

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **DISEÑO DE ACONDICIONADOR DE FLUJO PARA CHIMENEA DE ATOMIZACIÓN EN PROCESO CERÁMICO**

Jorge Alexander Grisales Noreña

Martín Emilio Ceballos Gallo

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electromecánica

Asesor

M. Ing. Luis Fernando Cardona

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Medellín**

**2019**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

La empresa Eurocerámica debe renovar su licencia ambiental y permiso de emisiones **de material particulado**, la cual es de estricto cumplimiento. Esta licencia se otorga siempre y cuando las pruebas de muestreo isocinético en sus chimeneas de emisión de gases se mantengan dentro de la norma exigida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial de Colombia según Resolución 909 del 5 de junio de 2008.

**Buscando aumentar la productividad de sus equipos, la empresa aumentó la velocidad de los ventiladores en el proceso de atomización sin tener en cuenta que esto ocasionaría una variación con los flujos de gases en las chimeneas, convirtiéndolos en flujos turbulentos. Para realizar la prueba de isocinéticos, la empresa tiene que corregir primero el fenómeno de turbulencia ciclónica en las chimeneas de los atomizadores del proceso generada por la variación de velocidad en los ventiladores. Dicho fenómeno impide que el equipo utilizado para este procedimiento registre las características del gas correctamente.**

El objetivo de este proyecto es diseñar un acondicionador de flujo que permita modificar la dirección del gas en las chimeneas de atomización y de esta manera poder determinar la emisión de partículas a través del muestreo isocinético. Para lograr el desarrollo de este diseño se tuvieron en cuenta investigaciones que se han hecho relacionadas con el mismo fenómeno y se aplicaron los conceptos adquiridos en la formación académica para realizar diferentes actividades desde la medición de variables y cálculos del proceso hasta la cotización con fabricantes.

*Palabras clave:* muestreo isocinético, acondicionador de flujo, **turbulencia ciclónica, atomizador, legislación ambiental.**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Estamos muy agradecidos con la compañía Euroceramica por permitirnos desarrollar nuestro proyecto de grado dentro de sus instalaciones. Agradecemos al departamento de Gestión Ambiental de la compañía por la información suministrada, a los Departamentos Técnicos y Administrativos por permitirnos utilizar su información específica para poder finalizar con éxito este trabajo de grado.

Reconocemos al Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM por ser una institución de educación superior que forma de manera integral buscando la excelencia en la investigación, la innovación y el desarrollo, preocupándose por el medio ambiente y la sociedad. Agradecemos a esta institución por disponer de nuestro asesor Luis Fernando Cardona, profesor universitario de máquinas térmicas, quienes nos han apoyado a lo largo del desarrollo de este trabajo y nos han orientado para cumplir nuestros objetivos.

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad, también agradezco a mi familia, a mis padres, mi pareja y a mi hermana por su apoyo vital e incondicional sin el cual no tendría la fuerza y energía que me anima a crecer como persona y profesional.

Jorge Alexander Grisales Noreña

Agradezco mi familia por su apoyo incondicional en especial a mi esposa por el sacrificio y por su tolerancia tanto en su tiempo como en las actividades cotidianas de familia que se vieron aplazados para permitirme realizar mis actividades académicas y laborales simultáneamente.

Martín Emilio Ceballos Gallo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

**CFD** Dinámica de fluidos computacional

**NO<sub>x</sub>** Óxido de nitrógeno

**HCl** Ácido clorhídrico

**SO<sub>2</sub>** Dióxido de azufre

**EES** Solucionador de ecuaciones de ingeniería

**HCC** Panal de abeja circular

**HCH** Panal de abeja hexagonal

**HCS** Panal de abeja cuadrado

**ICA** Índice de Calidad del Aire

**IITG** Instituto Indio de Tecnología de Guwahati

**ITM** Instituto Tecnológico Metropolitano

**MP** Material Particulado

**NASA** Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio

**STL** Pérdida de transmisión de sonido [dB]

**Yaw** Ángulo de ciclón [°]

**A** Área mojada [m<sup>2</sup>]

**$\beta_h$**  Porosidad [adimensional]

**$D_h$**  Diámetro Hidráulico [m]

**$f$**  Factor de fricción [adimensional]

**$hf$**  Pérdidas de energía debido a la fricción [m]

**$K$**  Coeficiente de pérdida [adimensional]

**$L$**  Longitud [m]

**$P$**  Perímetro mojado [m]

**$Re$**  Número de Reynolds [adimensional]

**$R_h$**  Radio Hidráulico [m]

**$t$**  Espesor de lamina de la celda [m]

**$V$**  Velocidad media [m/s]

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$\rho$  Densidad [kg/m<sup>3</sup>]

$\mu$  Viscosidad dinámica [kg/m.s]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# TABLA DE CONTENIDO

---

<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>RECONOCIMIENTOS.....</b>	<b>3</b>
<b>ACRÓNIMOS.....</b>	<b>4</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1    GENERALIDADES.....	13
1.2    OBJETIVOS .....	15
1.3    ORGANIZACIÓN DE LA TESIS .....	15
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1    DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CERÁMICO.....	16
2.2    COMPORTAMIENTO EN LOS FLUIDOS.....	19
2.3    LEGISLACIÓN AMBIENTAL.....	25
2.4    PRUEBA DE ISOCINÉTICOS .....	30
2.5    ESTADO DEL ARTE .....	32
2.6    INSTRUMENTOS DE MEDIDA PARA LAS VARIABLES DEL PROCESO .....	43
2.7    CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.....	46
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>50</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>53</b>
4.1    MEDICIONES EN EL SITIO DE VARIABLES IMPORTANTES EN EL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....	53
4.2    CÁLCULOS DE DISEÑO Y PLANOS DEL ACONDICIONADOR DE FLUJO .....	56

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.3	COTIZACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DISEÑO .....	63
4.4	INSTALACIÓN DEL ACONDICIONADOR DE FLUJO EN CHIMENA DE SALIDA DE GASES DE ATOMIZACIÓN. ....	64
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>71</b>
5.1	RECOMENDACIONES .....	72
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>APÉNDICES .....</b>		<b>77</b>
6.1	APENDICE A: RESOLUCIÓN NÚMERO 909 DEL 5 DE JUNIO DE 2008 .....	77
6.2	APENDICE B: RESOLUCIÓN NÚMERO 2254 DE 1 DE NOVIEMBRE DE 2017 .....	88
6.3	APENDICE C: CURVA CARACTERÍSTICA DEL VENTILADOR EN EL PROCESO DE ATOMIZACIÓN .....	91
6.4	APENDICE D: PLANO DE CHIMENEA ATOMIZACIÓN, LAVADOR DE GASES Y VENTILADOR.....	92
6.5	APENDICE E: COTIZACIONES.....	93
6.6	APENDICE F: PLANO DEL ACONDICIONADOR DE FLUJO.....	97

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## LISTA DE FIGURAS

---

**Figura 1.** Empresa Eurocerámica.

**Figura 2.** Chimeneas de atomizadores, planta Euroceramica.

**Figura 3.** Esquema de secado por atomización.

**Figura 4.** Tubos y ductos.

**Figura 5.** Flujos Laminar y turbulento.

**Figura 6.** Flujo Turbulento.

**Figura 7.** Flujo Laminar.

**Figura 8.** Tren de muestreo isocinético para material particulado.

**Figura 9. a)** Dimensionamiento de nido de abeja. **b)** Panel de nido de abeja insertado en la cámara.

**Figura 10.** Ángulo de Ciclón.

**Figura 11.** Límites de diseño para acondicionador tipo pantalla.

**Figura 12.** Acondicionador de flujos de celda cuadrada para un túnel de viento.

**Figura 13: A)** Espectro de pérdida de transmisión de sonido (STL) típico para una placa plana, **(B)** paneles representativos con alta coeficientes de absorción acústica: **(a)** celosía hexagonal, **(b)** estructura de panal con resonadores locales y **(c)** Esquema del sistema de capa de nido de abeja hexagonal.

**Figura 14:** Diferentes tipos de estructuras celulares para la fabricación de paneles. **(A-a)** célula hexagonal regular; **(A-b)** celda cuadrada; **(A-c)** célula triangular; célula columnar; **(B-a)** célula OX; **(B-b)** celda rectangular; **(B-c)** célula hexangular reentrante ; **(B-d)** panal asimétrico; **(C-a)** supercélula cuadrada construida a partir de una combinación de cuadrados y triángulos; **(C-b)** célula de Kagome; **(D-a)** célula de núcleo flexible ; **(D-b)** célula de doble flexión; **(D-c)** célula hexagonal reforzada; **(E-a)** celda cuadrada truncada; **(E-b)** célula triciral; **(E-c)** célula tetraciral y

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**(E-d)** célula hexaciral. K y M denotan dos vectores arbitrarios en el espacio.

**Figura 15:** Esquema de diferentes secciones transversales en forma de panel que incluyen celdas cuadradas, celdas circulares y celdas hexagonales.

**Figura 16:** Geometría y prueba computacional para:

**(a)** panel solo; **(b)** panel con una pantalla; **(c)** celda cuadrada; **(d)** celda circular y **(e)** nido de abeja de celda hexagonal.

**Figura 17.** Variación de la intensidad de la turbulencia a lo largo del panel.

**Figura 18:** Coeficientes de pérdida para diferentes geometrías del direccionador de flujo.

**Figura 19.** Manómetro Diferencial marca Magnehelic.

**Figura 20.** Sensor de Temperatura Termopar.

**Figura 21.** Tubo de Pitot, marca Dwyer.

**Figura 22.** Tabla de cálculo para diámetros hidráulicos en secciones rectangulares.

**Figura 23.** Chimenea de salida de gases.

**Figura 24.** Área de instalación de acondicionador de flujo.

**Figura 25.** Plano del acondicionador de flujo de celdas cuadradas.

**Figura 26.** Diseño de plataforma y compuerta de inspección para acondicionador de flujo.

**Figura 27.** Instalación final de acondicionador de flujo en chimenea.

**Figura 28.** Acondicionador de flujo seccionado.

**Figura 29.** Planos de corte para modular acondicionador de flujo.

**Figura 30.** Plataforma de acceso y compuerta de inspección.

**Figura 31.** Acondicionador de flujo de celdas cuadradas instalado en chimenea de salida de gases de atomización.

**Figura 32.** Salida de vapor antes y después de instalar el acondicionador de flujo.

**Figura 33.** Transición de flujo de laminar a turbulento.

**Figura 34.** Curva característica del ventilador.

**Figura 35.** Plano de Chimenea atomización, lavador de gases y ventilador.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Figura 36.** Cotización Empresa Leguz.

**Figura 37.** Cotización Empresa Soluciones Industriales.

**Figura 38.** Plano del acondicionador de flujo de celdas cuadradas.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## LISTA DE TABLAS

---

**Tabla 1.** Instrumentos de medida para las variables del proceso

**Tabla 2.** Resumen para presencia de Flujo Ciclónico en la fuente evaluada

**Tabla 3.** Variables de operación tomadas en sitio

**Tabla 4.** Medidas de chimenea Atomizador.

**Tabla 5.** Parámetros constructivos del panel a usar.

**Tabla 6.** Resultados de los coeficientes de pérdidas por fricción para los 3 tipos de secciones.

**Tabla 7.** Parámetros constructivos del acondicionador de flujo.

**Tabla 8.** Análisis comparativo de oferentes

**Tabla 9.** Valoración del diseño

**Tabla 10.** Resumen para presencia de Flujo Ciclónico en la fuente evaluada

**Tabla 11.** Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales

**Tabla 12.** Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

**Tabla 13.** Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

**Tabla 14.** Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire

**Tabla 15.** Niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire para el año 2030

**Tabla 16.** Niveles máximos permisibles de contaminantes tóxicos en el aire.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Eurocerámica es una compañía colombiana líder en el diseño, manufactura y comercialización de pisos, paredes y porcelana sanitaria de la más alta calidad. Con 30 años en el mercado se posiciona como una organización innovadora, proactiva y socialmente responsable, comprometida con la conservación del medio ambiente y el crecimiento personal de sus empleados (Eurocerámica, 2014).

La planta de producción se encuentra ubicada en el municipio de Guarne (Antioquia) a tan solo 35 minutos del Valle de Aburra. Desde este lugar se elaboran los pisos y enchapes sanitarios para ser entregados y distribuidos. Su historia surge en la mente de industriales de Medellín en 1988, con la idea de conformar una nueva alternativa en cerámica y para finales de 1999 ya se había materializado el pensamiento construyendo las instalaciones físicas de Eurocerámica S.A. con un proceso automatizado y nuevas alternativas como industria se destaca por su variado portafolio de productos y una oferta para el mercado de 900.000 m<sup>2</sup>/mes.



**Figura 1.** Empresa Eurocerámica. (Eurocerámica, 2014)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1.1 GENERALIDADES

La empresa Eurocerámica debe renovar su licencia ambiental, la cual es de estricto cumplimiento. Esta licencia se otorga siempre y cuando las pruebas de muestreo isocinético en sus chimeneas de emisión de gases se mantengan dentro de la norma exigida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial según Resolución 909 del 5 de junio de 2008.

Conforme a lo establecido en esta resolución, el estándar de emisión admisible de contaminantes al aire para actividades industriales no puede sobrepasar  $250 \text{ mg/m}^3$  ni tener un flujo contaminante al ambiente  $> 5 \text{ kg/h}$ . Esta medición se realiza a través de un muestreo isocinético que determina la emisión de partículas y según la cantidad encontrada se otorga la licencia ambiental y el permiso de emisiones por un lapso de tiempo que puede variar entre 8 y 24 meses. Acogiéndose a esta resolución la empresa Eurocerámica viene realizando el muestreo con riguroso cumplimiento (Ambiente & Territorial, 2008).

A comienzos del año 2018, la compañía aumentó la velocidad de los ventiladores en el proceso de atomización, buscando aumentar la productividad de sus equipos. Esto ocasionó una variación en los flujos de gases en las chimeneas, convirtiéndolos en flujos turbulentos.

En el mes de agosto de 2018 se realizó la prueba de muestreo de isocinéticos en las chimeneas de los atomizadores de la compañía (Figura 2). El equipo utilizado en esta prueba arrojó un fallo generado por turbulencia en los gases del punto de muestreo, impidiendo realizar la medición.

Para realizar la nueva prueba de isocinéticos, la empresa tiene que corregir primero el fenómeno de turbulencia ciclónica que se presenta en el flujo de los gases que salen a la atmósfera por las chimeneas de los atomizadores del proceso, que se encuentran actualmente en  $21^\circ$  como se

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

puede evidenciar en la Tabla 2. La autoridad ambiental ha dado un plazo para solucionar este fenómeno y realizar la prueba nuevamente de manera correcta, de no ser posible la empresa Eurocerámica tendría que pagar una multa por esta infracción y podrían anular su licencia ambiental.



**Figura 2.** Chimeneas de atomizadores, planta Eurocerámica (Guarne 2018).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1.2 OBJETIVOS

### Objetivo General

Diseñar un acondicionador de flujo que permita modificar la dirección del gas en las chimeneas de atomización de la empresa Eurocerámica para poder determinar la emisión de partículas a través de un muestreo isocinético.

### Objetivos Específicos

- Realizar mediciones en el sitio de variables importantes que intervienen directa e indirectamente en el proceso de secado por atomización.
- Realizar cálculos de diseño y planos del acondicionador de flujo.
- Realizar cotización y evaluación económica del diseño

## 1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

En la primera parte de esta tesis se relata el proceso cerámico de la empresa y como de este se derivan emisiones emitidas al ambiente. Se detalla los tipos de flujo involucrados en el proceso de emisión. Posteriormente se presenta la reglamentación colombiana que regula las emisiones al ambiente mediante la prueba de isocinéticos.

Para la correcta realización de la prueba de isocinéticos se propone el diseño de un acondicionador de flujo, todos los criterios para su ideación se relatan en el marco teórico. En la metodología se citan los procesos necesarios para el diseño del acondicionador y finalmente en los resultados se presentan las mediciones en el sitio de variables importantes en el proceso de secado por atomización, los cálculos de diseño de planos del acondicionador de flujo y la cotización y evaluación económica del diseño.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

Este trabajo presenta el diseño de un dispositivo de acondicionamiento de flujo que permita modificar la dirección del gas en las chimeneas de atomización de la empresa Eurocerámica para poder determinar la emisión de partículas a través de un muestreo isocinético. En este sentido, es preciso aclarar algunos conceptos.

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CERÁMICO

Para empezar, es necesario conocer el proceso de fabricación de baldosas cerámicas. Este resulta interesante porque involucra materias primas con elementos de la naturaleza como tierra, agua, aire y fuego; **con la combinación de las mismas se logra un producto final de calidad**, que se desarrolla en una serie de etapas sucesivas y pueden resumirse de la siguiente manera:

#### *Preparación de las materias primas*

El proceso inicia con la selección y extracción de las materias primas, estas provienen de una mina o cantera y son fundamentalmente arcillas, feldespatos y carbonatos. Se realiza una mezcla de estas arcillas y se someten a un proceso de molienda húmeda donde se disminuye el tamaño de partícula del material conformando una suspensión líquida llamada barbotina (**Nebot, Pastor, Bellido, & J. Serrano Mira, 2016**).

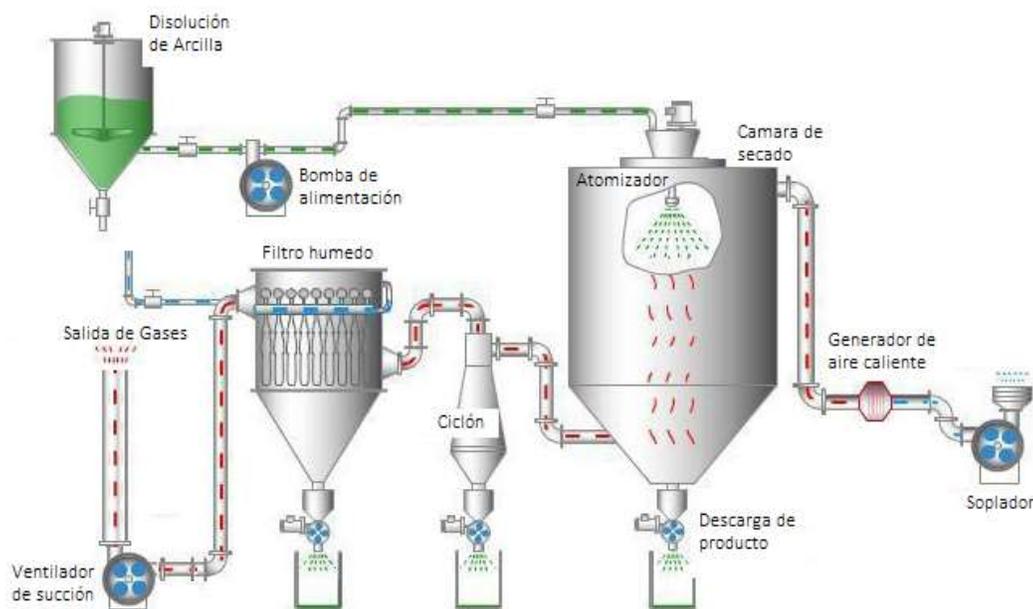
#### *Secado por atomización*

El secado por atomización (Figura 3) es un proceso continuo que convierte casi cualquier líquido bombeable, en este caso la barbotina, en un polvo granulado, una operación indispensable que

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

consiste en la transformación de una disolución de arcilla acuosa en un material seco particulado mediante la atomización en un medio caliente.

El líquido se bombea a alta presión, se pulveriza a través de un atomizador y se encuentra con un flujo de aire caliente en la cámara de secado donde se evapora. **El contenido de sólidos resultante se descarga para la producción del proceso. Los gases generados en la evaporación son extraídos por un ventilador de succión, haciéndolos pasar por un sistema de filtración donde se logra la limpieza del aire antes de salir a la atmósfera** (Changzhou, n.d.). Como consecuencia, se producen emisiones importantes de material particulado y de gases de efecto invernadero ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ). **El dispositivo a diseñar tendrá como fin poder modificar el régimen de flujo del gas emitido y disminuir su turbulencia.**



**Figura 3.** Esquema de secado por atomización. Fuente: (Changzhou, n.d.)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### *Prensado*

Es el proceso donde se conforma la pieza cerámica mediante el uso de prensas hidráulicas, la pasta granulada se lleva a un molde y se compacta a una elevada presión por medio de la compresión de aceite en un pistón resultando en una pieza llamada azulejo.

### *Esmaltado y decorado*

En este proceso se cubre la superficie de la pieza aplicando una o varias capas de esmalte vidriado. Este tratamiento se realiza al azulejo buscando darle ciertas propiedades físicas y mecánicas además de darle a la pieza un acabado estético como brillo, color y textura de diferentes diseños.

### *Cocción*

La cocción del azulejo en la etapa de fabricación es muy importante ya que de este proceso dependen muchas de las características de la pieza cerámica como resistencia mecánica, estabilidad dimensional, resistencia a agentes químicos, facilidad de limpieza, entre otros. En el proceso de cocción se someten las piezas a un ciclo térmico donde se producen diferentes reacciones que modifican su microestructura y les confieren las propiedades finales deseadas.

### *Clasificación y empaque*

En este proceso se utilizan sistemas automáticos con equipos neumáticos y visión superficial de las piezas que realizan la clasificación de forma controlada, el resultado es un producto de alta calidad en cuanto a su regularidad dimensional, aspecto superficial y características mecánicas y químicas. Con la etapa de empaque finaliza el proceso de fabricación del producto cerámico.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.2 COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS

Un fluido en su forma más simple es una sustancia en la cual las moléculas pueden moverse con facilidad unas con respecto a las otras (Mott, 2006). Sus principales características son velocidad, presión, temperatura, densidad y viscosidad. El estudio del comportamiento de los fluidos ha sido una de las tareas del hombre desde la antigüedad; con el estudio de este se han tenido aprovechamientos empíricos a través del tiempo como la locomoción por medio de velas y el aprovechamiento del cauce de los ríos y las corrientes marinas. (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006)

Por su parte Yunus Cengel y John M Cimbala, en la introducción de su libro Mecánica de Fluidos (2006), afirman que a mediados del siglo XIX se dieron los primeros avances en el estudio del comportamiento de los fluidos. El físico Jean Poiseuille (1799-1869) y Gotilf Hagen (1797-1884) diferenciaron el flujo laminar y el turbulento y en Inglaterra Lord Osborn Reynolds (1842 -1903) continuó sobre ese trabajo y desarrollo el número adimensional Reynolds.

Mott en su libro Mecánica de Fluidos (2006) afirma:

*“El flujo de un fluido se caracteriza a través de su número Reynolds el cual relaciona a su vez Viscosidad, Velocidad, Densidad, y tamaño del recorrido. El número Reynolds es adimensional y muy utilizado en mecánica de fluidos y transferencia de calor. Los flujos tienen # Reynolds grandes cuando tienen alta velocidad y baja densidad denominados generalmente Turbulentos y los flujos con # Reynolds bajos con viscosidad alta y velocidad baja determinados generalmente Laminares.*

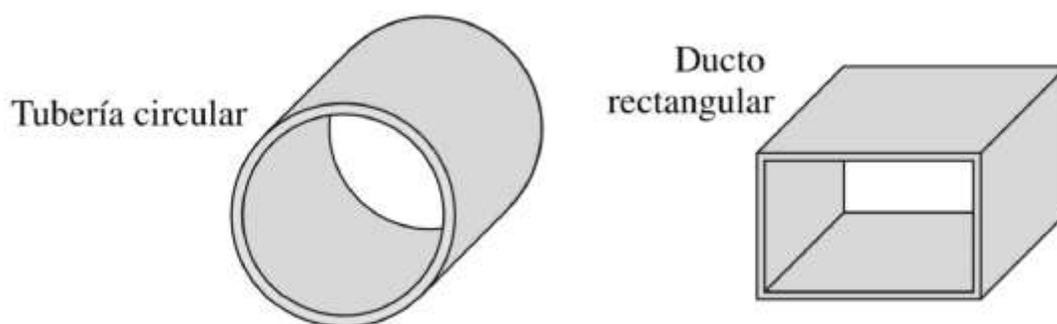
*Se establece que un flujo Laminar es menor a 2000 Reynolds y de 4000 en adelante se considera flujo turbulento” (Capítulo 8).*

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### *Flujo en tuberías*

Según Yunus Cengel y Jhon M. Cimbala en su libro mecánica de fluidos capítulo 8, el flujo de un líquido o de un gas a través de tuberías o ductos se utiliza por diferentes razones. Su comportamiento dentro de las tuberías se analiza para determinar las energías y los equipos necesarios para hacer que fluya. Este se obliga a fluir con ventiladores y bombas y se comporta dependiendo de las restricciones u oposiciones al flujo, las cuales se dan por ciertas características de las tuberías como rugosidad, aumento o disminución de los diámetros, derivaciones y accesorios de conexión de las tuberías (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006).

“Flujo en tubo” (Figura 4) se le dice a los que presentan sección transversal circular y se utilizan para líquidos principalmente porque soportan mejor los cambios en la presión. “Flujo en ductos” se le dice a los que se presentan con sección transversal rectangular y se utilizan principalmente para gases donde los cambios en la presión son despreciables y los costos menores (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006).



**Figura 4.** Tubos y ductos (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006)

	<p>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### *Evaluación del comportamiento de un flujo*

El comportamiento de un flujo depende de varias variables. Por ejemplo, en una fogata (Figura 5), el humo asciende lentamente y de forma lineal los primeros centímetros (flujo laminar), cuando supera el entorno de estabilidad que generan las personas alrededor de ella el humo modifica su comportamiento y genera una distorsión irregular (flujo turbulento) acorde al comportamiento de los vientos del ambiente.



**Figura 5.** Flujos laminar y turbulento. Fuente: autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dentro de un tubo, el fluido se desliza en forma de capas paralelas a la línea del tubo cuando se encuentra sometido a bajas presiones y bajas velocidades. Cuando el flujo se ve afectado por el incremento en la presión y la velocidad, las partículas empiezan a chocar entre sí generando un movimiento desordenado de las moléculas.

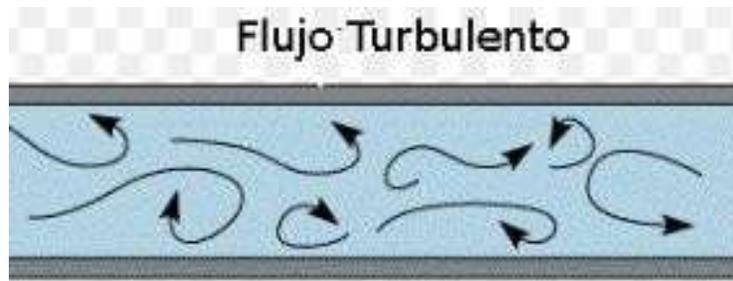
Cengel y Cimbala (2006) en su libro Mecánica de Fluidos dicen:

*Se dice que el régimen de flujo en el primer caso es laminar, y se caracteriza por líneas de corriente suaves y movimiento sumamente ordenado; mientras que en el segundo caso es turbulento, y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento también desordenado. La transición de flujo laminar a turbulento no ocurre repentinamente; más bien, sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre flujos laminar y turbulento antes de volverse totalmente turbulento. La mayoría de los flujos que se encuentran en la práctica son turbulentos. (Cap. 8 )*

### *Flujo turbulento en tuberías*

La mayoría de los fluidos en la industria se comportan de manera desordenada y aleatoria bien sea por la presión y el caudal o por las condiciones de las tuberías y ductos que los conducen. Es cuando el movimiento de un fluido se hace más irregular, caótico e impredecible, que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos a través del flujo y el flujo es turbulento (Figura 6).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



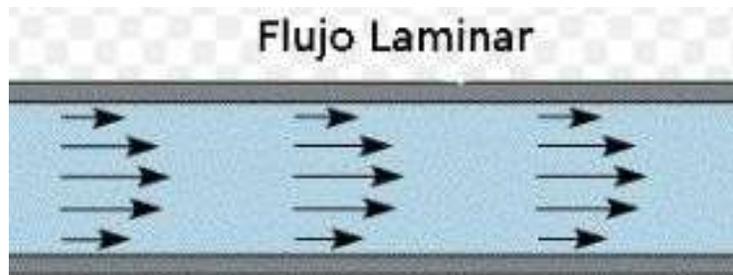
**Figura 6.** Flujo Turbulento (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006)

El flujo turbulento aparece a velocidades altas, o cuando aparecen obstáculos abruptos en el movimiento del fluido (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006). Este se utiliza para transportar masa y energía de un lugar a otro con más velocidad del que se usaría en un flujo laminar. La transferencia de energía en un flujo turbulento es mucho más eficiente como resultado de la mayor interacción presentada entre partículas aun cuando el flujo promedio sea estacionario.

#### *Flujo laminar en tuberías*

Dentro de un tubo el fluido se desliza en forma de capas paralelas o capas concéntricas a la línea del tubo cuando se encuentra sometido a bajas presiones y bajas velocidades. Se llama flujo laminar al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave, sin entremezclarse. La **Figura 7** muestra como las capas adyacentes del fluido se deslizan suavemente entre sí. El mecanismo de transporte es exclusivamente molecular transfiriendo la energía a través de líneas de corriente. Ocurre a velocidades relativamente bajas (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 7.** Flujo Laminar (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006)

Cuando un flujo ingresa a un ducto o tubo después de la bomba o ventilador, o cuando pasa por un accesorio de la tubería puede generar una pequeña distorsión del fluido, pero puede continuar siendo laminar bajo condiciones de presión y velocidad bajas para fluidos incompresibles siempre y cuando la tubería sea suficientemente larga para mantener la estabilidad (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006).

### *Número de Reynolds*

$$R_e = \frac{\rho D_h v}{\mu}$$

**Ecuación 1.** Ecuación Reynolds (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006)

Siendo:

$\rho$  = Densidad [kg/m<sup>3</sup>]

$\mu$  = *viscosidad dinámica* [kg/(m.s)]

$v$  = *velocidad del fluido* [m/s]

$D_h$  = *Diametro hidraulico* [m]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.3 LEGISLACIÓN AMBIENTAL

El avance de los procesos industriales **comúnmente** trae consigo algunos impactos negativos en el medio ambiente y de alguna manera obliga a desarrollar técnicas para el control. Es el estado quien está llamado a regular y reglamentar los límites permisibles y las normas tendientes a mitigar el impacto generado por los desarrollos industriales y también las normas tendientes a acondicionar sus residuos antes de ser retornados al medio. El estado entonces será quien establezca límites y permisos de vertimientos y emisiones y las normas tendientes para generar la información técnica y los métodos de evaluación, aplicación y control de las emisiones contaminantes, en el caso de este proyecto, a la atmósfera en cualquier fuente fija donde se genere.

La industria está obligada a ajustar sus procesos acordes a las normatividades vigentes y a realizar los correctivos para que sus descargas estén dentro de los límites normalizados. Es aquí donde este trabajo de grado aplica, pues este proyecto apunta a acondicionar el flujo del fluido de un proceso industrial hasta el punto donde sea medible, acorde con los lineamientos autorizados por la autoridad ambiental y llevado a cabo por compañías autorizadas por el estado para tal fin, determinando el grado de contaminante emitido y si está dentro de los límites permitidos para descargar en la atmosfera.

A continuación, se nombran las leyes que se aplican a este trabajo, para empresas existentes se cuenta con la Resolución número 909 del 5 de junio de 2008 y para las empresas con vigencias entre el 1 de enero de 2018 y el 1 de enero de 2030 la Resolución número 2254 del 1 de noviembre de 2017, estas resoluciones se amplían con mayor detalle en los Apéndices A y B.

*Resolución número 909 del 5 de junio de 2008 (Para empresas existentes)*

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La Resolución número 909 del 5 de junio de 2008 establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas. Las disposiciones de esta resolución se establecen para todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, instalaciones de incineración y hornos crematorios (Resolución 909, 2008).

A continuación, se hace un esbozo de los apartados de la norma que aplican a este trabajo.

En el capítulo II de la norma se presenta la tabla de estándares de emisión admisibles de contaminantes (Apéndice A, Tabla 11). En este proyecto de grado se trabaja sobre un flujo de gas con Material particulado (MP) para el cual establece un límite de emisión de material particulado contaminante de 250 mg/m<sup>3</sup> de gas descargado a la atmósfera. En el Artículo 6. Actividades industriales y contaminantes a monitorear por actividad industrial, de la Resolución número 909 del 5 de junio (2008) se establecen las actividades industriales y los contaminantes que se deben monitorear. Para el caso de este trabajo aplica la actividad industrial Calcinación y secado en industrias de minerales y establece el monitoreo de los procesos e instalaciones relacionados en el Anexo A, proceso industrial que compete a este trabajo.

El *capítulo X de La Resolución Número 909* del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial describe los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla. La tabla 11 se relaciona en el Anexo A.

El artículo 33 detalla la temperatura de los gases emitidos por las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla. En el Artículo 34 se dan las características de las mediciones directas en hornos en industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El capítulo XVII de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se determina las características de las chimeneas para la disposición de los gases del proceso industrial y las tomas y plataformas para los muestreos y en sus artículos se hace explícito la obligatoriedad de construcción de un ducto o chimenea, así como la determinación de la altura del punto de descarga y la localización del sitio de muestreo.

El capítulo XVIII de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se establecen los métodos para realizar la medición de material particulado en el flujo de gas que se emite a la atmósfera, se detallan los métodos para las mediciones y el cumplimiento de estándares.

El capítulo XXI de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se determina la sanción que debe cumplir la empresa en caso de violación o incumplimiento de las disposiciones contempladas en dicha norma.

Finalmente, en el anexo 1 de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se definen ciertos conceptos que pueden ser fundamentales para su comprensión

#### ANEXO 1. DEFINICIONES

**Concentración de una Sustancia en el Aire:** Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

**Condiciones de Referencia:** Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 oC y 760 mm de mercurio.

**Contaminantes:** Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente,

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas.

**Contaminación Atmosférica:** Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

**Emisión:** Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.

**Fuente Fija:** Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aún cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

**Fuente Fija Puntual:** Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

**Instalación Existente:** Aquella instalación que se encuentre construida y operando a la entrada en vigencia de la presente resolución.

**Método de Referencia:** Es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante y debe realizarse bajo estrictos parámetros técnicos.

**Norma de Emisión:** Es el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes, establecido por la Autoridad ambiental competente, con el objeto de cumplir la norma de calidad del aire.

**Sistema de Control de Emisiones:** Conjunto ordenado de equipos, elementos o maquinaria que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados medibles y verificables de reducción o mejoramiento de las

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

emisiones atmosféricas generadas en un proceso productivo. (pag. 33, 34, 35 y 36. 2008)

*Resolución número 2254 de 1 de noviembre de 2017*

Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones para empresas nuevas con vigencias entre el 1 de enero de 2018 y el 1 de enero de 2030.

En el capítulo I, artículo 2 de la norma se presenta la tabla de estándares de emisión admisibles de contaminantes (Apéndice B, Tabla 13). En este proyecto de grado se trabaja sobre un flujo de gas con material particulado (MP) para el cual establece un límite de emisión de MP contaminante de 50 mg/m<sup>3</sup> de gas descargado a la atmósfera según la Resolución número 909 del 5 de junio de 2008 la cual aplica para las empresas existentes.

La Resolución 2254 que se analiza en este capítulo rige las empresas nuevas a partir del 1 de enero de 2018, decretando en el artículo 3 un límite de 30 mg/m<sup>3</sup> de MP contaminante a partir del 1 de enero de 2030 para las empresas fundadas desde 2018. En el artículo 4 de la norma se presentan los estándares de emisión admisibles de contaminantes tóxicos del aire (Anexo B). La norma establece en los artículos 5, 6, 7 y 8 los mecanismos para la actualización del estado, la monitorización de los niveles de contaminación y alerta y los procedimientos para el monitoreo y seguimiento, además como determinar alerta y emergencia.

En el capítulo II la norma establece y determina los niveles y los rangos de prevención alerta y emergencia.

En el capítulo III, artículo 15 la norma establece la elaboración de programas de reducción de la contaminación del aire.

En el capítulo IV, artículo 18 la norma establece el índice de calidad del aire (ICA) y finalmente en el capítulo V la norma contempla la divulgación socialización y derogatorias a que da lugar la presente resolución. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia, 2017)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.4 PRUEBA DE ISOCINÉTICOS

La prueba con la que se determina la cantidad de material particulado es llamada prueba de isocinéticos. El método consiste en tomar una muestra de la emisión bajo circunstancias controladas que permita determinar la concentración del contaminante y el flujo del gas portador con el fin de calcular el flujo másico del contaminante. Esta prueba es llamada muestreo Isocinético la norma contempla los requisitos básicos y los equipos y métodos empleados por los entes autorizados para realizar dicha prueba. (Echeverri-Londoño, 2006)

Como se puede evidenciar, aquí no se dan aspectos técnicos pues el objetivo de este proyecto es acondicionar el flujo de gases para que sea posible tomar las muestras.

### *Resolución 0935 del 2011*

*La Resolución 0935 del 2011* establece los métodos de evaluación de emisiones en fuentes fijas y la cantidad de muestras que deben tomarse para la medición de contaminantes. En el caso de este proyecto, para el proceso industrial cerámico aplica el Método 5 descrito en los Métodos para la evaluación de emisiones contaminantes en fuentes fijas, método 5 – Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias. Este método consiste en la explicación paso a paso de cómo debe ser realizada la toma de la muestra, como debe conservarse y como debe transportarse para poder garantizar la precisión de la medida (Resolución 0935, 2011).

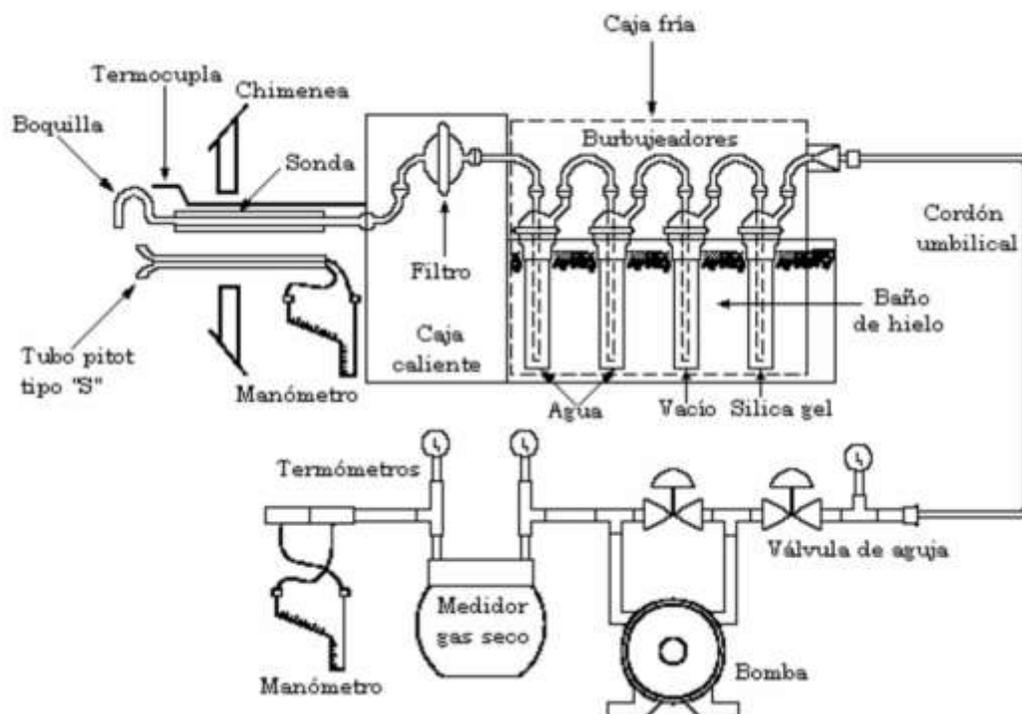
En el Item 8 del Método 5 – Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias páginas 7 a la 14 se describe el proceder para la recolección y conservación de la muestra. Se incluye el resumen del método como introducción al procedimiento necesario para

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la evaluación del material particulado en fuentes fijas. Método 5 – Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias:

El material particulado es succionado isocinéticamente de la fuente y colectado sobre un filtro de fibra de vidrio que se mantiene a una temperatura de  $120 \pm 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $248 \pm 25 \text{ }^{\circ}\text{F}$ ) u otra temperatura como se especifica por una subparte aplicable del estándar o aprobado por la autoridad ambiental para una aplicación particular. La masa de material particulado, que incluye cualquier material que se condensa o por encima de la temperatura de filtración, es determinada gravimétricamente después de la remoción del agua no combinada. (Pag. 3, 2011)

En la Figura 8 y Tabla 1 se describen los equipos utilizados en la toma de la muestra en el ducto de salida de los gases.



**Figura 8.** Tren de muestreo isocinético para material particulado. (Echeverri-Londoño, 2006)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 1.** Instrumentos de medida para las variables del proceso

Item	Equipo	Marca	Descripción	Rango de medida
1	Manómetro diferencial	Magnehelic	Instrumento de medición adecuado para aire o gases de bajas presiones positivas, negativas (vacío) o diferenciales. Este tipo de manómetro puede utilizarse en medidas de presión de ventiladores y soplantes, velocidad del aire y caídas de presión en placas de orificio.	De 0 a 200 mmH <sub>2</sub> O.
2	Sensor de temperatura termopar	Termopar	Tiene un extenso campo de aplicación, sirve como transductor de señales de temperatura en señales de voltaje.	Temperaturas entre -180°C y 1370°C.
3	Manómetro de tubo de Pitot	Dwyer	Para la medición de velocidades de flujo de gases, presiones y caudal en ductos o canales, tiene una combinación de tubo de Pitot para medir la presión total y una sonda de medición de la presión estática	Presión: 0,72 – 50 psi Velocidad: 1 – 80 m/s Caudal: 0 – 99999 m <sup>3</sup> /min

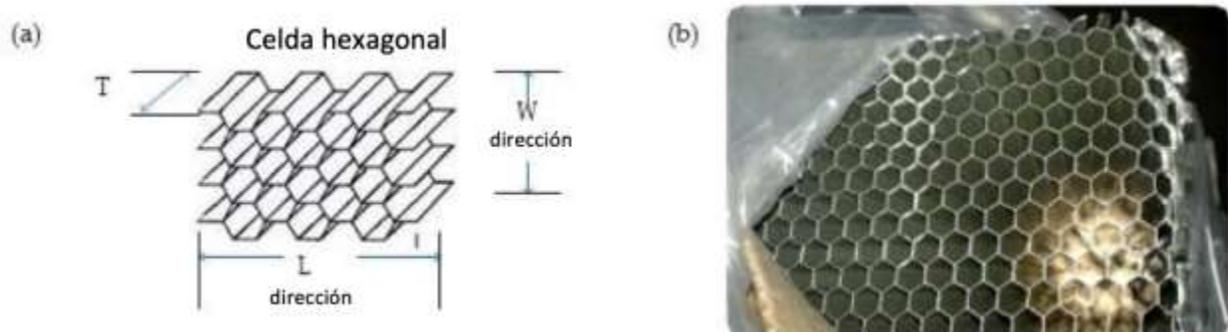
## 2.5 ESTADO DEL ARTE

El movimiento de un fluido varía dependiendo de la velocidad de su trayectoria y de los obstáculos que encuentre en su recorrido. Para convertir un fluido turbulento en laminar existen varias formas aplicables; un antecedente de cómo lograr esto es interponer en su trayectoria un acondicionador de flujo que lo obligue a cambiar su movimiento luego de pasar a través de él.

Para analizar el comportamiento de la presión, los autores de un estudio realizado en 2018 incorporaron un conjunto de panales y pantallas en el diseño de la cámara de un acondicionador de flujo, tal como se muestra en la Figura 9.b. Esta sección tiene una dimensión de 5 x 5 m (área

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de la sección transversal) y 2 m (longitud). Antes de ingresar a la cámara, hay una gran pantalla que agrega uniformidad al flujo, rompiendo las estructuras a gran escala que pueden estar presentes en la entrada de corriente. El diseño y el tamaño de la celda para las pantallas y el panel de abeja se han llevado a cabo para reducir las variaciones de velocidad media lateral y de remolino con una cierta caída de presión. La pérdida impuesta por los paneles de nido de abeja fue inferior al 5% de las pérdidas totales dentro del sistema (Almeida et al., 2018).



**Figura 9.** a) Dimensionamiento de nido de abeja.

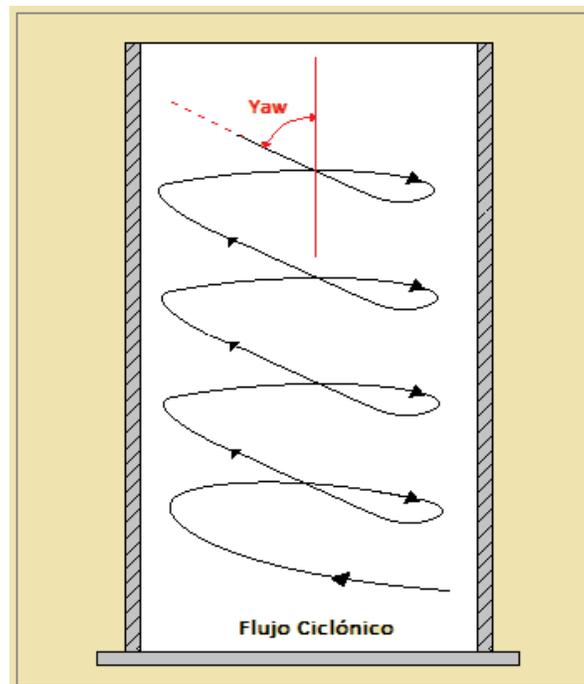
b) Panel de nido de abeja insertado en la cámara (Almeida et al., 2018)

Por otra parte, en la literatura se ha reportado que, mientras el ángulo de ciclón “Yaw” (Figura 10) no sea mayor a  $10^\circ$ , el acondicionador es más eficiente en la remoción de flujo ciclónico y variación de velocidad lateral y en últimas para hacer que el flujo esté dirigido en un solo sentido (axial). Cuando los ángulos de ciclón son demasiado altos, las celdas del panel de abejas se ahogan, lo cual aumenta la caída de presión y las no uniformidades en el flujo (Kouazzane & R. Benhadj, 2006).

En los experimentos de Kouazzane y Benhadj (2006) se realizaron mediciones de turbulencia con el acondicionador de flujo tipo panel, probando los dispositivos ubicados a tres diámetros de tubería aguas arriba del plano de salida. Cuando la porosidad  $\beta_h$  (relación entre área de flujo y área total) era menor a 0,75 la intensidad de turbulencia axial (medida con anemómetro de hilo

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

caliente) tendía a desarrollarse rápidamente y se produjo un perfil similar al del flujo de la tubería desarrollado, en el acondicionador de flujo tipo panel. Por el contrario, cuando la porosidad estaba parcialmente sobre 0,75, una distribución de intensidad de la turbulencia axial notablemente disminuía hasta el 50%. Para ambos casos, el perfil del yaw tenían un valor de la base de alrededor de 6%; este valor se redujo a alrededor de 5%, pero cambió muy poco más allá de ese punto. Sin embargo, ambos casos mostraron una porción central plana en la distribución turbulenta (Kouazzane & R. Benhadj, 2006).

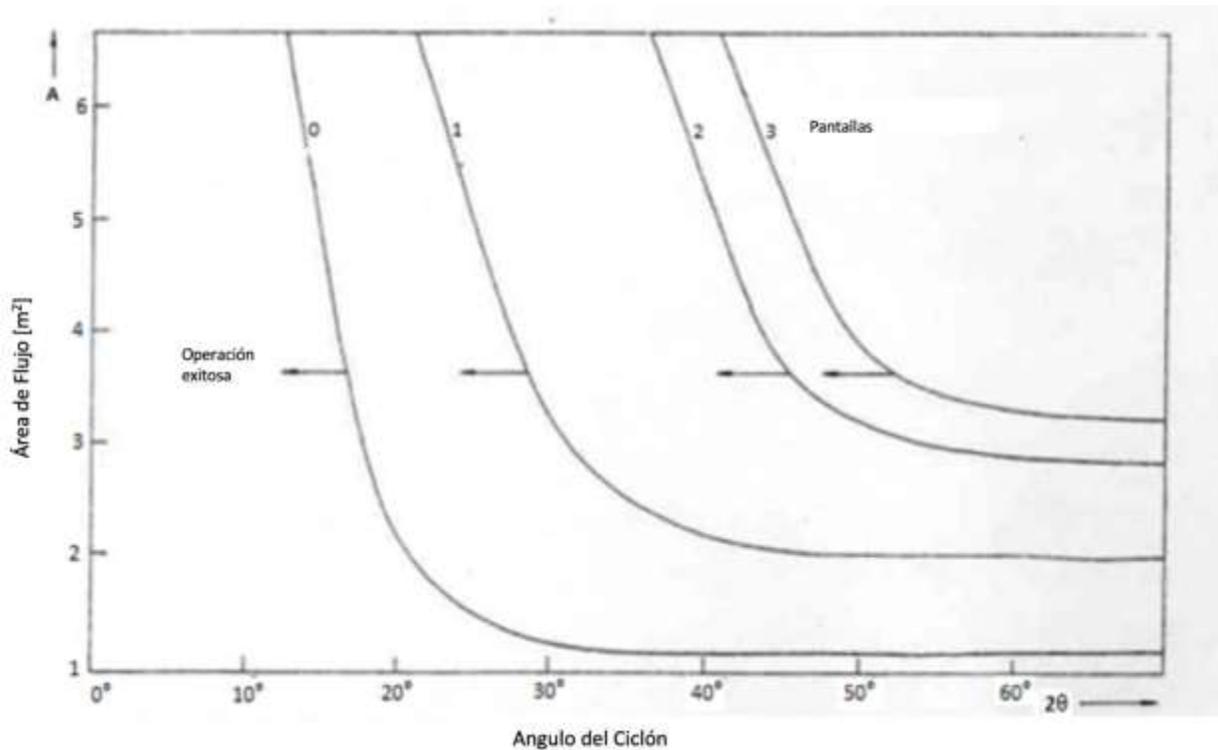


**Figura 10.** Ángulo de Ciclón. Fuente: autores

Para ángulos de ciclón (yaw) grandes, se puede instalar mallas de pantalla antes de la entrada al panel, para ángulos ciclónicos  $10^\circ < \alpha < 40^\circ$  se debe instalar varias mallas, las cuales darán una reducción de ángulo en un factor de 0.7 y las pérdidas se incrementarán en un factor de 1.45 aproximadamente. Se instalan tantas pantallas como sean necesarias para reducir el ángulo hasta  $10^\circ$  (Figura 11) (Almeida, Miranda, & Ferreira, 2018). Los ángulos de ciclón grandes causan que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

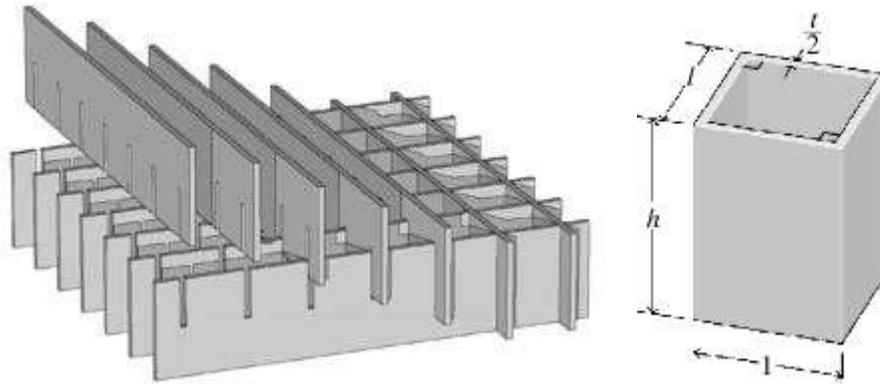
las células de panal de abeja se detengan, lo que reduce su efectividad además de aumentar la pérdida de presión (Mehta & Bradshaw, 1979).



**Figura 11.** Límites de diseño para acondicionador tipo pantalla, adaptada de (Mehta & Bradshaw, 1979)

La longitud efectiva de un acondicionador de flujos para reducción de turbulencia oscila entre 6 y 8 diámetros de celda. Las pantallas dispuestas en serie disminuyen drásticamente la turbulencia, adicionalmente establece un flujo más uniforme debido a que se impone una caída de presión estática proporcional al cuadrado de la velocidad. En general, las pantallas (Figura 12) deben tener unas aperturas superiores al 57% del área, con diámetros de perforación entre 3 y 20 mm (Mehta & Bradshaw, 1979).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

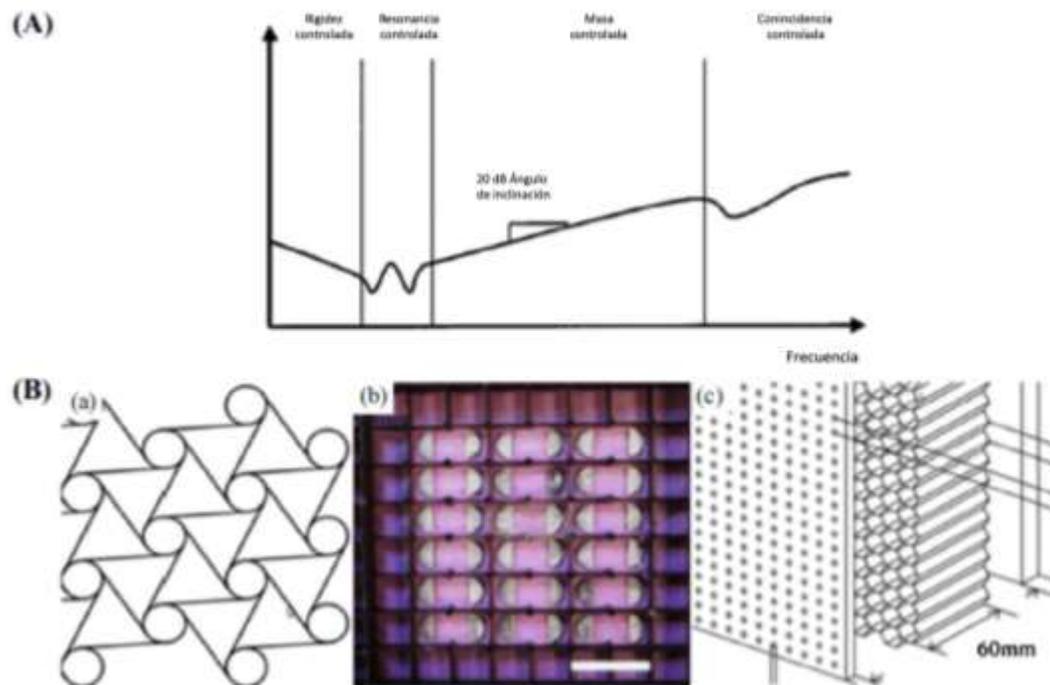


**Figura 12.** Acondicionador de flujos de celda cuadrada para un túnel de viento. (Zhang, Yang, Li, & Huang, 2015)

Algo muy importante para saber el comportamiento de un flujo a través de las pantallas nido de abeja es conocer cómo se propagan las ondas a través de ellos. Como pioneros en estos análisis aparecen Kurtze y Walthers quienes investigaron la pérdida de transmisión de sonido a través de estructuras con pantallas en nido tipo sándwich (como se citó en Zhang, Yang, Li, & Huang, 2015), buscando aislar el sonido entre dos espacios con una pared intermedia silenciosa (Figura 13B.)

Tal como lo mencionan Kurtze y Walthers (citado en Zhang, Yang, Li, & Huang, 2015) *“una placa tipo sándwich de nido de abeja con diferentes parámetros de geometría puede generar un desajuste de impedancia periódica para formar una dispersión de onda en el espacio”*. Como se muestra en la Figura 13A, la pérdida de transmisión de sonido (STL) típica frente a la curva de frecuencia de una placa sándwich muestra cuatro regiones diferentes controladas por separado: rigidez, resonancia, masa y coincidencia, esto indica que la rigidez del panel domina la tendencia de la curva STL hasta el inicio de la resonancia de orden más bajo y aproximadamente al doble de la frecuencia de resonancia de primer orden, la inercia de masa desempeña un papel principal que termina en la frecuencia de coincidencia relacionada con la rigidez a la flexión y el ángulo de incidencia reduciendo la propagación de ondas (Zhang et al., 2015).

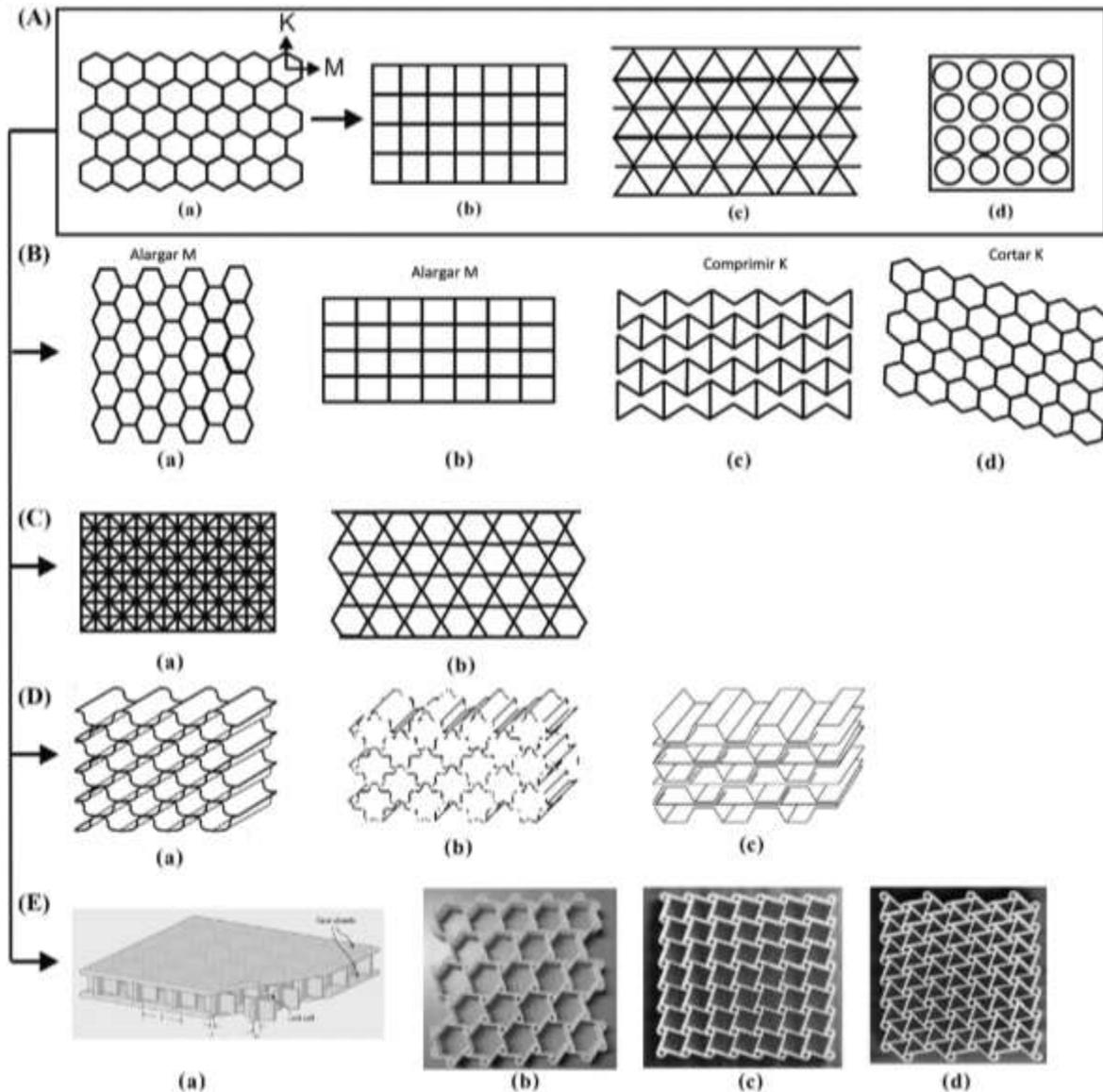
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 13. A)** Espectro de pérdida de transmisión de sonido (STL) típico para una placa plana, **(B)** paneles representativos con alta coeficientes de absorción acústica: **(a)** Celosía hexagonal, **(b)** estructura de panel con resonadores locales y **(c)** esquema del sistema de capa de nido de abeja hexagonal. (Zhang et al., 2015)

El nido de abeja con células hexagonales tiene la estructura más común entre los materiales celulares y se ha fabricado con éxito utilizando una variedad de tecnologías y materiales (Zhang et al., 2015). Sin embargo, para satisfacer las necesidades específicas de tanta variedad y diferentes aplicaciones, las estructuras hexagonales en forma de panel de abeja han dado paso a muchos diseños diferentes y nuevos en el mundo, lo que lleva a un rápido aumento de la diversidad desde la ingeniería tradicional a la micro y nano-fabricación. En la Figura 14 se puede ver de forma resumida la evolución de las estructuras de nido de abeja con las que se ha buscado lograr mejores rendimientos, diversificar su campo de aplicación y disminuir su costo en el proceso de fabricación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 14.** Diferentes tipos de estructuras celulares para la fabricación de paneles. **(A-a)** Célula hexagonal regular; **(A-b)** celda cuadrada; **(A-c)** célula triangular; célula columnar; **(B-a)** célula OX; **(B-b)** celda rectangular; **(B-c)** célula hexangular reentrante ; **(B-d)** panel asimétrico; **(C-a)** supercélula cuadrada construida a partir de una combinación de cuadrados y triángulos; **(C-b)** célula de Kagome; **(D-a)** célula de núcleo flexible ; **(D-b)** célula de doble flexión; **(D-c)** célula hexagonal reforzada; **(E-a)** celda cuadrada truncada; **(E-b)** célula tricircular; **(E-c)** célula tetracircular y **(E-d)** célula hexacircular. K y M denotan dos vectores arbitrarios en el espacio. (Zhang et al., 2015)

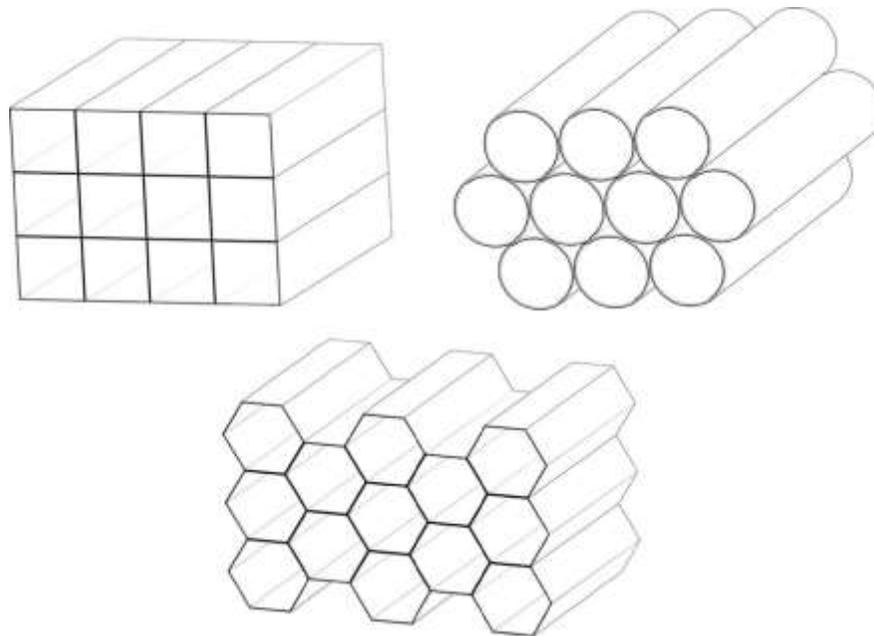
	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Según el memorando técnico de la NASA (Scheiman, 1981), se han realizado evaluaciones en túnel de viento con pantallas de diferentes tamaños de malla y panel con diferentes tipos de células, buscando disminuir las perturbaciones del flujo internamente. Se probaron varias combinaciones de estos simuladores, para determinar su efectividad en la reducción de los niveles de turbulencia axial y lateral usando micrófonos acústicos, para monitorear el ruido operacional generado en el conducto modelo. Las pantallas y los panales de abeja se han utilizado ampliamente en otros túneles como enderezadores de flujo y para la reducción de la turbulencia. La velocidad de la prueba varió en diferentes niveles entre 7,62 y 18,29 m/s examinando en más de 250 puntos, para mayor asertividad en los datos, mostrando una reducción en la repetitividad de la turbulencia axial del flujo. Con estos resultados es preciso considerar lo mencionado por el autor:

*“Con la introducción de estos manipuladores en la corriente de flujo se debe aumentar la potencia requerida debido a la resistencia adicional del flujo (caída de presión) al mover el fluido a través de los manipuladores, dado que la pérdida de presión es proporcional a la velocidad media del flujo de fluido, los manipuladores generalmente se instalan en la parte de baja velocidad del túnel de viento, aguas abajo de los últimos generadores de turbulencia”.*

El acondicionador de flujo tipo panel se puede definir entonces como un paso de conductos, tendido a lo largo del eje de la corriente de aire principal utilizado para suprimir los componentes de velocidad de cruce que se inician durante el movimiento de remolino en el flujo de aire. Las formas de sección transversal de los panales de abeja más comunes son los de celdas hexagonales, cuadradas y circulares, como se muestra en la Figura 15. Las pantallas se utilizan comúnmente para reducir el nivel de turbulencia de flujo libre y la falta de uniformidad de la velocidad media.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



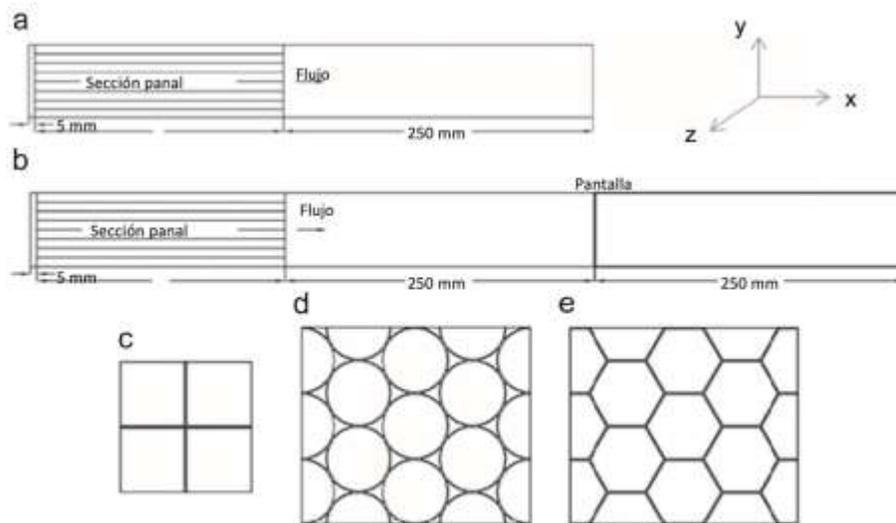
**Figura 15.** Esquema de diferentes secciones transversales en forma de panal que incluyen celdas cuadradas, celdas circulares y celdas hexagonales (Kulkarni, Sahoo, & D. Chavan, 2011)

La efectividad de las pantallas nido de abeja, para reducir el nivel de turbulencia, se ha estudiado mediante simulaciones del campo de flujo apoyándose en la dinámica de fluidos computacional (CFD) y utilizando funciones de pared escalable para modelar la turbulencia. Los resultados de estas simulaciones para el control de la turbulencia, utilizando panales de diferentes longitudes, formas celulares y pantallas de diferentes proporciones de área, se encuentran en concordancia con los resultados experimentales y teóricos disponibles en la literatura abierta (Kulkarni et al., 2011). Estas simulaciones han confirmado la metodología que se adoptará para el diseño del acondicionador de flujo. Por lo tanto, los parámetros de diseño validados se han utilizado para incorporar una estructura de diseño adecuada al acondicionador tipo nido de abeja.

Uno de los aspectos importantes de la investigación desarrollada por Vinayak Kulkarni (2011) fue desarrollar una metodología para introducir la turbulencia en el dominio del fluido y posteriormente, reducir los niveles de turbulencia con la adición de una combinación de panal y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

malla. El objetivo principal fue definir la disponibilidad comercial de formas y materiales estándar de sección transversal (hexágono, rectangular o circular). Para estandarizar el tamaño de todas las formas de la sección transversal, el diámetro hidráulico ( $d_h$ ) fue definido para los mismos caudales a través de los conductos. La longitud del panel ( $L$ ) se decide al realizar una simulación computacional manteniendo la relación de ( $L / d_h$ ) con la prueba de cada geometría (Figura 16). Los detalles de la metodología seguida para analizar el flujo a través del panel y las pantallas, están regulados dentro de las condiciones de uso del Instituto Indio de Tecnología de Guwahati (IITG).

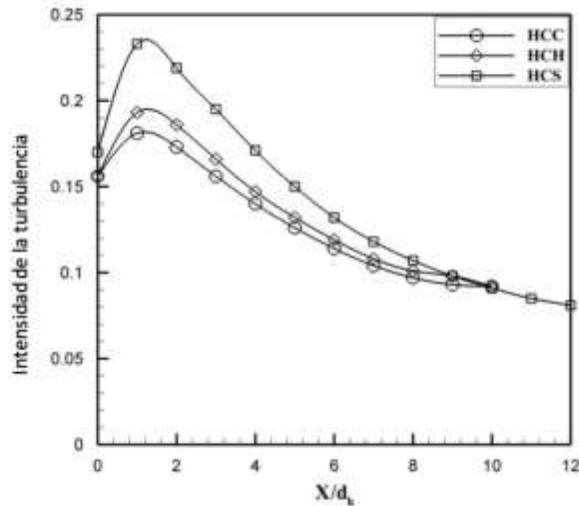


**Figura 16:** Geometría y prueba computacional para: (a) Panel solo; (b) panel con una pantalla; (c) celda cuadrada; (d) celda circular y (e) nido de abeja de celda hexagonal (Kulkarni et al., 2011)

La variación de la intensidad de la turbulencia a lo largo del panel se muestra en la Figura 17. Se observa que la variación para todas las configuraciones geométricas de nido de abeja es la misma. La grafica muestra claramente la tasa de disminución de la intensidad de la turbulencia a través de estructuras de panel. Se observa un aumento en la intensidad de la turbulencia mientras recorre el lapso inicial del panel, la razón principal de esto se debe a la entrada aleatoria de aire en el panel seguido por el impacto de partículas de aire en las paredes celulares, después de este

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

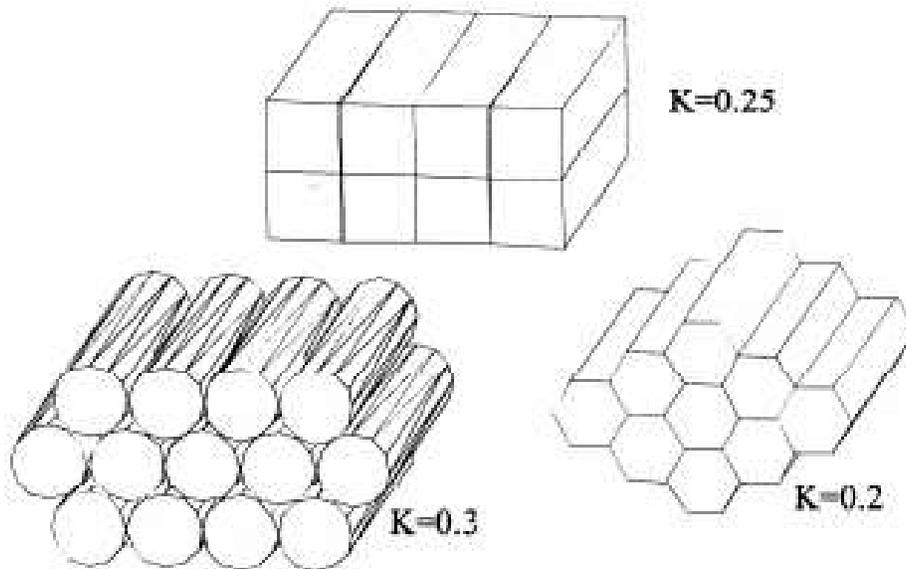
pequeño aumento de turbulencia, la intensidad disminuye rápidamente y luego el flujo se normaliza de manera efectiva. La mayor contribución para la reducción de la turbulencia a través del panel de abeja se debe a la frustración de los componentes de velocidad transversal por las paredes laterales del panel.



**Figura 17.** Variación de la intensidad de la turbulencia a lo largo del panel (Kulkarni et al., 2011)

En la Figura 18 se ve los diferentes tipos de formas que puede tener un acondicionador de flujo con sus respectivos coeficientes de pérdida (K) (Muñoz-Mejías & Álvarez-Valenzuela, 2012) para los conductos de sección circular el coeficiente de pérdida es de 0.3, para el de sección cuadrada es de 0.25 y para el hexagonal de 0.2

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 18:** Coeficientes de pérdida para diferentes geometrías del direccionador de flujo  
(Muñoz-Mejías & Álvarez-Valenzuela, 2012)

## 2.6 INSTRUMENTOS DE MEDIDA PARA LAS VARIABLES DEL PROCESO

### *Manómetro diferencial*

Es un instrumento de medición adecuado para aire o gases de bajas presiones positivas, negativas (vacío) o diferenciales. Este tipo de manómetro (Figura 19) puede utilizarse en medidas de presión de ventiladores y soplantes, velocidad del aire y caídas de presión en placas de orificio. Su rango de medida es de 0 a 200 mmH<sub>2</sub>O.

	<p>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 19.** Manómetro Diferencial marca Magnehelic. Fuente:Autores

### *Sensor de temperatura termopar*

También conocida como termocupla, es un instrumento de medición de uso frecuente en la industria con un extenso campo de aplicación, sirve como transductor de señales de temperatura en señales de voltaje. En la Figura 20 se puede observar una termocupla Tipo K que traduce temperaturas entre  $-180^{\circ}\text{C}$  y  $1370^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 20.** Sensor de temperatura Termopar. Fuente: autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### *Manómetro de tubo de Pitot*

Es un instrumento elemental para la medición de velocidades de flujo de gases, presiones y caudal en ductos o canales, tiene una combinación de tubo de Pitot para medir la presión total y una sonda de medición de la presión estática (Figura 21), sus rangos de medida son:

PRESION: 0,72 – 50 psi

VELOCIDAD: 1 – 80 m/s

CAUDAL: 0 – 99999 m<sup>3</sup>/min



**Figura 21.** Tubo de Pitot, marca Dwyer. Fuente: autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.7 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Para realizar el diseño de un acondicionador de flujo se deben conocer las medidas constructivas del ducto donde se va a instalar, para este caso la chimenea de salida de gases de atomización (Figura 23), diámetro, altura, espesor y área de flujo, esto aparece en la Tabla 4 presentada en los resultados.

### *Elección del tipo de geometría del acondicionador de flujo*

La forma geométrica de la estructura celular para el panel del alineador de flujo puede tener diversas formas (Zhang et al., 2015) todas ellas son derivadas de 3 principales por su forma regular básica siendo de secciones circulares, rectangulares y hexagonales, para cada una se tienen consideraciones de diseño especiales.

Uno de los factores importantes para elegir el tipo de sección a utilizar en el diseño del panel es la fricción que se genera internamente por sus características geométricas, para determinar cuál de las formas de célula genera menos pérdida de energía debido a la fricción se utilizó el método de Darcy-Weisbach, este relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida de presión) debido a la fricción a lo largo de una tubería.

$$hf = f \cdot \frac{L}{4R_h} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Siendo:

*hf*: Pérdidas de energía debido a la fricción [m]

*f*: Factor de Fricción

*L*: Longitud [m]

*V*: Velocidad media [m/s]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$R_h$ : Radio hidraulico [m]

Esta fórmula permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. Esta fórmula puede ser aplicada a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento). Para el radio hidráulico ( $R_h$ ) se define en la ecuación 3.

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\pi D_h^2}{4\pi D_h} = \frac{D_h}{4} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$D_h = 4R_h \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Siendo:

$P$ : Perímetro mojado [m]

$A$ : Área mojada [ $m^2$ ]

$D_h$ : Diametro hidraulico [m]

Para el factor de fricción ( $f$ ) se utilizó la ecuación propuesta por Karman-Prandtl (Ecuación 5), para calcular la pérdida de carga en una tubería debido a la fricción para un régimen turbulento. (Y. A. Cengel & Cimbala, 2006)

$$f = [2\text{Log}_{10}(R_e\sqrt{f}) - 0.8]^{-2} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$R_e = \frac{\rho D_h v}{\mu} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Siendo:

$f$ : Factor de fricción [adimensional]

$Re$ : número de Reynolds [adimensional]

$\mu$ : viscosidad dinámica [kg/(m.s)]

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$v$ : *velocidad del fluido* [m/s]

### *Consideraciones de diseño*

Para el diseño del acondicionador se tiene en cuenta el diámetro de la celda, el cual se mide con la circunferencia inscrita, se pueden realizar todos los cálculos de flujo con un modelo de circunferencias de igual diámetro, llevando consigo un error no mayor al 3%.

En primer lugar, se debe calcular el parámetro  $\beta_h$ , conocido como la porosidad o la razón entre el área abierta y el área de sección total del segmento

$$\beta_h = \frac{A_{flujo}}{A_{total}} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Las propiedades constructivas del panel para el acondicionador de flujo se resumen en densidad, tamaño de la celda y espesor de la pared. Para obtener estos valores se parte de un panel de dimensiones comerciales, verificando que cumpla todas las condiciones de flujo. Estos valores se encuentran en la tabla 5 en la sección de resultados.

El diámetro hidráulico de la celda se calcula a partir de la siguiente tabla (Figura 22), la cual está generalizada para secciones rectangulares. En el caso de este estudio, como la sección es cuadrada, el dato de entrada (que se encuentra en el eje de las abscisas) es igual al valor de la curva de intersección.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

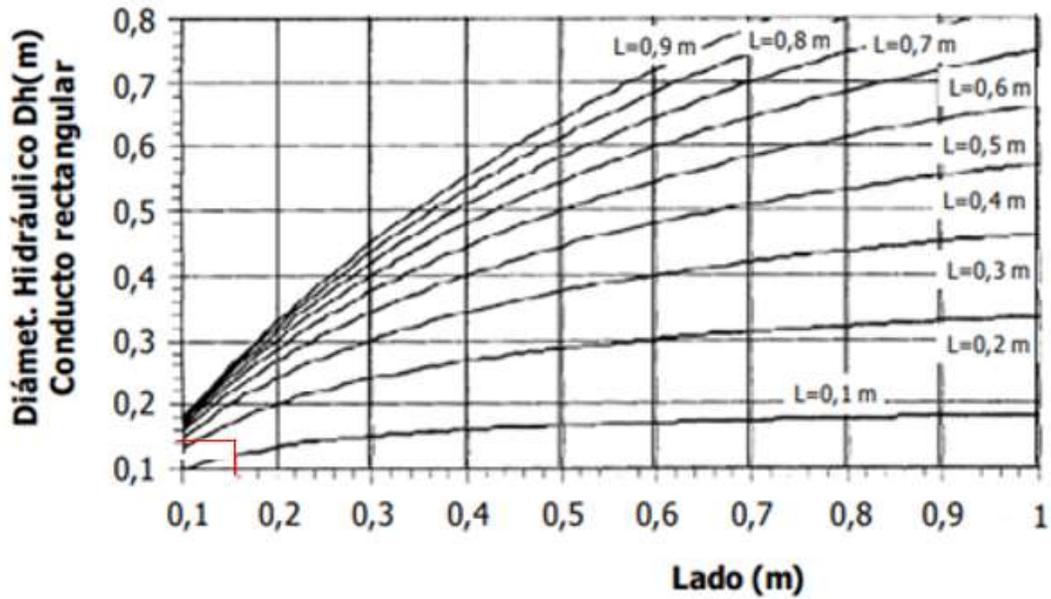


Figura 22. Tabla de cálculo para diámetros hidráulicos en secciones rectangulares. (“Conductos de aire,” n.d.)

La solidez de la celda es un parámetro importante en estructuras de panal de abeja. Se calcula con la siguiente relación:

$$\sigma_h = \frac{2l}{t} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

*l*: Longitud de uno de los lados del cuadrado

*t*: Espesor de lamina de la celda

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

Para realizar el diseño del acondicionador de flujo se deben conocer las medidas constructivas del ducto donde se va a instalar, en este caso la chimenea de salida de gases de atomización (ver Figura 23). Las medidas de la chimenea como diámetro, espesor de lámina y longitud se tomaron con flexómetro y se registraron en la tabla 4 de resultados y adicionalmente se verificaron en los planos existentes (Apéndice D, Figura 35).



**Figura 23.** Chimenea de salida de gases. Fuente: Autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para conocer las condiciones de operación actuales del equipo y las características del gas en la chimenea se utilizaron diferentes instrumentos de medición: para la velocidad y el caudal se utilizó el tubo de Pitot, para la temperatura la termocupla y las medidas de presión se tomaron con el manómetro de presión diferencial. Cada instrumento se menciona en detalle en el marco teórico donde se describen sus características y rangos de medida. Todas estas medidas se realizaron en la chimenea de la salida de los gases ejecutando varias corridas de las lecturas entregadas por los equipos y se tomaron como resultados los valores promedio de cada variable (tabla 3). La densidad del gas fue calculada con ayuda del solucionador de ecuaciones de ingeniería (EES) y los datos nominales como potencia eléctrica y velocidad angular **del motor del ventilador** se obtienen de las placas de características.

Luego de conocer los valores y características de las variables que intervienen en el proceso de secado por atomización se realizaron los cálculos para el diseño del acondicionador de flujo; para esto se tiene en cuenta el diámetro de la celda, el cual se mide con la circunferencia inscrita y se pueden ejecutar todos los cálculos de flujo con un modelo de circunferencias de igual diámetro, llevando consigo un error no mayor al 3%.

En primer lugar, se debe calcular el parámetro  $\beta_n$ , conocido como la porosidad o la razón entre el área abierta y el área de sección total del segmento (Ecuación 7).

Partiendo de un panel de dimensiones comerciales se verificó que cumpliera todas las condiciones de flujo. Primero se calcularon las pérdidas de energía debido a la fricción ( $h_f$ ) y el diámetro hidráulico de la celda, también se calculó el número de Reynolds y la solidez de la celda que determina que tan firme y resistente a vibraciones quedara después de instalado el acondicionador de flujo.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para definir el tipo de geometría que se utilizará en la fabricación del acondicionador de flujo se compararon los coeficientes de pérdida de cada forma y debido a que este no es el criterio de mayor peso y no existen diferencias muy representativas se utilizó una metodología pensando en la aplicación, el tamaño, montaje y el desplazamiento hacia el punto de acceso para la instalación dando una calificación a cada característica y la forma que tuviera una sumatoria de puntos mayor sería la elegida. Esta comparación se observa en la Tabla 9 y resuelve el tipo de geometría de celda.

El plano final del acondicionador de flujo se realizó con el software Solidwors para modelado mecánico y se muestra en la Figura 25.

El área de instalación del acondicionador de flujo (ver Figura 24) se determina según la teoría de (Mehta & Bradshaw, 1979), donde se recomienda hacerse a una distancia equivalente de 3 a 5 diámetros hidráulicos desde la fuente.

Finalmente se realizó la evaluación económica con 2 empresas especialistas en fabricaciones y montajes, la primera llamada Leguz proviene del área metropolitana del Valle de Aburrá, cuenta con más de 20 años de experiencia y cotizaron el proyecto a todo costo, la fabricación, transporte, alquiler de equipos e instalación. La segunda empresa es Soluciones Industriales, está ubicada en el oriente antioqueño, estos solo fabricaban e instalaban el acondicionador de flujo, los demás gastos los asumía la empresa Eurocerámica.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 MEDICIONES EN EL SITIO DE VARIABLES IMPORTANTES EN EL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Con el fin de conocer la existencia de flujo ciclónico en los ductos de la empresa Eurocerámica S.A. se evaluó la fuente de emisión correspondiente al Atomizador N°3, en donde se producen emisiones al ambiente como resultado de la actividad de la fabricación de pisos, paredes y porcelana sanitaria para la construcción obteniendo los siguientes resultados (Tabla 2).

**Tabla 2:** Resumen para presencia de Flujo Ciclónico en la fuente evaluada  
(Euroceramica & Servicios, 2015)

DUCTO O CHIMENEA	PRESENCIA DE FLUJO CICLÓNICO		ESTÁNDAR ADMISIBLE		CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD
	Ángulo Promedio	Desviación Estándar	Ángulo Promedio	Desviación Estándar	
ATOMIZADOR N°3	21,9583°	5,6714	≤ 20°	≤ 10	NO CUMPLE

Con base en los anteriores resultados y en las condiciones de los monitoreos realizados se puede observar que los valores obtenidos en la estimación de flujo ciclónico en la fuente evaluada NO CUMPLEN los valores límites admisibles para realizar un muestreo isocinético en condiciones normales, por lo que se origina la necesidad de realizar ajustes que garanticen la ausencia de este flujo como se indica en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. (Ministerio de Ambiente, Territorial, & Viceministerio de Ambiente, 2010)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para poder realizar el muestreo isocinético en condiciones normales se debe corregir la dirección del flujo de manera que el promedio de los ángulos sea  $\leq 20^\circ$ . Este trabajo se centra en esta condición ya que la desviación estándar cumple según lo establecido en la normatividad siendo  $\leq 10$ .

Para obtener los valores de las variables que intervienen en el proceso se realizaron mediciones en el sitio utilizando los instrumentos de medida como manómetro de presión diferencial, tubo pitot y termocupla. Los datos como presión dinámica, caudal y eficiencia se verificaron en la curva característica del ventilador (Apéndice C), estos valores se registran en la tabla 3 y muestran las condiciones actuales de operación del equipo. **El cálculo del número de Reynolds demuestra que el régimen de flujo es turbulento.**

**Tabla 3:** Variables de operación tomadas en sitio

Descripción	Valor	Unidades
Potencia eléctrica	132	kW
Velocidad angular	1200	RPM
Eficiencia del ventilador	0,81	-
Densidad del gas	0,2936	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica	0,0000115	Pa.s
Presión dinámica	275	Pa
Presión total	5400	Pa
Velocidad de flujo	24	m/s
Caudal	20,83	m <sup>3</sup> /s
Temperatura	80	°C
<b>Número de Reynolds</b>	<b>919095,65</b>	-

**En la tabla 4 se presentan las medidas constructivas de la chimenea de salida de gases de atomización, donde será instalado el acondicionador de flujo.**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 4:** Medidas de chimenea Atomizador 3.

MEDIDAS CONSTRUCTIVAS DE LA CHIMENEA ATOMIZADOR 3		
Descripción	Valor	Unidades
Geometría de la chimenea	Circular	--
Diámetro de la chimenea	1.500	mm
Altura de la chimenea	35	m
Espesor de lámina Chimenea	3,42	mm
Área de flujo	1.767.145	mm <sup>2</sup>

Las propiedades constructivas del acondicionador de flujo, como tamaño de celda y espesor de pared, se obtuvieron partiendo de paneles de dimensiones comerciales, verificando que se cumplieran todas las condiciones de flujo y se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5:** Parámetros constructivos del panel a usar.

PARÁMETROS CONSTRUCTIVOS DEL PANAL		
Descripción	Valor	Unidades
Diámetro del cilindro	1.500	mm
Área total	1.767.145	mm <sup>2</sup>
Porosidad del panel	0,975	-
Área del panel	44.998	mm <sup>2</sup>
Área de flujo	1.722.146	mm <sup>2</sup>
Relación de áreas	0,975	-
Tamaño de celda	150	mm
Espesor de pared de lámina	2	mm

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.2 CÁLCULOS DE DISEÑO Y PLANOS DEL ACONDICIONADOR DE FLUJO

En la tabla 6 se presentan los resultados de los coeficientes de pérdidas por fricción, para las tres secciones consideradas. De esta tabla se evidencia que las pérdidas debido a la fricción sección son similares para las tres secciones consideradas. Esto permite determinar que, para este caso en particular, las pérdidas no son un criterio con alto peso para considerar en la selección de las celdas en los paneles.

**Tabla 6:** Resultados de los coeficientes de pérdidas por fricción para los 3 tipos de secciones.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN PARA DIFERENTES SECCIONES DE CELDA		
Sección de celda	De [m]	<i>hf</i> [m]
Hexagonal	0,462	0,348
Circular	0,5	0,382
Cuadrada	0,48	0,365

En la Figura 15 se observan los diferentes tipos de formas que puede tener un acondicionador de flujo, siendo la forma hexagonal la más conveniente por tener la constante más baja, sin embargo, algo muy importante es la construcción de todos los paneles y la precisión que deben tener para que todos los hexágonos sean uniformes y no se dificulte a la hora del ensamble. El de forma circular sería el acondicionador más fácil de construir por su simple geometría, pero por otro lado es el que tiene el coeficiente de pérdida más alto. Por último, está el de forma cuadrada, este se encuentra en el intermedio de los dos factores analizados en construcción y en constante de pérdida por lo que lo hace más atractivo para la elección y comienza a resaltar una tendencia de preferencia para el diseño de este tipo.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para lograr definir qué tipo de sección de celda para el acondicionador de flujo resulta más conveniente se tienen en cuenta ciertas consideraciones especiales, debido a que en términos de pérdidas no se han encontrado grandes diferencias en su forma geométrica. Estas consideraciones se tuvieron en cuenta pensando en la aplicación, el tamaño y el desplazamiento hacia el punto de acceso para la instalación y fueron calificadas con una matriz de ponderación de 0 a 2, siendo 0 la más baja, 1 intermedio y 2 la más alta, y las podemos observar en la tabla 9. Esta clase de ponderación ha sido utilizada por otros autores en estudios anteriores, como metodología de selección para distintas alternativas de diseño (Velilla-Díaz, 2010).

**Tabla 9:** Selección del tipo de secciones de celdas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES SECCIONES DE CELDA			
Características	Hexagonal	Cuadrada	Circular
Es modular	2	2	0
Facilidad de fabricación	0	1	2
Facilidad para montaje y desmontaje	1	2	2
Bajo costo de Fabricación	2	2	1
Facilidad de mantenimiento	2	2	2
Recomendado por autores	1	2	0
Bajo coeficiente de pérdida	2	2	2
<b>TOTAL CALIFICACIÓN</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>9</b>

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, se opta por realizar el diseño con los paneles de celda cuadrada para el acondicionador de flujo.

En la Figura 24 se observa la chimenea del lavador de gases de atomización con el punto donde será instalado el acondicionador de flujo cumpliendo con los criterios de diseño recomendados

	<p>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

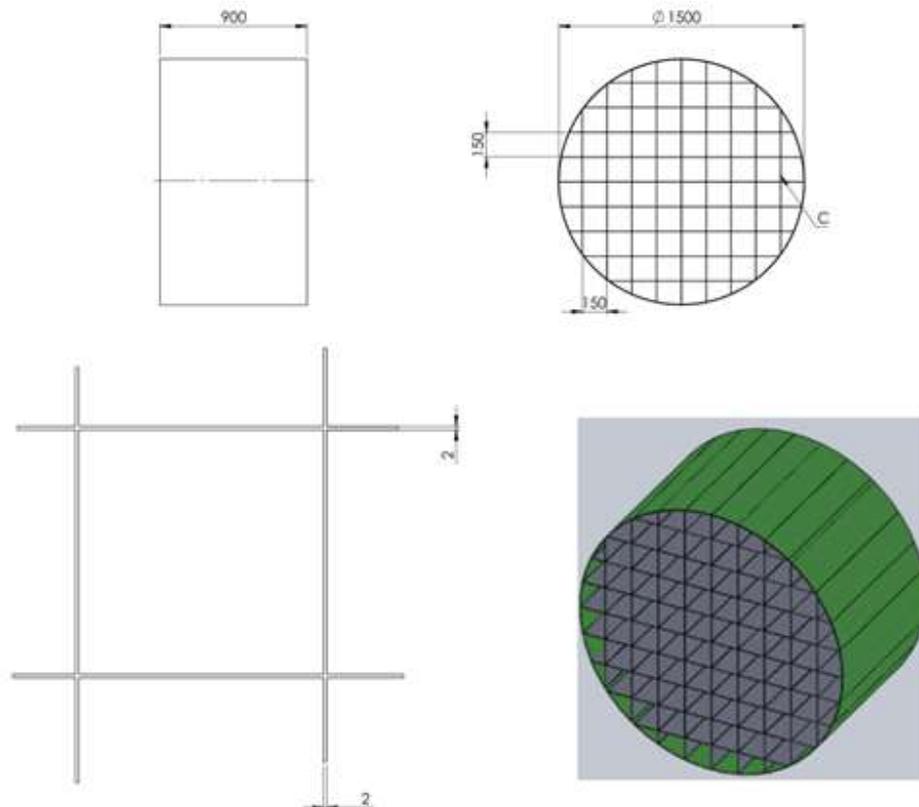
por (Mehta & Bradshaw, 1979) y en el apéndice D se detalla el plano de la chimenea con el lugar de instalación.



**Figura 24.** Área de instalación de acondicionador de flujo. Fuente: Autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 25 se muestra el diseño final del acondicionador de flujo tipo panel la para chimenea de gases de atomización con sus respectivas medidas. El plano completo se encuentra en el Apéndice F.



**Figura 25.** Acondicionador de flujo de celdas cuadradas. Fuente: autores

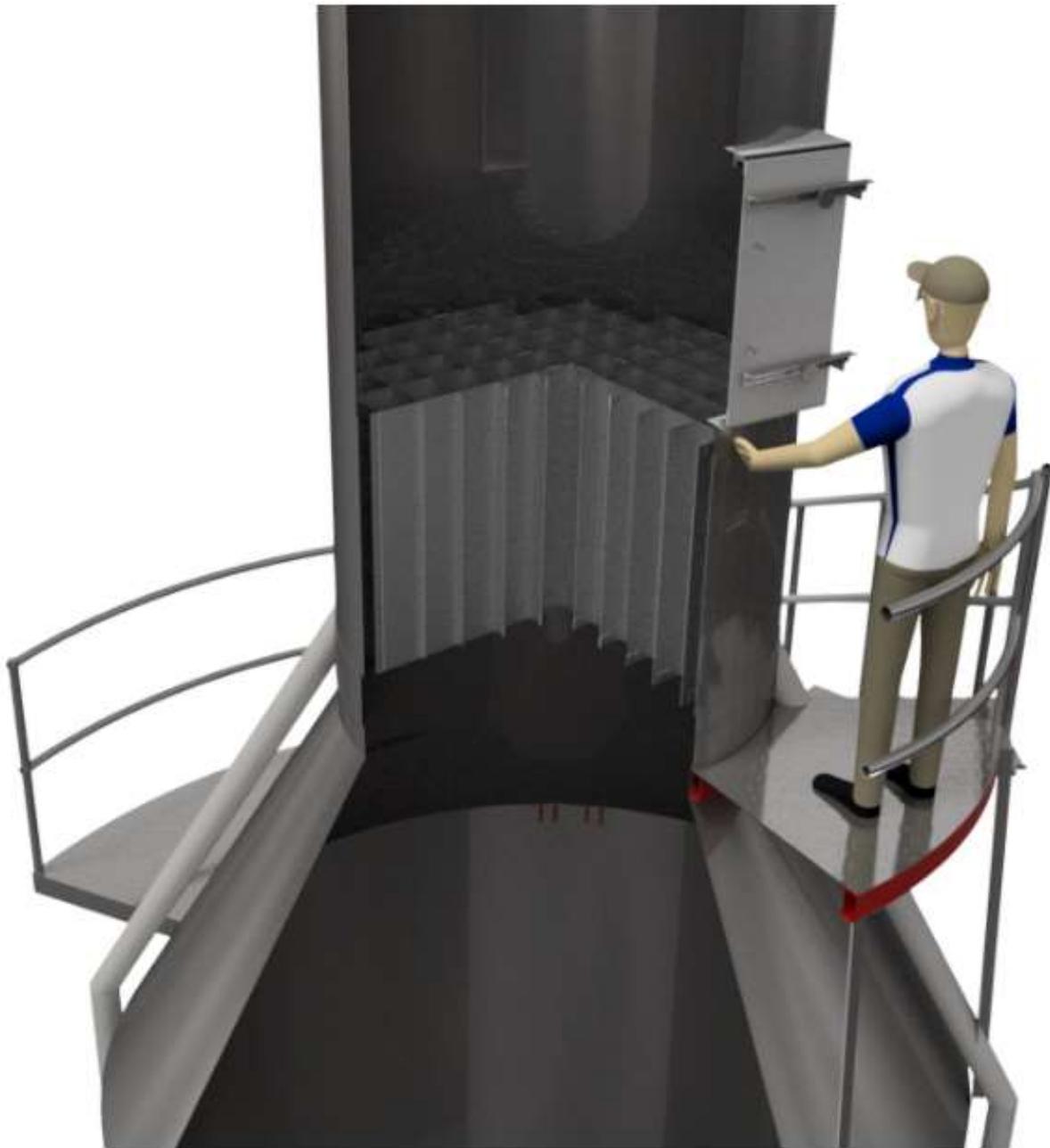
Para facilitar el montaje del acondicionador de flujo, que debe ser por secciones debido a su tamaño, se tiene la necesidad de fabricar una plataforma de acceso al área de instalación en la chimenea y una compuerta. Esta última también servirá para realizarle inspección y seguimiento a los paneles además de mantenimiento en caso de ser necesario. Las Figuras 26 y 27 muestran un diseño en 3D del montaje final del acondicionador de flujo con su respectiva plataforma y compuerta de inspección.

	<p>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 26.** Diseño de plataforma y compuerta de inspección para acondicionador de flujo. Fuente: autores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 27.** Instalación final de acondicionador de flujo en chimenea. Fuente: autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La siguiente tabla resume los valores de cada parámetro del acondicionador de flujo.

**Tabla 7.** Parámetros constructivos del acondicionador de flujo

PARÁMETROS DEL ACONDICIONADOR DE FLUJO			
Descripción	Símbolo	Valor	Unidades
Porosidad	$\beta_h$	0,975	-
Diámetro hidráulico	$D_h$	142	mm
Número de divisiones a lo largo	$\eta_z$	10	-
Solidez (densidad relativa)	$\sigma_h$	0,150	-
Longitud efectiva	L	900	mm

Como un criterio general de diseño establecido por las investigaciones y pruebas realizadas por Mehta (1979), la porosidad debe ser  $\geq 0.8$ . Adicionalmente la suma entre la solidez y la porosidad debe ser aproximadamente 1,1, lo cual se cumple para este diseño con un valor de 1,125. Mehta (1979) también menciona que “los componentes laterales de turbulencia, como los de velocidad media, son inhibidas por las células de nido de abeja y la aniquilación casi completa de la turbulencia se logra en una longitud equivalente de 5-10 diámetros celulares”. Por facilidad y comodidad en el espacio seleccionado para la futura instalación, se toma un factor de 6 para la longitud equivalente del acondicionador de flujo dando como resultado 900mm.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.3 COTIZACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DISEÑO

En el siguiente cuadro se detallan los costos de fabricación y montaje del proyecto. Se realizó la comparación con 2 empresas especialistas en fabricaciones y montajes. Una cotización la presentó la empresa Leguz de Medellín, compañía metalmecánica dedicada a prestar servicios de corte dobles, rolado punzado, maquinado de acero entre otros y la otra cotización la presentó la empresa Soluciones Industriales ubicada en Rionegro. Esta compañía se dedica a montajes y proyectos metalmecánicos. Las dos empresas cotizaron el proyecto a todo costo, desde la fabricación, transporte, alquiler de equipos e instalación y se pueden ver en detalle en el apéndice E.

**Tabla 8:** Análisis comparativo de oferentes

ANÁLISIS COMPARATIVO DE OFERENTES		
DESCRIPCION	LEGUZ	SOLUCIONES INDUSTRIALES
Suministro de acondicionador de flujo	\$3.896.000,00	\$5.200.000,00
Fabricación de escaleras y plataforma	\$5.862.000,00	\$7.850.000,00
Instalación de acondicionador de flujo con plataforma	\$9.842.000,00	\$3.200.000,00
TOTAL	\$19.600.000,00	\$16.250.000,00

La ingeniería se realizó como parte del proyecto de grado, por lo que no se destinó recurso adicional. Sin embargo, se valora el costo de la hora de ingeniero para el diseño tal como se muestra en la tabla 9.

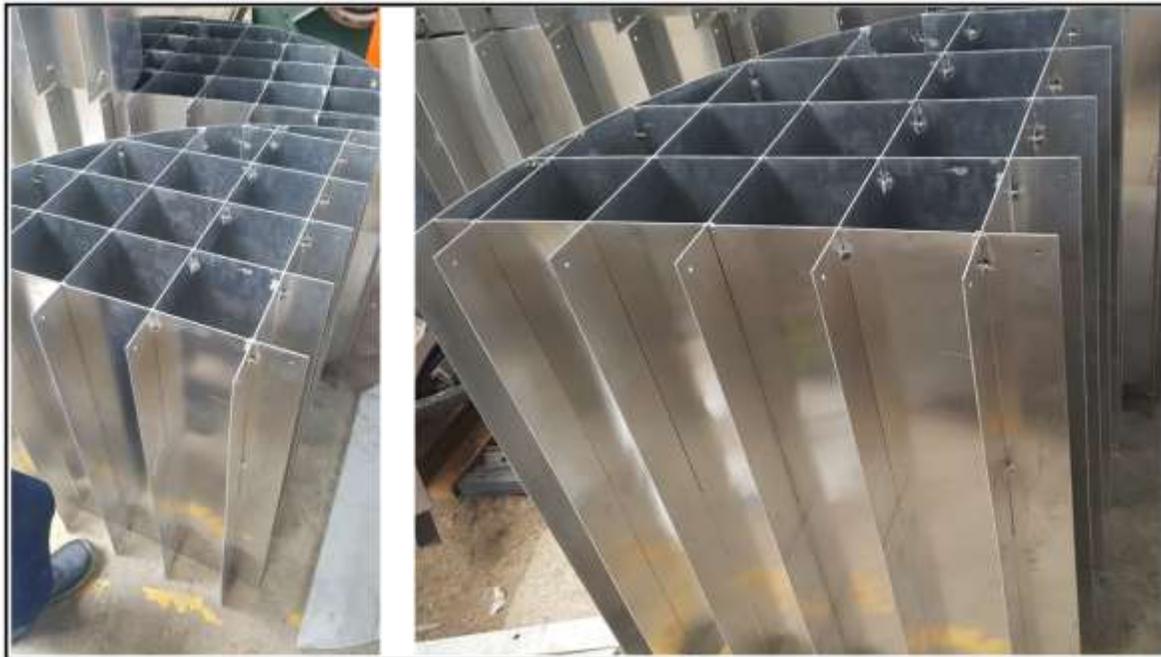
**Tabla 9:** Valoración del diseño

VALORACIÓN DEL DISEÑO			
DESCRIPCIÓN	HORAS ING.	VALOR HORA	SUBTOTAL
Estudio y valoración del estado del arte	120	60000	\$7.200.000,00
Toma de medidas y dimensionamiento físico	40	50000	\$2.000.000,00
Solución del modelo y sus cálculos	60	60000	\$3.600.000,00
Análisis de ofertas y selección de proveedor	20	50000	\$1.000.000,00
TOTAL COSTE DE DISEÑO			\$13.800.000,00

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

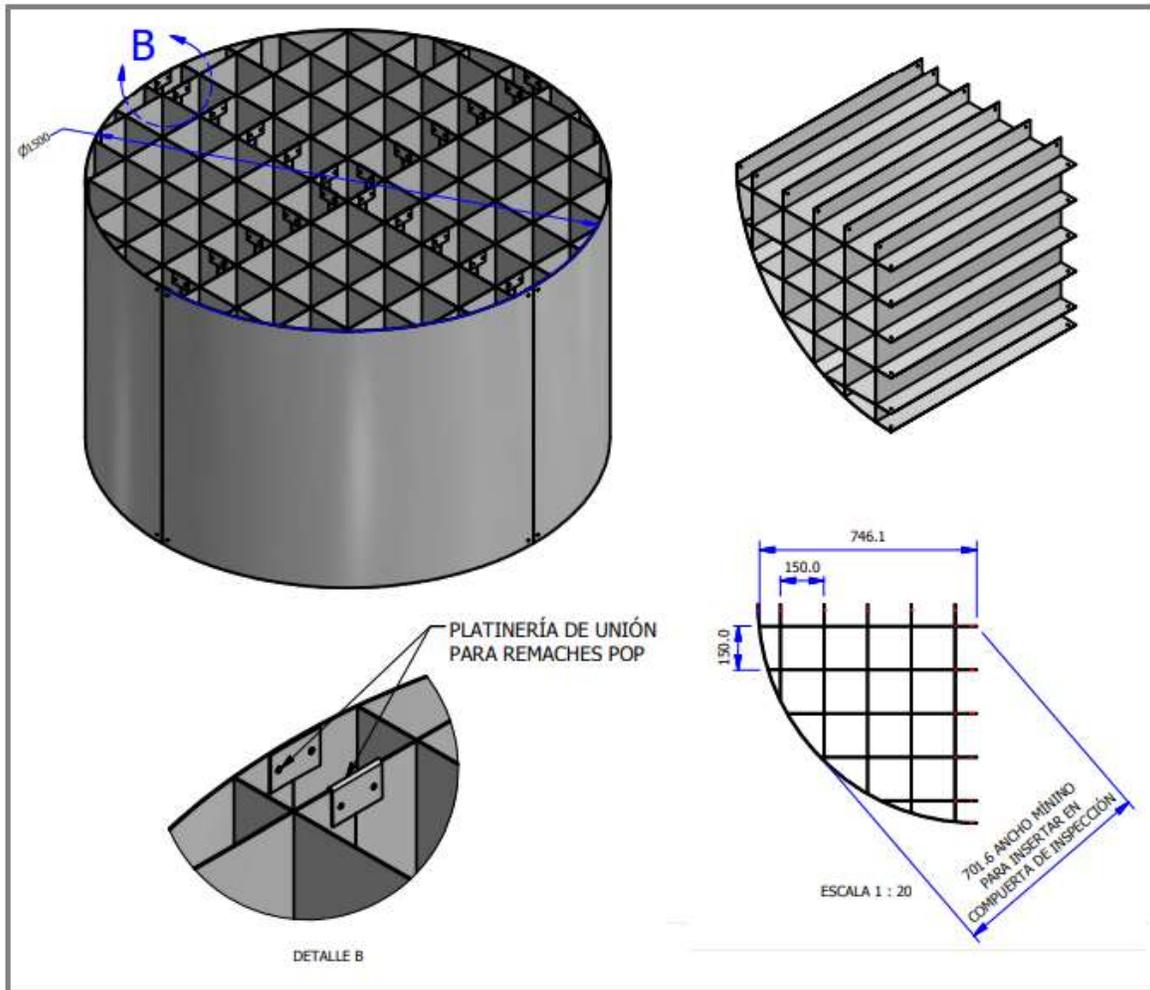
#### 4.4 INSTALACIÓN DEL ACONDICIONADOR DE FLUJO EN CHIMENA DE SALIDA DE GASES DE ATOMIZACIÓN.

Para facilitar el montaje del acondicionador de flujo en la chimenea fue necesario seccionarlo en 4 partes como lo muestra la Figura 28 debido a su gran longitud y diámetro constructivo, además estos 4 módulos que conforman el acondicionador debían entrar por la compuerta de inspección y mantenimiento que debía ser instalada previamente.



**Figura 28.** Acondicionador de flujo seccionado. Fuente: Autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 29.** Planos de corte para modular acondicionador de flujo. Fuente: Autores

Se realizaron los cortes en el acondicionador de flujo como los muestra la Figura 29 y se instaló en la chimenea de salida de gases la compuerta de inspección y plataforma de acceso (ver Figura 30).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 30.** Plataforma de acceso y compuerta de inspección. Fuente: Autores

Se instala el acondicionador de flujo en la chimenea (Figura 31). Posterior al montaje el equipo no ha mostrado cambios ni alteraciones en su funcionamiento, la presión, temperatura, velocidad y condiciones operantes relacionadas aumentaron en un 2,5% con respecto a las iniciales conservando la eficiencia del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 31.** Acondicionador de flujo de celdas cuadradas instalado en chimenea de salida de gases de atomización.

Fuente: Autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tras la instalación del acondicionador de flujo se programó una segunda medición para determinar si hay presencia de flujo ciclónico en la salida de la chimenea obteniendo los resultados de la tabla 9 .

**Tabla 10:** Resumen para presencia de Flujo Ciclónico en la fuente evaluada  
(Euroceramica & Servicios, 2019)

DUCTO O CHIMENEA	PRESENCIA DE FLUJO CICLÓNICO		ESTÁNDAR ADMISIBLE		CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD
	Ángulo Promedio	Desviación Estándar	Ángulo Promedio	Desviación Estándar	
ATOMIZADOR N°3	4,655°	2,417	≤ 20°	≤ 10	CUMPLE

El ángulo promedio es medido mediante un tren de muestreos conformado por un tubo Pitot tipo S tal y como lo indica el capítulo XVII de la Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 (Apéndice A). Adicional a los resultados donde se evidencia la disminución de flujo ciclónico, se observa en la salida de la chimenea el vapor de forma laminar (Figura 32).

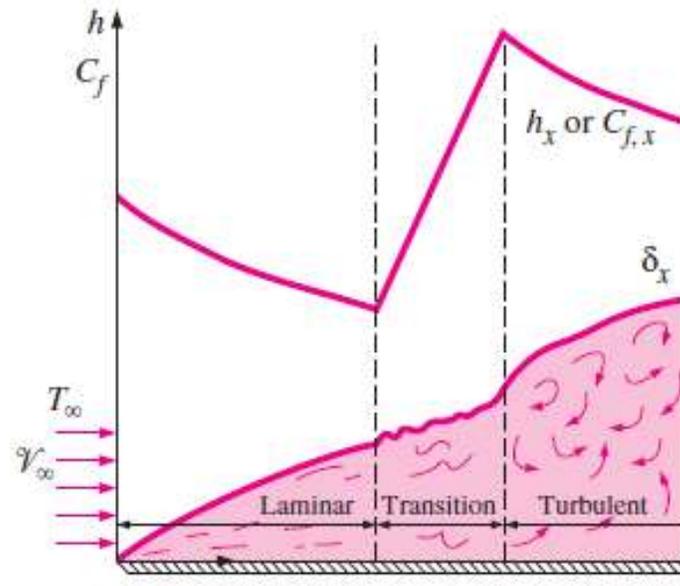
	<p>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 32.** Salida de vapor antes y después de instalar el acondicionador de flujo. Fuente: Autores

Lo que se observa en la Figura 32 lo explica de mejor manera Cengel (2001) en la Figura 33 donde puede evidenciarse que, luego de una longitud de comportamiento con régimen laminar, el fluido comienza una etapa de transición mientras cambia a flujo turbulento (foto a la derecha), mientras que la foto a la izquierda (antes) muestra que el flujo sale turbulento de la chimena.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 33.** Transición de flujo de laminar a turbulento.(Y. A. A. J. G. Cengel, 2001)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- El diseño propuesto cumple con los criterios generales para este tipo de dispositivo. No solo es indispensable el definir parámetros como tamaños, relaciones de forma, velocidades, entre otros, sino también parámetros que aseguren las condiciones de trabajo deseadas, las cuales pretenden un flujo paralelo, continuo y bajos niveles de turbulencia en la salida de la chimenea.
- La elección de la geometría del acondicionador de flujo es un criterio muy importante, puesto que es el encargado de corregir el flujo dentro de la chimenea, convirtiéndose así en un requerimiento de alto estudio y conocimiento a la hora de diseñar un acondicionador. Por esto, y además por ser una parte importante del coste final debido a la complejidad de construcción, su elección acompaña en todo momento una gran implicación en el diseño.
- Se deben conocer y tener claras las condiciones actuales de operación del ventilador en el proceso de atomización ya que es el punto de partida y de vital importancia para saber los cambios y modificaciones que implicara la instalación del acondicionador de flujo.
- A pesar de los avances tecnológicos y el desarrollo computacional para analizar el comportamiento de los fluidos, aún es necesario emplear métodos experimentales. Los requerimientos para hacer pruebas en la mecánica de fluidos se han incrementado significativamente en los últimos años y cada vez es más grande el reto, el punto es que se debe centrar el diseño en mejorar las condiciones de flujo. Para esto existen varios puntos clave que ayudan a mejorarlo y muchos autores han brindado grandes aportes

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

gracias a su experiencia, por tanto, resulta conveniente tomar dichas recomendaciones y a partir de ellas generar nuevas propuestas mejoras y nuevos diseños.

### 5.1 RECOMENDACIONES

- El acondicionador de flujo tipo panel se debe ubicar a 2 diámetros hidráulicos de la salida del abatidor para dar un tiempo de preparación al flujo y tener espacio disponible en caso de ser necesario un montaje de pantallas.
- **Se recomienda que la empresa haga una evaluación de operación del equipo por si es necesario repotenciar el ventilador.**
- Dado que las condiciones de humedad y de material particulado en la chimenea son altas (26%) se requerirá formular un estándar de limpieza e inspección, el cual se definirá cuando el equipo esté montado de modo que se pueda conocer la tasa de ensuciamiento del acondicionador; para esta actividad se prevé una plataforma y una compuerta de inspección montadas en el abatidor (ver Figura 26).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6. REFERENCIAS

---

- Almeida, O. De, Miranda, F. C. De, & Ferreira - Neto, O. (2018). *Low Subsonic Wind Tunnel – Design and Construction*. 1–20. <https://doi.org/10.5028/jatm.v10.716>
- Ambiente, M. DE, & Territorial, D. *Resolución 909 de 2008*. , (2008).
- Ambiente, M. de, Territorial, V. Y. D., & Viceministerio de Ambiente. *PROTOCOLO PARA EL CONTROL Y ATMOSFÉRICA GENERADA POR FUENTES*. , (2010).
- Cengel, Y. A. A. J. G. (2001). *Transferencia de calor y masa 4ta edición*.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones* (R. A. del B. Alayón, Ed.). Mexico D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Changzhou, Y. (n.d.). Secado por atomización centrifugo.
- Conductos de aire. (n.d.). Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4176/fichero/CAPITULOS%252FCAPÍTULO+2.pdf>
- Echeverri-Londoño, C. (2006). *Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas*.
- Euroceramica, S. A. S., & Servicios, Y. S. A. S. (2015). *EVALUACIÓN DE FLUJO CILCONICO EN FUENTES FIJAS*.
- Ideam, E.-A. *Resolución 0935 de 2011 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM*. , (2011).
- KOuazzane, & R. Benhadj. (2006). Una investigación experimental y el diseño de los dispositivos de flujo acondicionado para fl ori fi cemetering. *Actas de La Institución de Ingenieros Mecánicos de La Parte C Journal of Mechanical Engineering Science 1989-1996 (Vols 203-210) · Marzo 2007, 1996*. <https://doi.org/10.1243 / 0954406JMES382>
- Kulkarni, V., Sahoo, N., & D. Chavan, S. (2011). Simulation of honeycomb–screen combinations for turbulence management in a subsonic wind tunnel. In *Journal of Wind Engineering and*

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Industrial Aerodynamics - J WIND ENG IND AERODYN* (Vol. 99).  
<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2010.10.006>
- Mehta, R. D., & Bradshaw, P. (1979). *Design rules for small low speed wind tunnels* (pp. 442–449). pp. 442–449. London: Aeronautical Journal.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia. (2017). Noma de calidad del aire. *01 Nov 2017*, p. 11. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resolución+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta edic; P. M. G. Rosas, Ed.). México D.F.: Pearson.
- Muñoz-Mejías, A., & Álvarez-Valenzuela, M. (2012). *Autor: Alberto Muñoz Mejías Tutor: Marco Antonio Álvarez Valenzuela Octubre, 2012.*
- Nebot, J. V. A., Pastor, C. V., Bellido, G. M. B., & J. Serrano Mira. (2016). Estudio de los factores de transmisión de la variabilidad dimensional en la fabricación de baldosas cerámicas. *XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, 684–691.
- Scheiman, J. (1981). Considerations for the installation of Honeycomb and Screens To Reduce Wind-Tunnel turbulence. *NASA, NASA Techn*(August 1981).
- Velilla-Díaz, W. D. M. A. O. P. A. (2010). Metodología del diseño conceptual para la selección de un sistema manipulador de tambores para camiones de carga. *Prospect*, 8, 53–62.
- Zhang, Q., Yang, X., Li, P., & Huang, G. (2015). Bioinspired engineering of honeycomb structure – Using nature to inspire human innovation. *JOURNAL OF PROGRESS IN MATERIALS SCIENCE*, 74, 332–400. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.05.001>
- Almeida, O. De, Miranda, F. C. De, & Ferreira - Neto, O. (2018). *Low Subsonic Wind Tunnel – Design and Construction*. 1–20. <https://doi.org/10.5028/jatm.v10.716>
- Ambiente, M. DE, & Territorial, D. *Resolución 909 de 2008.* , (2008).
- Ambiente, M. de, Territorial, V. Y. D., & Viceministerio de Ambiente. *PROTOCOLO PARA EL CONTROL Y ATMOSFÉRICA GENERADA POR FUENTES.* , (2010).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cengel, Y. A. A. J. G. (2001). *Transferencia de calor y masa 4ta edición*.

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones* (R. A. del B. Alayón, Ed.). Mexico D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Changzhou, Y. (n.d.). Secado por atomización centrifugo.

Conductos de aire. (n.d.). Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4176/fichero/CAPITULOS%252FCAPÍTULO+2.pdf>

Echeverri-Londoño, C. (2006). *Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas*.

Euroceramica, S. A. S., & Servicios, Y. S. A. S. (2015). *EVALUACIÓN DE FLUJO CILCONICO EN FUENTES FIJAS*.

Ideam, E.-A. *Resolución 0935 de 2011 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM.*, (2011).

KOuazzane, & R. Benhadj. (2006). Una investigación experimental y el diseño de los dispositivos de flujo acondicionado para fl ori fi cemetering. *Actas de La Institución de Ingenieros Mecánicos de La Parte C Journal of Mechanical Engineering Science 1989-1996 (Vols 203-210) · Marzo 2007, 1996*. <https://doi.org/10.1243 / 0954406JMES382>

Kulkarni, V., Sahoo, N., & D. Chavan, S. (2011). Simulation of honeycomb–screen combinations for turbulence management in a subsonic wind tunnel. In *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics - J WIND ENG IND AERODYN* (Vol. 99). <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2010.10.006>

Mehta, R. D., & Bradshaw, P. (1979). *Design rules for small low speed wind tunnels* (pp. 442–449). pp. 442–449. London: Aeronautical Journal.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia. (2017). Noma de calidad del aire. *01 Nov 2017*, p. 11. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resolución+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta edic; P. M. G. Rosas, Ed.). México D.F.: Pearson.

Muñoz-Mejías, A., & Álvarez-Valenzuela, M. (2012). *Autor: Alberto Muñoz Mejías Tutor: Marco Antonio Álvarez Valenzuela Octubre, 2012.*

Nebot, J. V. A., Pastor, C. V., Bellido, G. M. B., & J. Serrano Mira. (2016). Estudio de los factores de transmisión de la variabilidad dimensional en la fabricación de baldosas cerámicas. *XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, 684–691.

Scheiman, J. (1981). Considerations for the installation of Honeycomb and Screens To Reduce Wind-Tunnel turbulence. *NASA, NASA Techn*(August 1981).

Velilla-Diaz, W. D. M. A. O. P. A. (2010). Metodología del diseño conceptual para la selección de un sistema manipulador de tambores para camiones de carga. *Prospect*, 8, 53–62.

Zhang, Q., Yang, X., Li, P., & Huang, G. (2015). Bioinspired engineering of honeycomb structure – Using nature to inspire human innovation. *JOURNAL OF PROGRESS IN MATERIALS SCIENCE*, 74, 332–400. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.05.001>

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# APÉNDICES

---

## 6.1 APENDICE A: Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008

La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas. Las disposiciones de esta resolución se establecen para todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, instalaciones de incineración y hornos crematorios (Resolución 909, 2008)

A continuación, se hace un esbozo de los apartados de la norma que aplican a este trabajo.

En el capítulo II de la norma se presenta la tabla de estándares de emisión admisibles de contaminantes (Tabla 1). En este trabajo de grado se trabaja sobre un flujo de gas con Material particulado (MP) para el cual establece un límite de emisión de material particulado contaminante de 250 mg/m<sup>3</sup> de gas descargado a la atmosfera.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 11.** Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales (Resolución 909, 2008)

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m <sup>3</sup> )	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material Particulado (MP)	≤ 0,5	250	150
	> 0,5	150	50
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	TODOS	550	500
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	TODOS	550	500
Compuestos de Fluor Inorgánico (HF)	TODOS	8	
Compuestos de Cloro Inorgánico (HCl)	TODOS	40	
Hidrocarburos Totales (HC <sub>T</sub> )	TODOS	50	
Dioxinas y Furanos	TODOS	0,5*	
Neblina Ácida o Trióxido de Azufre expresados como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	TODOS	150	
Plomo (Pb)	TODOS	1	
Cadmio (Cd) y sus compuestos	TODOS	1	
Cobre (Cu) y sus compuestos	TODOS	8	

En el *Artículo 6. Actividades industriales y contaminantes a monitorear por actividad industrial*, de La Resolución Número 909 del 5 de junio (2008) se establecen las actividades industriales y los contaminantes que se deben monitorear. Para el caso de este trabajo aplica actividad industrial Calcinación y secado en industrias de minerales y establece el monitoreo de los siguientes procesos e instalaciones:

Calcinadores y secadores en plantas que procesen o produzcan cualquiera de los siguientes minerales, sus concentrados o cualquier mezcla en la que la mayor parte sea de uno de los siguientes minerales o una combinación de estos: alúmina, arcilla de bola, bentonita, diatomita, feldespato, arcilla de fuego, tierra de batán, yeso, arena industrial, caolín, agregados ligeros, compuestos de magnesio, gránulos para techos, talco, dióxido de titanio y vermiculita. Para la industria del ladrillo y los productos relacionados con arcilla, sólo se incluyen los calcinadores y secadores de la materia prima antes de cocinar el ladrillo. (Capítulo II, Artículo 6)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CAPÍTULO X. ESTÁNDARES DE EMISIÓN ADMISIBLES DE CONTAMINANTES AL AIRE PARA LAS INDUSTRIAS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CERÁMICA REFRACTARIA, NO REFRACTARIA Y DE ARCILLA

**Artículo 30. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** En la Tabla 24 se establecen los estándares de emisión admisibles para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga de las industrias para la fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

**Tabla 12.** Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 oC, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

	Estándares de emisión admisibles (mg/m <sup>3</sup> )		
	MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Sólido	250	550	550
Líquido	250	550	550
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	550

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Artículo 32. Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** En la Tabla 26 se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga de las industrias para la fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

**Tabla 13.** Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 oC, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

<p style="text-align: center;">▪ Combustible</p>	<p style="text-align: center;">Estándares de emisión adm isibles de contaminantes peligrosos (mg/m<sup>3</sup>)</p>	
	HCl	HF
Todos	40	8

Parágrafo: La autoridad ambiental competente solicitará el cumplimiento de los contaminantes peligrosos establecidos en la Tabla 26 a menos que el industrial demuestre que el contenido de flúor y cloro de las materias primas utilizadas en el proceso no genera los contaminantes allí señalados.

**Artículo 33. Temperatura de los gases emitidos por las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** La temperatura de los gases emitidos por las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria,

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

no refractaria y de arcilla para hornos continuos no debe exceder 180 °C. Para el caso de hornos discontinuos la temperatura no debe exceder 250 °C durante la etapa de máximo consumo de combustible.

**Artículo 34. Características de las mediciones directas en hornos en industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.** Las mediciones directas en hornos discontinuos de industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, debe realizarse de acuerdo a lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Para efectos de la medición, el industrial debe informar a la autoridad ambiental competente, la fecha y hora en la que inició el proceso de cocción, así como la carga de material, el consumo y características del combustible y de las materias primas. (pag. 17 y 18, 2008)

El capítulo XVII de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial se determina las características de las chimeneas para la disposición de los gases del proceso industrial y las torres y plataformas para los muestreos, la norma se cita textualmente para evitar errores en su interpretación:

CAPÍTULO XVII. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE DESCARGA DE LA EMISIÓN POR FUENTES FIJAS

**Artículo 69. Obligatoriedad de construcción de un ducto o chimenea.** Toda actividad que realice descargas de contaminantes a la atmósfera debe contar con un ducto o chimenea cuya altura y ubicación favorezca la dispersión de éstos al aire, cumpliendo con los estándares de emisión que le son aplicables.

**Artículo 70. Determinación de la altura del punto de descarga.** La altura del punto de descarga (chimenea o ducto) se determinará con base en la altura o el ancho proyectado

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de las estructuras cercanas, entre otros criterios, siguiendo las Buenas Prácticas de Ingeniería tanto para instalaciones existentes como nuevas, establecidas en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. En todo caso la altura mínima debe garantizar la dispersión de los contaminantes.

**Artículo 71. Localización del sitio de muestreo.** Todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, las actividades de incineración de residuos y los hornos crematorios que realicen descargas de contaminantes a la atmósfera deben contar con un sistema de extracción localizada, chimenea, plataforma y puertos de muestreo que permitan realizar la medición directa y demostrar el cumplimiento normativo.

La altura de la chimenea, diámetro y localización de los puertos de muestreo deben construirse de acuerdo a los métodos y procedimientos adoptados en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. En todo caso, aquellas actividades, en las cuales la ubicación del punto de descarga, debido a las condiciones físicas de la fuente (inclinación, área superficial de la fuente, seguridad de acceso) imposibiliten la medición directa, podrán estimar sus emisiones a través de balance de masas o finalmente por medio de la utilización de factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), de acuerdo con lo establecido en el Artículo 110 del Decreto 948 de 1995. (pag. 25, 2008)

El capítulo XVIII de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial se establecen los métodos para realizar la medición de material particulado en el flujo de gas que se emite a la atmosfera:

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## CAPÍTULO XVIII. MEDICIÓN DE EMISIONES PARA FUENTES FIJAS

**Artículo 72. Métodos de medición de referencia para fuentes fijas.** El Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial adoptará a nivel nacional el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación

Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Dicho protocolo contendrá los métodos de medición de referencia para fuentes fijas, los procedimientos de evaluación de emisiones, la realización de estudios de emisiones atmosféricas y vigilancia y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas.

Las mediciones de las emisiones atmosféricas deben estar de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

**Artículo 73. Métodos alternativos para realizar la medición en ductos y chimeneas.** Cuando no sea posible realizar el estudio de emisión por cualquiera de los métodos de referencia establecidos en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, o cuando se facilite la aplicación de un método alternativo, la industria podrá solicitar a la autoridad ambiental competente la autorización para el empleo de un método alternativo de acuerdo a lo establecido en dicho protocolo.

**Artículo 74. Realización de mediciones directas.** Todo encargado de realizar la toma de muestras, análisis de laboratorio y medición directa en campo de emisiones para verificar el cumplimiento de los estándares admisibles de contaminantes al aire, debe estar acreditado de conformidad con lo establecido en el Decreto 1600 de 1994, modificado por el Decreto 2570 de 2006 y la Resolución 0292 de 2006 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales o las normas que los modifiquen,

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

adicionen o sustituyan. Se aceptarán los resultados de análisis que provengan de laboratorios extranjeros acreditados por otro organismo de acreditación.

**Artículo 75. Medición continua de las emisiones.** El Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, debe determinar las condiciones a partir de las cuales las autoridades ambientales competentes podrán exigir mediciones continuas de emisiones contaminantes. Las condiciones deben incluir por lo menos la carga de los contaminantes emitidos, la cercanía con el estándar de emisión admisible de los contaminantes y la distancia entre la fuente y las poblaciones cercanas.

Parágrafo: Para la definición de poblaciones cercanas, se debe aplicar lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas referente a estructuras cercanas.

**Artículo 76. Cumplimiento de estándares.** El cumplimiento de los estándares de emisión admisibles de contaminantes se debe determinar mediante medición directa en cada fuente individual, para lo cual la fuente fija debe contar con un punto de descarga, de acuerdo a lo establecido en el CAPÍTULO XVII de la presente resolución. De no contar con punto de medición directa, la verificación del cumplimiento se realizará teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de balance de masas o factores de emisión.

Parágrafo Primero: Los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire que se establecen en la presente resolución no serán aplicables durante los periodos de arranque y parada de las instalaciones o equipos utilizados en la actividad.

Parágrafo Segundo: Los responsables de las actividades industriales, los equipos de combustión externa, las actividades de incineración de residuos y los hornos

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

crematorios deben informar a la autoridad ambiental competente la duración de los periodos de arranque y parada de las instalaciones o equipos de los procesos.

**Artículo 77. Realización de estudios mediante medición de emisiones.** Los estudios de emisiones realizados para establecer el cumplimiento de los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire deben cumplir con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. (pag. 25 y 26, 2008)

El capítulo XXI de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial se determina la sanción que debe cumplir la empresa en caso de violación o incumplimiento de las disposiciones contempladas en dicha norma:

#### CAPÍTULO XXI. DISPOSICIONES FINALES

Artículo 100. Sanciones. En caso de violación a las disposiciones contempladas en la presente Resolución, las autoridades ambientales competentes, impondrán las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar, de conformidad con el Artículo 85 de la Ley 99 de 1993 o las que la modifiquen o sustituyan. (pag. 31, 2008)

Finalmente en el *anexo 1 de La Resolución Número 909 del 5 de junio de 2008* del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial se definen ciertos conceptos que pueden ser fundamentales para su comprensión

#### ANEXO 1. DEFINICIONES

**Concentración de una Sustancia en el Aire:** Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Condiciones de Referencia:** Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 oC y 760 mm de mercurio.

**Contaminantes:** Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas.

**Contaminación Atmosférica:** Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

**Emisión:** Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.

**Fuente Fija:** Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aún cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

**Fuente Fija Puntual:** Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

**Instalación Existente:** Aquella instalación que se encuentre construida y operando a la entrada en vigencia de la presente resolución.

**Método de Referencia:** Es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante y debe realizarse bajo estrictos parámetros técnicos.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Norma de Emisión:** Es el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes, establecido por la Autoridad ambiental competente, con el objeto de cumplir la norma de calidad del aire.

**Sistema de Control de Emisiones:** Conjunto ordenado de equipos, elementos o maquinaria que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados medibles y verificables de reducción o mejoramiento de las emisiones atmosféricas generadas en un proceso productivo. (pag. 33, 34, 35 y 36. 2008)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6.2 APENDICE B: Resolución número 2254 de 1 de noviembre de 2017

Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones para empresas nuevas con vigencias del 1 de enero de 2018 y el 1 de enero de 2030 así:

CAPÍTULO I. Objeto. Ámbito de aplicación y niveles máximos permisibles de contaminación en el aire.

En el artículo 2 de la norma se presenta la tabla de estándares de emisión admisibles de contaminantes (Tabla 1). En este proyecto de grado se trabaja sobre un flujo de gas con material particulado (MP) para el cual establece un límite de emisión de MP contaminante de 50 mg/m<sup>3</sup> de gas descargado a la atmosfera según la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 la cual aplica para las empresas existentes.

La Resolución 2254 que se analiza en este capítulo rige las empresas nuevas a partir del 1 de enero de 2018, decretando en el artículo 3 un límite de 30 mg/m<sup>3</sup> de MP contaminante a partir del 1 de enero de 2030 para las empresas fundadas desde 2018 (Tabla No.2). Los contaminantes que no están en la tabla 14 conservaran los valores establecidos de la tabla 13. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia, 2017)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 14.** Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire

Contaminante	Nivel máximo Permissible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de Exposición
PM <sub>10</sub>	50	Anual
	100	24 horas
PM <sub>2.5</sub>	25	Anual
	50	24 horas
SO <sub>2</sub>	50	24 horas
	100	1 hora
NO <sub>2</sub>	60	Anual
	200	1 hora
O <sub>3</sub>	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

**Tabla 15.** Niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire para el año 2030

Contaminante	Nivel máximo Permissible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de Exposición
PM <sub>10</sub>	30	Anual
PM <sub>2.5</sub>	15	Anual
SO <sub>2</sub>	20	24 horas
NO <sub>2</sub>	40	Anual

En el artículo 4 de la norma se presenta la tabla de estándares de emisión admisibles de contaminantes tóxicos del aire (Tabla 15).

 <b>ITM</b> Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 16.** Niveles máximos permisibles de contaminantes tóxicos en el aire

Contaminante tóxicos	Nivel Máximo Permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de Exposición
Benceno	5	Anual
Plomo y sus compuestos	0,5	Anual
Cadmio	0,005	Anual
Mercurio Inorgánico (vapores)	1	Anual
Tolueno	260	1 semana
	1000	30 minutos
Níquel y sus compuestos	0,180	Anual
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos expresados como Benzo (a) pireno	0,001	Anual

La norma establece en los artículos 5, 6, 7 y 8 los mecanismos para la actualización del estado, la monitorización de los niveles de contaminación y alerta y los procedimientos para el monitoreo y seguimiento, además como determinar alerta y emergencia.

En el capítulo II la norma establece y determina los niveles y los rangos de prevención alerta y emergencia.

En el capítulo III, artículo 15 la norma establece la elaboración de programas de reducción de la contaminación del aire.

En el capítulo IV, artículo 18 la norma establece el índice de calidad del aire (ICA) y finalmente en el capítulo V la norma contempla la divulgación socialización y derogatorias a que da lugar la presente resolución. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia, 2017)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6.3 APENDICE C: Curva característica del ventilador en el proceso de atomización

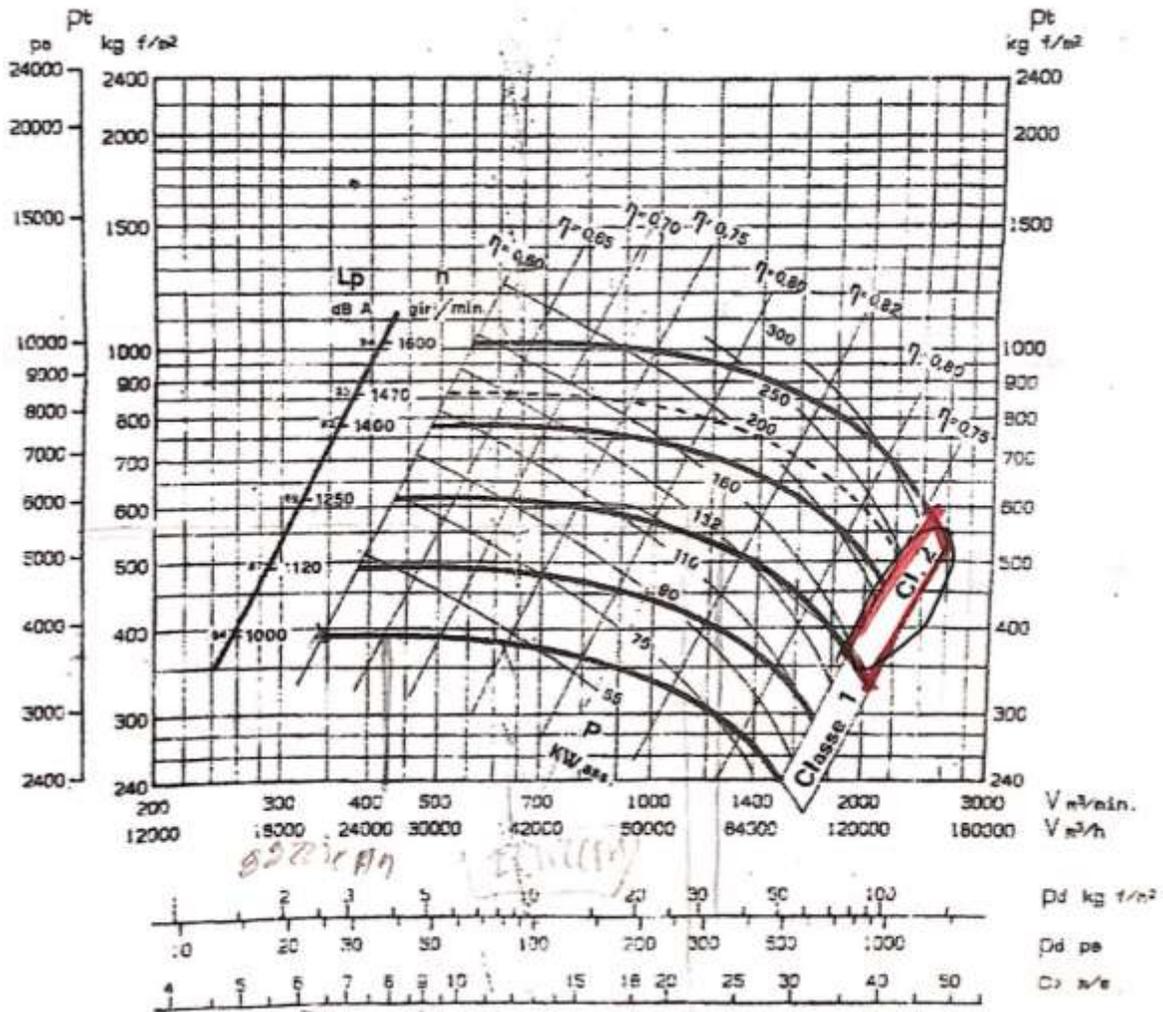


Figura 34. Curva característica del ventilador. Fuente: autores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 6.4 APENDICE D: Plano de Chimenea atomización, lavador de gases y ventilador

En la Figura 35 se observa el plano general del lavador de gases de atomización, el ventilador y la chimenea con el punto donde será instalado el acondicionador de flujo.

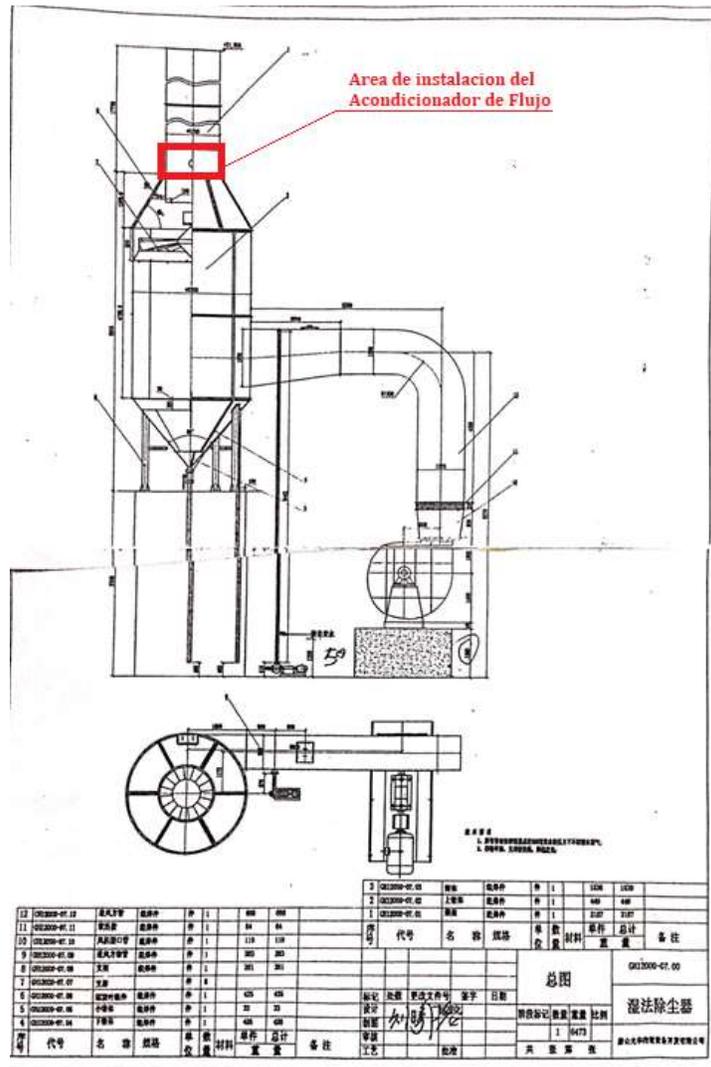


Figura 35. Plano de Chimenea atomización, lavador de gases y ventilador. Planta Euroceramica (Guarne 2019)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 6.5 APENDICE E: Cotizaciones

Cotizaciones empresa Leguz, Figura 36 y Soluciones Industriales, Figura 37.



**COT. No. 3-1741-1**

Sabaneta, 29 de agosto de 2018.

Señor:

Jorge Grisales  
**EUROCERAMICA S.A.**

Cordial Saludo,

De acuerdo con su amable solicitud, estamos cotizando:

- Fabricación y transporte de alineador de flujo, escalera y compuerta de acceso a chimenea, fabricado en acero al carbono, acero inoxidable 304 y aluminio.
- Montaje de elementos fabricados, incluye alquiler e instalación de andamios.

Se estima un tiempo de montaje de 12 días incluyendo el armado y desarmado de andamios, este ítem se recotizará dependiendo del tiempo real de instalación.

Materiales serán suministrados por LEGUZ.

SUMARIO DE PRECIOS						
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	PESO (kg)	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	FABRICACION Y TRANSPORTE DE ESCALERA ACCESO EN ACERO AL CARBONO E INOXIDABLE	1	GLOBAL	456	\$ 5.862.033	\$ 5.862.033
2	FABRICACION Y TRANSPORTE DE COMPUERTA EN ACERO INOXIDABLE	1	GLOBAL	93	\$ 2.085.105	\$ 2.085.105
3	FABRICACION Y TRANSPORTE DE ALINEADOR DE FLUJO EN ALUMINIO	1	GLOBAL	139	\$ 3.896.162	\$ 3.896.162
3	MONTAJE DE ITEMS 1, 2 Y 3. INCLUYE ARMADO Y DESARMADO DE ANDAMIOS	12	DIAS	N/A	\$ 820.184	\$ 9.842.208
3	TRANSPORTE DE ANDAMIOS	2	GLOBAL	N/A	\$ 190.000	\$ 380.000
<b>TOTAL PRECIO (SIN IVA):</b>						<b>\$ 22.665.528</b>

**Forma de pago:** A acordar con el cliente.  
**Cuenta corriente:** 933 1626 6134 de Bancolombia.  
**Entrega:** 24 de septiembre de 2018 (fecha estimada de entrega).  
**Transporte:** Es por parte de LEGUZ.  
**Validez:** 15 días hábiles.

Carrera 43A # 61 Sur - 152, interior 105 Sabaneta | PBX:5203600 | contacto@leguz.co  
[www.leguz.co](http://www.leguz.co)

**Figura 36.** Cotización Empresa Leguz. Fuente: Autores

 <b>Institución Universitaria</b>	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**SOLUCIONES INDUSTRIALES AAA S.A.S**  
 NIT 900.472.436-7  
 KM 2 VÍA BELÉN CENTRAL DE EMPRESAS Y NEGOCIOS BG # 14  
 Tel: (57) 5630846  
 Rionegro - Colombia

**Cotización**  
No. C-8-175

<b>Para</b>	EUROCERAMICA S.A EN REORGANIZACION
<b>Nit</b>	800.035.290-2
<b>Contacto</b>	JORGE GRISALES
<b>Dirección</b>	Km 25, Vereda la Honda
<b>Ciudad/Tel.</b>	Guarne /
<b>Fecha</b>	2018-08-25

O.P. 6781  
**NOTA:**  
 DE SER APROBADA LA COTIZACIÓN FAVOR ENVIAR ORDEN DE COMPRA AL CORREO: [aaasolucion2014@gmail.com](mailto:aaasolucion2014@gmail.com)

Item	Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Vr. Unitario	Vr. Bruto	Vr. Total
1	ACONDICIONADOR DE FLUJO PARA PLATAFORMA ATM1	1.00		5,200,000.00	5,200,000.00	6,188,000.00
2	FABRICACIÓN DE ESCALERAS Y PLATAFORMA.	1.00		7,850,000.00	7,850,000.00	9,341,500.00
3	INSTALACIÓN ACONDICIONADOR DE FLUJO	1.00		3,200,000.00	3,200,000.00	3,808,000.00
<b>Total Bruto</b>						16,250,000.00
<b>Subtotal</b>						16,250,000.00
<b>IVA 19%</b>						3,087,500.00
<b>Total a Pagar</b>						<b>19,337,500.00</b>

**Total Bruto** 16,250,000.00  
**Subtotal** 16,250,000.00  
**IVA 19%** 3,087,500.00  
**Total a Pagar** 19,337,500.00

**ESPECIFICACIONES:**

**1.ACONDICIONADOR DE FLUJO PARA PLATAFORMA ATM1**

- ACONDICIONADOR DE FLUJO FABRICADO EN LAMINA INOXIDABLE 304 CAL 14 SEGÚN MEDIDAS PLANO ANEXO
- 

**2. FABRICACIÓN DE ESCALERAS Y PLATAFORMA.**

- PLATAFORMA QUE ABARCARA 1/4 DEL PERIMETRO DE LA ZONA A INTERVENIR.
- FABRICADA EN PLATINA DE 4X 1/4 PISO EN LAMINA ALFAJOR DE 18L.
- PASAMANOS EN TUBERÍA REDONDA DE 1" 1/4 Y 1".
- ESCALERAS UBICADAS EN PLATAFORMA INFERIOR LA CUAL COMUNICA PLATAFORMA A FABRICAR
- 

**3. INSTALACIÓN ACONDICIONADOR DE FLUJO**

- FABRICACIÓN DE COMPUERTA EN CHIMENEA.
- INSTALACIÓN DE ACONDICIONADOR DE FLUJO EL CUAL SE FABRICARA EN 4 CASCOS PARA FACILITAR TRASLADO E INSTALACIÓN
-

**LEIDY VIVIANA TORRES**  
[torresvasquez79@hotmail.com](mailto:torresvasquez79@hotmail.com)

ELABORADA POR S800 S.A. NIT 830 040 145-8

Figura 37. Cotización Empresa Soluciones Industriales. Fuente: Autores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 6.6 APENDICE F: Plano del Acondicionador de flujo

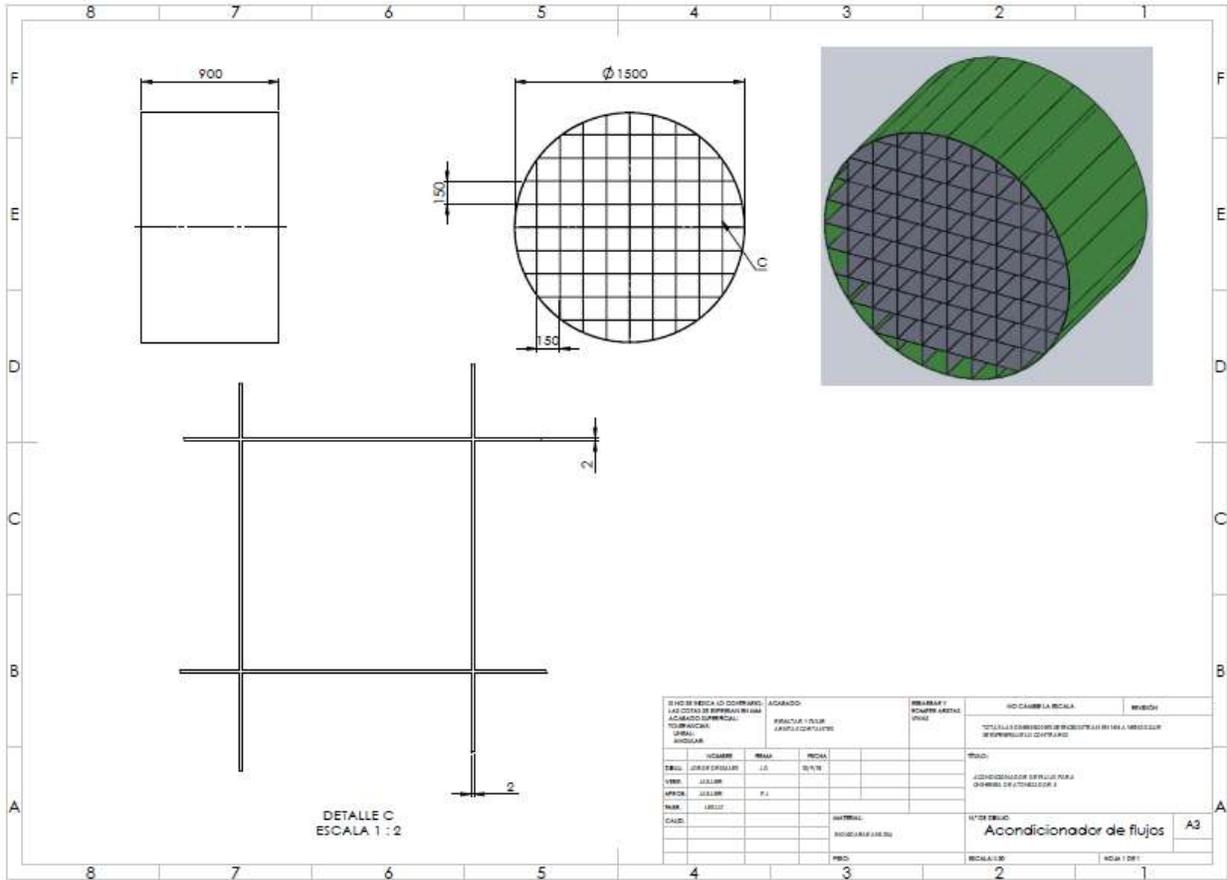


Figura 38. Plano del acondicionador de flujo de celdas cuadradas. Fuente: Autores

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES

JORGE GRISALES  
[Handwritten Signature]

---

FIRMA ASESOR [Handwritten Signature]

SEGUNDA ENTREGA INFORME FINAL  
CON CORRECCIONES SOLICITADAS POR  
EVALUADOR

10:00 AM FECHA ENTREGA: 27-08-2014

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_      ACEPTADO\_\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_