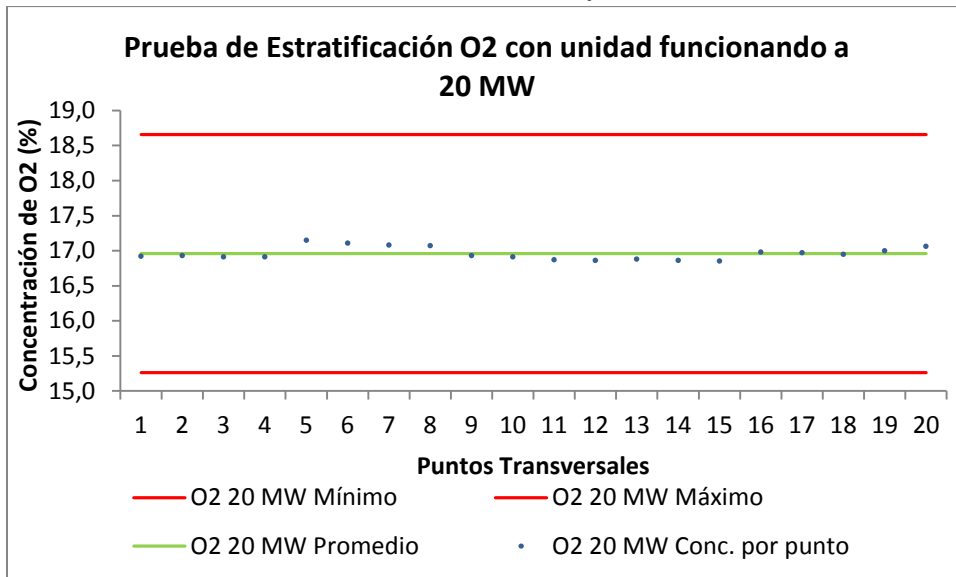
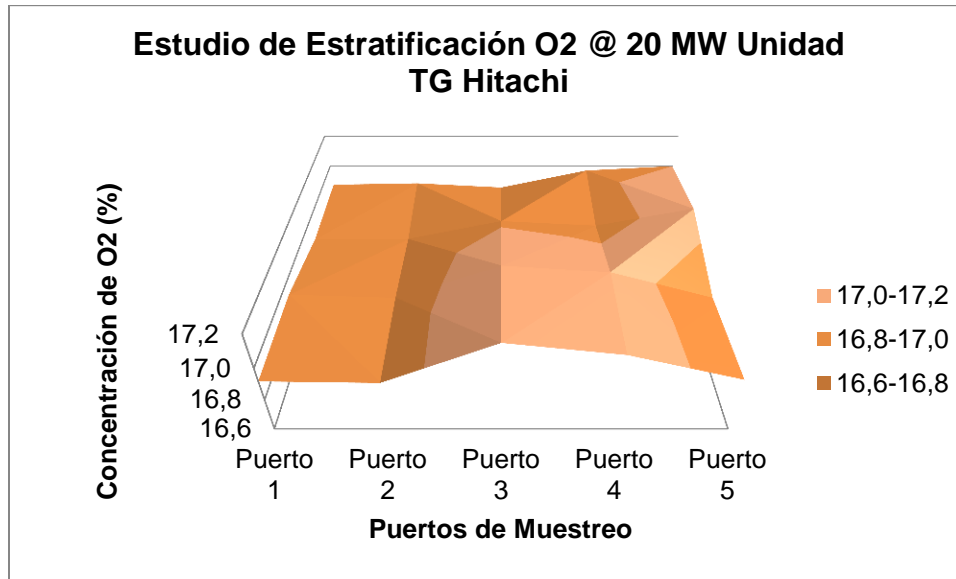


Gráfico 15: Distribución de O<sub>2</sub> en Área Transversal de la Chimenea a 16 MW



En resumen, se puede evidenciar que ningún punto de medición presenta una desviación mayor al 10% de la concentración respecto a la media de la concentración de todos los puntos, por lo tanto, se considera que **no existe estratificación** en el área del ducto evaluada.

#### **4. SUGERENCIA DE PUNTO DE MEDICIÓN**

De acuerdo a los resultados del estudio de estratificación, cualquier punto del área evaluada de la chimenea proporciona mediciones representativas de la emisión total de la concentración total de la unidad para el  $\text{NO}_x$  y  $\text{O}_2$ . Teniendo en cuenta esto, se sugiere seguir las direcciones de la EPA que indica que no debe estar a no menos de un metro de las paredes del ducto. Para ello se recomienda utilizar el puerto de muestreo N° 3.

## 5. CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos de la ejecución y análisis del estudio de estratificación se concluye lo siguiente:

No existe estratificación en el área del ducto evaluada, por lo tanto, cualquier punto entrega mediciones representativas de los parámetros de interés ( $\text{NO}_x$  y  $\text{O}_2$ ). Se sugiere que se utilice el puerto N° 3, y el punto de medición se localice a no menos de un metro de distancia desde la pared del ducto.