

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS Y POLVOS SECUNDARIOS PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACERO MEDIANTE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO.

Autor: Leonardo E. Chiquito Guamanquispe¹.

Director de tesis: Ing. Ernesto Martínez L².

¹Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, año 2006, e-mail. lchiquit@espol.edu.ec; lchiquit@spemail.org.

²Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, año 1983, e-mail. emartine@gu.pro.ec

Resumen.

En la presente Tesis se desarrolla el diseño de un sistema de extracción de humos y polvos secundarios que se generan durante el proceso de fundición en la acería del complejo siderúrgico ANDEC S.A. Este sistema se lo plantea como complemento del sistema primario que está actualmente en funcionamiento para lograr un mejor control de las emisiones de material particulado y contaminantes ambientales, y de esta manera evitar posibles sanciones municipales y evitar enfermedades respiratorias de los trabajadores y de los habitantes alrededor del complejo.

Se analiza la construcción e instalación de una campana suspendida sobre el horno y de un sistema de filtros de mangas para separar el material particulado del aire. También se plantea la factibilidad de adaptar los dos sistemas y cuales serían sus ventajas y limitaciones.

Finalmente se analiza la factibilidad de instalación del sistema. Se realiza un análisis estructural para los soportes de la campana y de los ductos, además, se plantea la implementación de un sistema de control que permita accionar el sistema de extracción sólo durante el tiempo que se lo requiera, es decir, durante la apertura de la tapa del horno y cuando el sistema primario se sature. Por último se presentan el cronograma de instalación, el análisis económico del sistema y los planos constructivos dejando así a criterio de la empresa la construcción e instalación del diseño.

Summary.

In the present Thesis it is developed the design of a extraction system of secondary smokes and powders that are generated during the foundry process in the foundry plant of the steel complex ANDEC S.A. This system it outlines it to him like complement of the primary system that is at the moment in operation to achieve a better control of the emissions of particulate material and environmental pollutants, and by this way to avoid possible municipal sanctions and to avoid the workers' breathing illnesses and of the inhabitants around the complex.

It is analyzed the construction and installation of a suspended hood over the oven and of a system of filters of sleeves to separate the particulate material of the air. It is also analyzed the feasibility of adapting the two systems and which would be their advantages and limitations.

Finally the feasibility of installation of the system is analyzed. It is carried out a structural analysis for the supports of the hood and of the ducts, also, it thinks about the implementation of a control system that allows to only working extraction system during the time that requires it to him, during the opening of the cover of the oven and when the primary system is saturated. Lastly the installation chronogram, the economic analysis of the system and the constructive planes are presented leaving this way to approach of the company the construction and installation of the design.

Introducción.

El complejo siderúrgico ANDEC S.A. se compone de dos instalaciones principales: FUNASA que se encarga de producir las palanquillas de acero mediante fundición de chatarra con horno de arco eléctrico (HAE) y ANDEC que es donde se produce la laminación de las palanquillas para obtener los productos finales. A partir del año 2.003 como parte de estrategia empresarial, se decidió fusionar ambas empresas y llamarla complejo siderúrgico ANDEC S.A. pasando a ser FUNASA la parte de acería o fundición y ANDEC la parte de laminación.

La materia prima utilizada para la elaboración de la palanquilla es la chatarra, material procedente de los diferentes procesos de fabricación de metales o aleaciones. En la acería se utiliza chatarra de acero proveniente de desperdicios de laminación, de desguace (de barcos), de latas de envases y retornos de acería. La producción anual de la acería es de 80.000 t de acero, la cual la convierte en la principal y más importante empresa de producción de acero del país.

Durante el proceso de fundición de la chatarra se producen flujos de humos y polvos originados por la evaporación de ciertos elementos presentes en la materia prima y por la presencia de material particulado proveniente de la chatarra y de algunos insumos que se agregan durante el proceso. Algunos de estos elementos son contaminantes del aire atmosférico, y perjudiciales para la salud humana. De acuerdo a la política ambiental llevada por la empresa y con las normas ambientales vigentes, éstas emisiones son controladas mediante sistemas de extracción de humos. El sistema que existe actualmente instalado para captar éstas emisiones se conecta directamente al interior del horno, durante el proceso se producen escapes de grandes cantidades de humo y polvo en las etapas de recarga de chatarra e insumos y descarga del metal fundido. No existe un sistema instalado para captar estas emisiones por lo que se ha planteado la necesidad de implementar algún sistema para la extracción de estos contaminantes y mejorar el proceso haciéndolo más ecológico.

Es así como se llega a plantear el diseño de un sistema de ventilación para extraer los humos y polvos secundarios producidos durante el proceso. El cumplimiento de ésta necesidad es el principal objetivo del presente proyecto de tesis, logrando establecer además, un mayor vínculo entre la ESPOL y la industria ecuatoriana, aportando para el desarrollo del país.

Contenido.

CAPÍTULO 1

1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ACERO MEDIANTE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO.

El acero se obtiene a partir de dos materias primas fundamentales: el arrabio obtenido en alto horno y la chatarra. El arrabio es el primer proceso que se realiza para obtener Acero, los materiales básicos empleados son [mineral de Hierro](#), [Coque](#) y [Caliza](#). El coque se quema como combustible

para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico.

La fabricación del acero en síntesis se realiza eliminando las impurezas del arrabio y añadiendo las cantidades convencionales de Mg, Si y de los distintos elementos de aleación.

TABLA I
PROCESOS DE ACERACIÓN

Horno de Pudelado	Utilizado en el siglo XVII
Horno de Crisol	Para convertir el arrabio en acero
Horno Bessemer	Inglaterra 1.850
Horno Thomas	Inglaterra 1.878
Horno Martin	Francia 1.870
Horno Siemens	Alemania 1.870
Horno L.D. (Linz-Donawit)	Austria 1.948
Horno Eléctrico	Para fundir la chatarra y producir acero
Horno Wilhelm Von Siemens	Alemania 1.890
Horno Heroult	Francia 1.890
Horno Stassano	Italia 1.895

Proceso de Horno de Arco Eléctrico (HAE)

El Horno de Arco Eléctrico (HAE) es el más versátil de todos los hornos para fabricar acero. No solamente puede proporcionar altas temperaturas, hasta 1.930 °C, sino que también puede controlarse eléctricamente con un alto grado de precisión.

Debido a que no se emplea combustible alguno, no se introduce ningún tipo de impurezas. El resultado es un acero más limpio. Consecuentemente, puede producir todo tipo de aceros, desde aceros con regular contenido de carbono hasta aceros de alta aleación, tales como aceros para herramientas, aceros inoxidable y aceros especiales para los cuales se emplea principalmente.

La secuencia que se sigue durante el proceso de producción de palanquillas es la siguiente:

- ❖ Chatarra
- ❖ Cesta de chatarra
- ❖ Horno de arco eléctrico(HAE)
- ❖ Cuchara
- ❖ Máquina de colada continua
- ❖ Palanquilla

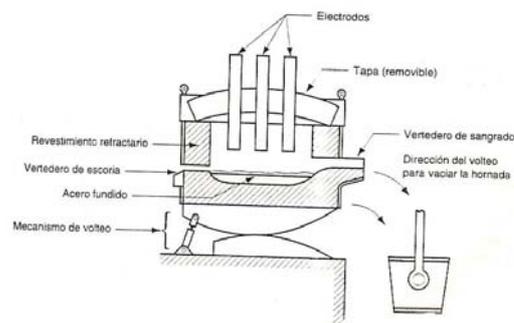


FIGURA 1 HORNO TRIFÁSICO DE ARCO ELÉCTRICO

Máquina de Colada Continua

El proceso de colada continua también llamado fundición, se ilustra en la figura 1.4. La fundición de acero se vacía de la cuchara de colada a un depósito temporal, el cuál suministra el metal a dos moldes de colada continua. El acero comienza a solidificarse en las regiones exteriores conforme desciende a través del molde enfriado por agua. Los aspersores de agua aceleran el proceso de enfriamiento. El metal se dobla de una orientación vertical a otra horizontal mientras se encuentra

aún caliente y plástico. Por último se corta en secciones y es llevado a los patios de almacenaje donde se terminan de enfriar.

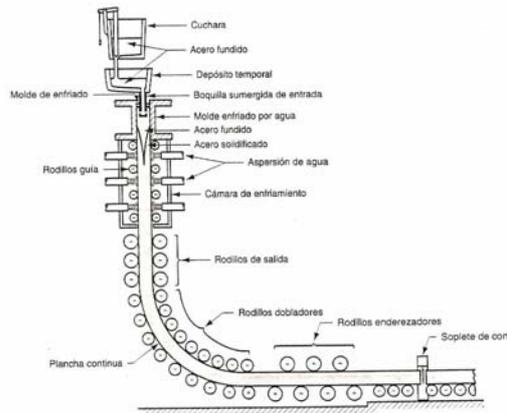


FIGURA 2 COLADA CONTINUA [3]

Palanquilla

Producto semielaborado de acero calidad SAE 1026 de dimensiones 130x130x4.000 mm. La palanquilla se utiliza, luego, en el proceso de laminación. La producción de palanquilla representa el 40 % de la demanda de la parte de laminación.

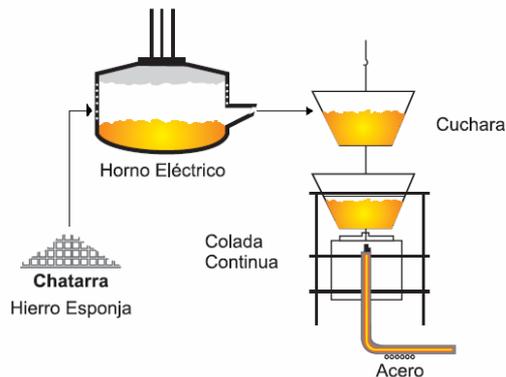


FIGURA 4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACERO MEDIANTE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

Emisiones producidas durante el proceso

Durante el proceso de fundición de la chatarra, se producen emisiones de gases y humos que contienen varios componentes nocivos para la salud humana y para el medio ambiente.

Los principales contaminantes que se emiten son:

- ✘ ***Dióxido de Azufre (SO₂)***
- ✘ ***Monóxido de Carbono (CO)***
- ✘ ***Dióxido de Carbono (CO₂)***
- ✘ ***Material particulado***
- ✘ ***Óxidos de Nitrógeno (NO_x)***

Normas y regulaciones

Para la industria siderúrgica se han establecido, a nivel internacional, diversas regulaciones ambientales que controlan y limitan la cantidad de emisiones; las de mayor reconocimiento y aplicación son las elaboradas por la agencia norteamericana de protección del medioambiente EPA (Environmental Protection Agency). A continuación presentamos una tabla de referencia para las emisiones en varios procesos siderúrgicos.

TABLA II
MÁXIMAS CONCENTRACIONES DE EMISIÓN DE PARTÍCULAS PARA FUENTES FIJAS (EPA) [13]

Fuente	Fecha de aplicación	Límites de emisión (g/Nm³)
Horno básico de oxígeno	De o antes 6/11/73	0,05, excepto 0,01 para cualquier emisión de carga y colado conectadas a un sistema secundario para el control de las emisiones fugitivas
Horno básico de oxígeno	Después de 6/11/73	0,022, excepto 0,01 para cualquier emisión de carga y colado conectadas a un sistema secundario
Horno de arco eléctrico	En o antes de 7/1/73	0,15
	Después de 7/1/73 pero en o antes 10/21/74	0,05
	Después de 10/21/74	0,0052
Otros procesos confinados	En o antes de 7/1/73	0,15
	Después de 7/1/73	0,05

En nuestro país, la industria siderúrgica y en particular ANDEC S.A. se rige bajo las normas establecidas por el TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA, que en el libro 6 anexo 3 presenta la **norma de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión**. A continuación se muestra el cuadro de referencia de los límites máximos permisibles de emisiones al aire.

TABLA III
LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUNDICIÓN DE METALES

Contaminante emitido	Observaciones	Fuentes Existentes	Fuentes Nuevas	Unidades¹
Partículas Totales	Cubilotes: de 1 a 5 t/h	600	250	mg/Nm ³
	mayor a 5 t/h	300	150	mg/Nm ³
	Arco eléctrico: menor 5 t	350	250	mg/Nm ³
	mayor 5 t	150	120	mg/Nm ³

¹ mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1.013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

Métodos y equipos utilizados para el control de las emisiones generadas durante el proceso.

La eliminación de la materia suspendida se realiza mediante los métodos que se mencionan a continuación. Tiene que estudiarse cada partícula para hallar el método más deseable.

Las consideraciones económicas exigen que la limpieza no se lleve más allá de lo necesario.

- Separación por gravedad
- Separación por inercia
- Lavadores estáticos de rocío
- Lavadores dinámicos de rocío
- Precipitación eléctrica
- Filtros de mangas

CAPITULO 2

2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN REQUERIDO.

Selección del sistema de extracción de humos secundarios

A los sistemas de ventilación se los puede dividir en dos grandes grupos: ventilación diluidora y ventilación localizada.

El método más común que se utiliza para extraer humos y polvos es el de ventilación localizada, debido a que la toxicidad es alta y la generación de los contaminantes es usualmente grande.

La ventilación localizada incluye necesariamente el uso de un sistema que atrape los contaminantes y los conduzca hacia otro lugar donde no constituyan un problema. Parte de este sistema son las campanas extractoras, y el diseño de estos elementos requiere del conocimiento del proceso u operación, de tal manera que el sistema necesite de volúmenes mínimos para el control de los contaminantes.

Tipo de Campana

Hay seis tipos básicos de campanas de ventilación del horno (Figura 2.2). Cada diseño tiene ventajas y limitaciones. Algunas operaciones del horno pueden necesitar un diseño integrando, una mezcla de diferentes configuraciones de campanas.

- *Campanas pabellón*
- *Campanas de tiro lateral*
- *Sistema del cuarto agujero o de evacuación directa*
- *Campana con respiradero*
- *Campana combinada (tiro lateral/cuarto agujero)*
- *Techo completo modificado*

Diseño de la campana

En la determinación de las dimensiones de la campana es necesario tener en cuenta la distancia de separación entre la campana y la fuente de emisión.

La siguiente relación me permite calcular el flujo que es necesario inducir en este tipo de campana.

Cuatro costados abiertos:

$$Q = 5.000 PHV \quad [17]$$

$$Q = 251.913,48 \text{ m}^3/\text{h}$$

A continuación se presentan las dimensiones para la campana:

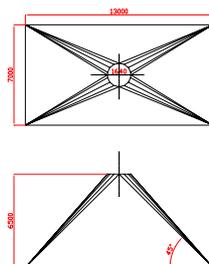


FIGURA 5 CAMPANA EXTRACTORA

Diseño de ductos

Debido a que en los gases y humos que se requieren extraer existen partículas presentes, las cuales se pueden llegar a sedimentar a lo largo del sistema, el diseño de los ductos se lo realizará mediante el método de velocidad constante. Este método nos garantiza que a lo largo del sistema se mantendrá una velocidad mayor a la velocidad mínima de sustentación para las partículas que se desea transportar. Estas velocidades pueden ser obtenidas empíricamente o partiendo de los principios de dinámica de partículas.

Para determinar una adecuada velocidad de sustentación del sistema, se ha tomado en cuenta el caudal que se requiere extraer y el tipo de contaminante que se va a transportar y se ha determinado un valor recomendable de $33 \frac{m}{s} \approx 6.500 FPM$ para la velocidad de transporte en los ductos.

Existen dos procedimientos para diseñar con el método de velocidad constante:

- Balanceando las presiones recalculando los flujos
- Realizando todo el procedimiento sin balancear presiones, construir e instalar el sistema y una vez funcionando se colocan dampers en las secciones donde hay que igualar presiones.

Por sus ventajas y conveniencia se escoge el primer procedimiento para realizar los cálculos. El diámetro calculado de los ductos es de:

$$\phi = 1,64m$$

Espesor mínimo de pared requerido

Los ductos serán construidos de lámina de acero A36 por ser un material que tiene una buena resistencia mecánica, posee buena soldabilidad y se encuentra fácilmente en el mercado local.

Para tuberías metálicas rectas con presiones internas, la fórmula para calcular el espesor mínimo requerido se detalla a continuación y es aplicable para razones de $\frac{D_0}{t}$ superiores a seis.

$$t_m = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C \quad [18]$$

Tomando en consideración el peso propio y el desgaste del ducto por efecto de la abrasión de los gases transportados se analiza el comportamiento del mismo dentro de un rango de espesores de 1 a 4mm, este análisis se lo realiza usando el software SAP 2000. Del análisis realizado se determina que el espesor recomendable de las planchas para la fabricación de los ductos es de 3,5mm, a continuación se muestra el estado de esfuerzos para un tramo de ducto con este espesor.

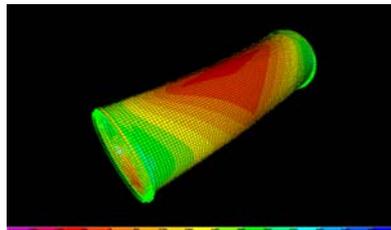


FIGURA 6 ESTADO DE ESFUERZOS PARA UN TRAMO DE DUCTO

La siguiente tabla presenta los datos obtenidos para el sistema de filtros:

TABLA IV
PARÁMETROS DEL SISTEMA DE FILTRO DE MANGAS

Sistema de limpieza	Pulse Jet
Presión de limpieza	6,5 bares.
Área de filtrado	2.372,07 m ²
Longitud de las mangas	5870 mm
No. de cámaras	8

No. de mangas	574
Diámetro de las mangas	165 mm
Volumen del gas	251.913,48 m ³ /h
Temperatura del gas	< 120 °C
Temperatura pico	130 °C
Duración de los picos	2 min.
Frecuencia de los picos	5 por año
Tipo de fibra	PTFE
Vida útil	12 meses
Posibles problemas	Ataque hidrolítico

ESTUDIO DE ADAPTABILIDAD DE AMBOS SISTEMAS

Los parámetros más importantes que se deben analizar son los de:

- Separador de partículas gruesas.
- Temperatura en los diferentes componentes.
- Flujo de aire requerido.
- Sistema de filtros.
- Caída de presión.
- Equipos requeridos.

De la información obtenida de los sistemas de ventilación más utilizados y recomendados para este tipo de proceso se determina el siguiente esquema como posible solución para nuestro sistema:

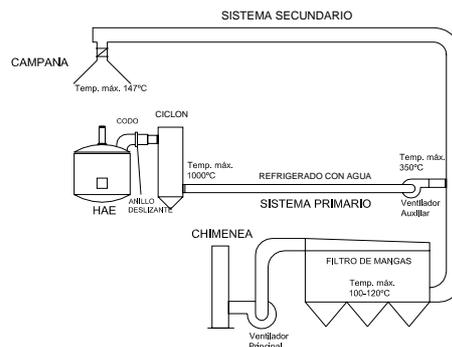


FIGURA 7 ADAPTACIÓN DE LOS DOS SISTEMAS

Equipos requeridos

Para el sistema propuesto se requiere de un ventilador auxiliar que cumpla con el caudal, caída de presión y temperatura máxima necesarios para la primera etapa:

$$Q_{Aux.} = 24.000 \frac{m^3}{h}$$

$$SP_{Aux.} = 62,64 mm Col. H_2O$$

$$T_{Aux.} = 350^\circ C$$

Para cumplir con los requerimientos de la segunda etapa se necesitará la instalación de un arreglo de ventiladores que cubran los siguientes valores de caudal, presión y temperatura:

$$Q_{Pr in.} = 275.913,48 \frac{m^3}{h}$$

$$SP_{Pr in.} = 496,66 mm Col. H_2O$$

$$T_{Pr in.} = 100 - 120^\circ C$$

Para el sistema de filtración se debe aumentar el número de cámaras para contener la cantidad de mangas necesarias para la limpieza del aire, además se debería aumentar la altura de la chimenea para que la dispersión de los gases sea efectiva.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN.

Análisis estructural para el soporte de la campana.

El análisis se lo desarrolla con el software SAP2000 V10, mediante el cual se determinan los esfuerzos y deformaciones máximos que soportan los elementos estructurales. Se utilizará el método de diseño AISC-LRFD para el análisis estructural.

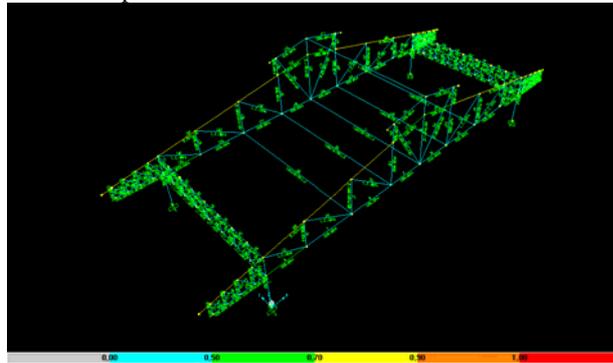


FIGURA 10 ESTADO DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA DE TECHO REFORZADA

Análisis estructural para el soporte de los ductos.

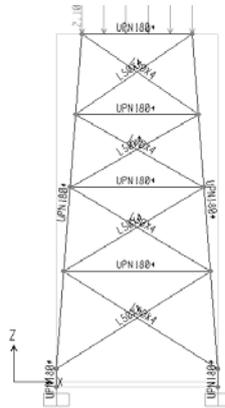


FIGURA 11 ESTRUCTURA SOPORTE PARA DUCTOS

Implementación del sistema de control.

El diseño de un sistema de control sigue los siguientes pasos:

- **Paso 1:** determinación de un sistema físico y especificaciones a partir de los requerimientos.
- **Paso 2:** Trazo de un diagrama de bloques funcional.
- **Paso 3:** Representación del sistema físico mediante un diagrama esquemático.
- **Paso 4:** Uso del diagrama esquemático para obtener un modelo matemático como lo es un diagrama de bloques.
- **Paso 5:** Reducción del diagrama de bloques.
- **Paso 6:** Análisis y diseño del sistema para satisfacer los requerimientos y las especificaciones especiales, que incluyen estabilidad, respuesta transitoria y desempeño en estado estable.

CONCLUSIONES

La estimación de la cantidad de polvo que se genera durante el proceso se la ha realizado tomando datos de los tres últimos años, es decir, que el valor obtenido es el que se tendría si se mantienen las condiciones actuales de producción. Pero, se debe considerar las proyecciones que tiene la empresa de mejorar el proceso y aumentar la producción de acero, este aumento de producción conlleva a un aumento en las emisiones que se generan por tonelada. Por lo tanto, se ha considerado un valor tope de producción de $150.000 \frac{t}{año}$ de acero.

El valor del caudal de emisiones generadas durante el proceso es mucho menor al valor del caudal requerido por la campana suspendida, por lo que se concluye que la campana diseñada, tiene la suficiente capacidad para extraer todas las emisiones producidas (siempre que se eviten las corrientes de aire externas).

Para calcular la velocidad de captura se tomo en consideración el valor de la densidad de las partículas sólidas que se desean extraer, y como este valor es mayor que la densidad de los gases, se garantiza la extracción del material particulado y de los gases. Esta consideración implica un aumento en las dimensiones de los equipos e instalaciones requeridos para el sistema, pero, garantizan una mayor eficiencia en la limpieza de la atmósfera.

Del estudio de adaptabilidad de ambos sistemas, se llegó a la conclusión de que es más conveniente, por costos y por instalación, la implementación del sistema secundario independiente. La implementación del sistema independiente requiere de instalaciones de grandes dimensiones, esto se debe a la gran cantidad de flujo de gases que se maneja y como consecuencia de tener ductos de mayor diámetro, se genera mayor cantidad de pérdida de presión.

Referencias.

- a) Manual practico de ventilación. (2da edición – Salvador Escoda). pp. 117-124
- b) INDUSTRIAL VENTILATION (A Manual of Recommended Practice) 22nd Edition 1995. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Chapter 5.
- c) BUSTOS, C. Dispersión de contaminantes atmosféricos Modelo de penacho gaussiano. [en línea]. <http://www.geocities.com/sgamsc/pub.htm>
- d) CONAMA. Sistema de Información Nacional Ambiental [en línea]. <<http://www.sinia.cl/>>
- e) CONAMA. Normas de calidad del aire. [en línea] <http://www.conama.cl/portal/1255/propertyvalue-10316.html>
- f) EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Informe de la European Environment Agency. [En línea] <<http://reports.eea.eu.int/92-9167-028-6/en>>

Ing. Ernesto Martínez L.

Director de Tesis