



T
621.183
VEG d.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**"Diseño Del Sistema Para Extracción De Gases De Un
Horno Para Cal."**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:
Carlos Wilfrido Vega Basurto



GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Ernesto Martínez director de tesis por su invalorable ayuda y colaboración para la culminación de este trabajo.

A los Ingenieros Carlos Vélez y Vladimir Bermúdez por su ayuda sincera.

A todas las personas que de una u otra forma han Contribuido en la realización de este trabajo.



DEDICATORIA

A mi padre: Sixto Vega Jiménez le dedico este trabajo como una pequeña retribución a su invaluable apoyo y ayuda que han hecho de mí un hombre de bien.

A mi madre: Sra. Zoila Bazurto por su abnegada labor, que sin ella no hubiera podido culminar mi carrera.

A mi tío Walter Vega Jiménez gracias por su apoyo desinteresado para la culminación de mi carrera.



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Jorge Duque Rivera.
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Martinez L.
DIRECTOR DE TESIS



Dra. Cecilia Paredes V.
VOCAL



DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de graduación de la ESPOL).



Carlos Wilfrido Vega Basurto

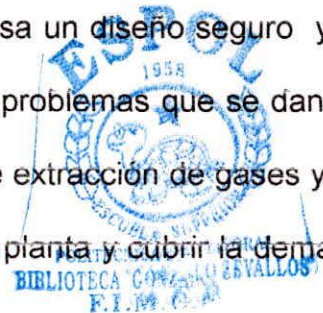
Carlos Wilfrido Vega Basurto

RESUMEN

Esta tesis es realizada en una empresa distribuidora de material no metálico ubicada en la ciudad de guayaquil en el kilómetro 12 ½ Vía a la costa. Es una planta que tiene dos procesos fundamentales que son obtención de Cal y de procesamiento de áridos (piedra y arena). Este trabajo se enfoca en la parte del proceso de obtención de Cal que tiene una gran demanda en estos momentos en el país.

La empresa posee un horno de una capacidad de 80 Toneladas Por Día de Cal pero no logra cubrir toda la demanda requerida de Cal y sus otros derivados. Por eso se plantea el diseño del sistema de extracción de gases para el nuevo horno de producción de Cal de una capacidad de 35 Toneladas Por Día.

El objetivo de la tesis es brindarle a esta empresa un diseño seguro y dar mejoras para el nuevo diseño de acuerdo a los problemas que se dan con el horno de 80 Toneladas Por Día en la parte de extracción de gases y con esto lograr aumentar la producción de Cal de la planta y cubrir la demanda que se tiene en el mercado.



La Metodología que se seguirá en esta tesis consistirá primero en visitar las instalaciones de la empresa, luego se realizará el reconocimiento del proceso de la planta se chequeara los problemas existentes del sistema de extracción de gases y se revisara bibliografía que ayude al diseño.

Después de esto se procederá con el diseño lo cual implica el cálculo para la selección del ventilador requerido, se diseñara los ductos y la chimenea y se presentaran los planos.

Al final de la tesis se obtendrán los planos del sistema de extracción de gases (ductos, cición), chimenea y el tipo de ventilador que se va a utilizar en el horno de 35 Toneladas Por Día. Se espera diseñar un sistema de extracción de gases que sea eficiente para la producción de la Cal y que cumpla con las normas de impacto ambiental.



INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCION DE CAL.....	3
1.1. Descripción general de producción de cal.....	3
1.2. Descripción del horno para cal.....	8
1.3. Descripción del problema.....	12

CAPITULO 2

2. MÉTODOLOGIA DE LA EXTRACCIÓN DE GASES.....	14
2.1. Velocidad de sustentación para sólidos.....	15



2.2. Colectores de sólidos.....	15
2.2.1. Separadores gravitacionales.....	18
2.2.2. Separadores centrífugos.....	21
2.2.3. Separadores de impacto.....	24
2.2.4. Separadores húmedos.....	25
2.2.5. Separadores de mangas.....	27
2.2.6. Separadores electroestáticos.....	29
2.3. DIMENSIONAMIENTOS DE DUCTOS.....	30
2.3.1. Método dinámico o reducción de velocidades.....	32
2.3.2. Método por equifricción.....	32
2.3.3. Método de la reganancia estática.....	32
2.3.4. Método de la velocidad constante.....	33
2.4. Ventiladores.....	35
2.4.1. Ventiladores axiales.....	37
2.4.2. Ventiladores centrífugos.....	47
2.5. Criterio de la ley de darcy.....	55

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y CALCULO DEL SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES

3.1. Calculo del flujo requerido.....	59
---------------------------------------	----

3.1.1. Flujo debido a la combustión.....	60
3.1.2. Flujo debido a la reacción química del carbonato de cálcio.....	63
3.1.3. Ventilador requerido.....	65
3.2. Selección del ciclón.....	68
3.3. Calculo de las dimensiones de ductos.....	73
3.4. Dimensiones de la chimenea.....	79
3.5. Espesor de ductos, ciclón y chimenea.....	80
3.6. Calculo de caída de presión del sistema y selección del ventilador.....	85
3.7. Estructuras de soporte.....	95

CAPITULO 4

4. ANALISIS DE LA CHIMENEA.....	99
4.1. Trazas atmosféricas y contaminantes.....	99
4.2. Tipos de modelos de dispersión.....	101
4.2.1. Modelo gaussiano.....	102
4.2.2. Modelos urbanos y regionales.....	102
4.2.3. Modelos globales.....	104
4.3. Modelo gaussiano de dispersión.....	104
4.3.1. Aplicación del modelo gaussiano.....	113



4.3.2. Clases de estabilidad atmosférica.....	114
4.3.3. Levantamiento de la estela.....	120
4.3.4. Selección y evaluación de los modelos.....	124
4.3.5. Uso de modelo gaussiano desde la perspectiva internacional.....	125
4.4. Calculo del modelo de dispersión.....	130
4.4.1. Tasa de emisión de SO_2 y comportamiento del perfil de concentración en condiciones seleccionadas.....	130
4.4.2. Variación de parámetros (modelo gauss).....	138
4.4.2.1. Influencia de la temperatura de salida.....	138
4.4.2.2. Influencia de la velocidad del viento.....	140
4.4.2.3. Influencia de la altura de la chimenea.....	142
4.4.2.4. Influencia de la estabilidad atmosférica.....	144

CAPÍTULO 5

5. ANALISIS DE COSTO.....	146
---------------------------	-----

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	149
---	------------

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA



ABREVIATURAS

<i>S</i>	Azufre.
<i>atm</i>	Atmósferas.
<i>C</i>	Carbono.
<i>Q</i>	Caudal.
<i>ρ</i>	Densidad.
<i>EA</i>	Exceso de aire.
<i>gal</i>	Galones.
<i>g</i>	Gramo.
<i>H</i>	Hidrogeno.
<i>kg</i>	Kilogramo.
<i>kw</i>	Kilovatio.
<i>psi</i>	Libras por pulgadas cuadradas.
<i>mim</i>	Minutos
<i>mmColH₂O</i>	Milímetro de columna de agua.
<i>m²</i>	Metros cuadrados.
<i>m³</i>	Metros cúbicos.
<i>N</i>	Nitrógeno.
<i>ft</i>	Pies.
<i>CFM</i>	Pies cúbico por minuto.
<i>PC</i>	Poder calorífico.
<i>pulColH₂O</i>	Pulgadas de columna de agua.
<i>TP</i>	Presión total.
<i>RPM</i>	Revoluciones por minuto.
<i>seg</i>	Segundo.
<i>T</i>	Temperatura.
<i>TPD</i>	Toneladas por días.

SIMBOLOGÍA

h_{Ch}	Altura de la chimenea.
H	Altura efectiva de la chimenea.
A	Área de la sección transversal.
ΔP	Caída de presión.
C	Concentración.
C_{max}	Concentración máxima.
C_{pp}	Concentración en parte por millón.
C_1, C_2, g_c	Constantes dimensionales.
ρ_{aire}	Densidad del aire.
ρ_{dg}	Densidad del aire disperso.
ρ_g	Densidad del gas.
ρ_s	Densidad del sólido.
ρ_{ds}	Densidad del sólido disperso.
D_s	Diámetro de la partícula del sólido.
ϕ	Diámetro del ducto.
y	Distancia horizontal del centro de la estela.
z	Distancia vertical del nivel de tierra.
x_f	Distancia sobre el suelo de la estela.
η	Eficiencia.
e	Espesor.
e_i	Espesor inicial.
e_f	Espesor final.
f_g	Factor de fricción de fanning.
f_s	Factor de fricción de los sólidos.
$Q_{aire-falso}$	Flujo del aire falso.
$Q_{VENTILADOR}$	Flujo del exhaustor.

Q_{CaCO_3}	Flujo del carbonato de calcio.
Q_{fuel}	Flujo del combustible.
$Q_{PRIMARIO}$	Flujo del ventilador primario.
$Q_{RECICLO}$	Flujo del ventilador de reciclo.
\dot{m}_S	Flujo masico del azufre.
\dot{m}_{fuel}	Flujo masico del combustible.
\dot{m}_{SO_2}	Flujo masico del dióxido de azufre.
\dot{m}_g	Flujo masico del gas.
\dot{V}	Flujo volumétrico.
$^{\circ}C$	Grados centígrados.
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit.
K	Grados kelvin.
Δh	Levantamiento de la estela.
L	Longitud de la tubería.
m_{aire}	Masa del aire.
mpy	Milésima de pulgadas por años.
R_e	Número de Reynolds.
σ_y, σ_z	Parámetros horizontales y verticales.
F_B	Parámetro de boyantez.
MW	Peso molecular.
k	Permeabilidad.
P_O	Presión a nivel del mar.
P_a	Presión atmosférica.
$m_{a/f}$	Relación aire-combustible.
Q_H	Tasa de emisión.
T_a	Temperatura atmosférica.
T_S	Temperatura de gas de la chimenea.
ΔT	Variación del tiempo.
v_S	Velocidad de salida.
$V_{c,h}$	Velocidad de sustentación en ductos horizontales.
$V_{c,v}$	Velocidad de sustentación en ductos verticales.
$\bar{\mu}$	Velocidad del viento.
V_g	Velocidad real del aire.
V_S	Velocidad real del sólido.
μ_g	Viscosidad cinemática del aire.



ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Cantera de producción de carbonato de calcio.
- Figura 1.1 Trituración y transportación del carbonato de calcio.
- Figura 1.2 Horno vertical tipo F.
- Figura 2. Cámara gravitacional de sedimentación.
- Figura 2.1 Tipos de ciclones centrífugos.
- Figura 2.2 Dimensiones del ciclón centrífugo.
- Figura 2.3 Separadores húmedos.
- Figura 2.4 Separadores de Manga.
- Figura 2.5 Ventiladores.
- Figura 2.6 Ventilador axial.
- Figura 2.7 Curva característica de los ventiladores Axiales.
- Figura 2.8 Alabes de los ventiladores.
- Figura 2.9 Ventilador centrifugo.
- Figura 2.10 Descripción de las hélices ventilador centrifugo.
- Figura 2.11 Ventilador de paletas rectas.
- Figura 2.12 Curva característica de los ventiladores Centrífugos.
- Figura 2.13 Ventilador tipo siroco.
- Figura 2.14 Curva característica de los ventiladores siroco.
- Figura 2.15 Rotor de doble admisión.
- Figura 2.16 Criterio de la ley de Darcy.
- Figura 3. Descripción del sistema de extracción.
- Figura 3.1 Análisis de esfuerzos en los ductos inclinados.
- Figura 3.2 Análisis de esfuerzos en los ductos verticales.
- Figura 3.3 Análisis de esfuerzos de la chimenea.
- Figura 3.4 Distribución de carga de la estructura 1.
- Figura 3.5 Análisis de esfuerzos de la estructura 1.
- Figura 3.6 Distribución de carga de la estructura 2.
- Figura 3.7 Análisis de esfuerzos de la estructura 2.

- Figura 4. Elevación del perfil de concentración de un penacho gaussiano.
- Figura 4.1 Curva de distribución normal (gaussiana).
- Figura 4.2 Desarrollo de series de tiempo de un penacho.

- Figura 4.3 (a) Visita instantánea de un penacho, (b) Perfil horizontal instantáneo de la concentración de un penacho a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia viento debajo de la fuente; (c) Promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo.
- Figura 4.4 Sistemas de coordenada que muestra las distribuciones Gaussianas en las tres componentes.
- Figura 4.5 Coeficiente de dispersión lateral σ_y según distancia y categoría de estabilidad atmosférica.
- Figura 4.6 Coeficiente de dispersión vertical σ_z según distancia y categoría de estabilidad atmosférica.
- Figura 4.7 Máxima relación (Cu/Q) y distancia a X_{max} como una función de la estabilidad y la altura efectiva de la chimenea (metros).
- Figura 4.8 Modelos: (H = Holland; M= Moses and Strom; B = Briggs; T=TVA).
- Figura 4.9 Modelo de dispersión $v=2$ m/seg.
- Figura 4.10 Modelo de dispersión $v=3$ m/seg.
- Figura 4.11 Modelo de dispersión $v=4$ m/seg.
- Figura 4.12 Influencia de la temperatura de salida.
- Figura 4.13 Influencia de la velocidad del viento.
- Figura 4.14 Influencia de la altura de la chimenea.
- Figura 4.15 Influencia de la estabilidad atmosférica.



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 4.	Normas primaria de calidad del aire.
Tabla 4.1	Clasificaciones de Estabilidad.
Tabla 4.2	Valores de Constantes para los Coeficientes de Dispersión.
Tabla 4.3	Valores de Constantes para estimar $(Cu/Q)_{\max}$ de H como una Función de Estabilidad Atmosférica.

ÍNDICE DE PLANOS.

Plano 1	Vista posterior (Sistema de extracción gases).
Plano 2	Vista lateral derecha (Sistema de extracción gases).
Plano 3	Vista detalles (Sistema de extracción gases).
Plano 4	Vista de planta 1 (Sistema de extracción gases).
Plano 5	Vista de planta 2 (Sistema de extracción gases).
Plano 6	Denominación de ductos 1.
Plano 7	Denominación de ductos 2.
Plano 8	Ducto 1.
Plano 9	Ducto 2.
Plano 10	Ducto 3.
Plano 11	Ducto 4.
Plano 12	Ducto 5.
Plano 13	Ducto 6.
Plano 14	Bifurcación.
Plano 15	Ducto 1.
Plano 16	Ducto 2.
Plano 17	Ducto 3.
Plano 18	Ducto 4.
Plano 19	Ducto 5.
Plano 20	Platillo 1.
Plano 21	Platillo 2.
Plano 22	Orejas.
Plano 23	Reductor 1.
Plano 24	Reductor 2.
Plano 25	Ciclón.
Plano 26	Detalles del Ciclón.
Plano 27	Chimeneas.
Plano 28	Detalles de la Chimeneas 1.
Plano 29	Detalles de la Chimeneas 2.
Plano 30	Detalles de la Chimeneas 3.
Plano 31	Estructura 1.
Plano 32	Detalles de la Estructura 1.

Plano 33 Estructura 2.

Plano 34 Detalles de la Estructura 2.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo nos muestra la metodología de diseño para un sistema de extracción de gases de un horno tipo F (mediano). La metodología que se seguirá en esta tesis consistirá primero en visitar las instalaciones de la empresa, luego se realizará el reconocimiento del proceso de la planta se chequeara los problemas existentes del sistema de extracción de gases y se revisara bibliografía que ayude al diseño. Después de esto se procederá con el diseño, Para los cálculos de dimensiones de ductos, cálculos de altura óptima de chimenea y seleccionamiento de los ventiladores, se realizo un estudio comparativo de hornos de este tipo ya existentes y se presentaran los planos.

En la selección de los ventiladores se considero el flujo que ocasiona el combustible, el de la piedra (Carbonato de Calcio), un flujo de reciclo para aprovechar esa carga térmica y por ultimo se considero entrada de aire por quemadores, tolva de recepción y descarga de la piedra. Lo que es la caída de presión se considero la de los ductos, chimenea, ciclón y la caída que otorga el horno.

En el diseño de ductos se trabajo con una velocidad constante de pequeños sólidos de transportación y se selecciono el ciclón en base a esta velocidad,

en el espesor de plancha para ductos y chimenea se baso en criterios de presión, pérdidas por transportación de gases y sólidos, y análisis estructural. En la chimenea se realizo un estudio de dispersión visualizando el problema que ocasiona el SO_2 para dar una altura optima de chimenea.



CAPITULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE CAL.

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PRODUCCIÓN DE CAL.

OBTENCION DE LA MATERIA PRIMA.

CANTERA.

El proceso de producción de la cal comienza desde la exploración y selección del yacimiento de piedra caliza. Esta selección se realiza de forma tal que se asegure el abastecimiento de materias primas con las características físicas y químicas requeridas. La caliza utilizada para nuestro proceso es una roca compuesta de no menos



de un 90% de carbonato de calcio (CaCO_3) y porcentajes mínimos de otros minerales, ésta es una piedra natural que comúnmente se llama piedra caliza rica en calcio.

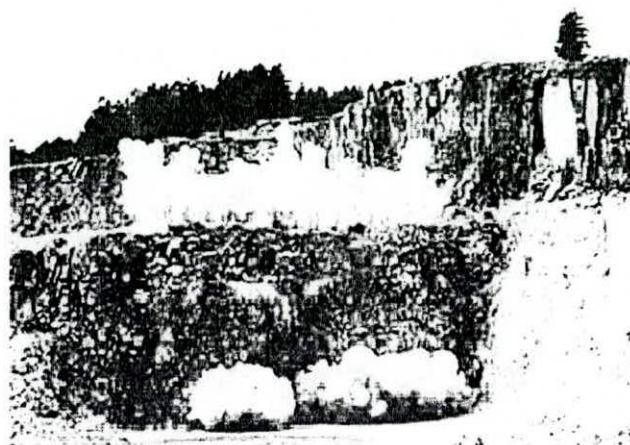


Figura 1. Cantera de producción de carbonato de calcio.

TRITURACIÓN Y SELECCIÓN.

Una vez que se ha delimitado el yacimiento de piedra caliza, se realiza la explotación del mismo. Con el uso de explosivos y maquinaria pesada se realiza la extracción del yacimiento natural.

Posteriormente la piedra es triturada y clasificada de acuerdo a su tamaño para diferentes aplicaciones. En el caso de piedra para elaborar cal, se requieren piedras calizas con un tamaño entre dos y

cuatro pulgadas aproximadamente. Cuando se ha clasificado la piedra, ésta es transportada para pasar al siguiente proceso.



Figura 1.1 Trituración y transportación del carbonato de calcio.

CALCINACIÓN

La piedra caliza es transformada en cal viva en un horno vertical para alcanzar esta transformación química son necesarias temperaturas superiores a los 900 °C.

Los hornos para calcinación están compuestos por un casco de acero revestido interiormente de material refractario.

Los hornos verticales se subdividen en las siguientes zonas:

- La zona de almacenamiento.
- La zona de calentamiento previo en la cual se enfrían los gases de combustión y se calienta la piedra.
- La zona de calcinación en la que se efectúa por lo menos el 90% de la calcinación de la piedra.



- La zona de terminación en la que se quema una parte del combustible con exceso de aire para terminar la calcinación de la piedra.
- La zona de enfriamiento en la que pasan a contracorriente aire y cal, enfriándose la cal y calentándose el aire.

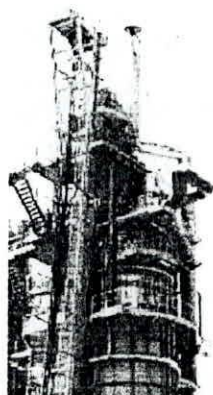


Figura 1.2 Horno vertical tipo F.

HIDRATACIÓN

Además de la cal viva el mercado de la construcción, de los alimentos, y la ingeniería ambiental entre otros, requieren de cal hidratada.

El hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) o cal hidratada se obtiene por la adición de agua a la cal viva. Este proceso de hidratación conlleva

una reacción química exotérmica en la que se liberan grandes cantidades de calor. Durante la hidratación o apagado de la cal, las rocas de cal viva absorben agua desintegrándose y obteniéndose un polvo fino de color blanco.

CONTROL

Cada una de las etapas del proceso productivo de la cal es monitoreada por parte del departamento de control de calidad.

Por medio de muestreos aleatorios y análisis químicos y físicos, se asegura que solo sean procesadas las materias primas que reúnen las especificaciones establecidas.

A lo largo de todas las etapas posteriores de fabricación, se analizan los productos en proceso y productos terminados para garantizar una satisfacción total.

PRODUCTO TERMINADO

La utilización de dicho producto se da en diversos campos:



- La industria siderurgia.
- La industria química.
- La industria de la construcción.
- La industria alimenticia entre otros.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL HORNO PARA CAL.

El horno para Cal nació a raíz de la exigencia universalmente percibida, de disponer de un horno de dimensione reducidas, por lo menos con respecto de los más representativos y, por lo tanto, tal de permitir una reducción de los costos de los aparatos, de la aislamiento refractaria y de su instalación. Con este horno además, nos hemos propuesto la finalidad de:

- Producir óptima calidad de cal.
- Reducir los consumos caloríficos.
- Reducir las intervenciones manuales de los operadores de control del horno limitándolas a las de simple vigilancia. Se hace notar que, en efectos, todas las operaciones correspondientes a la carga y descarga del horno se efectúan

en automático mediante programas previstos en el cuadro de control.

El horno para Cal tiene una forma cilíndrica con sección útil interna circular que va gradualmente ensanchándose a partir del primer plano de los quemadores hacia la descarga.

Todo el horno viene llevado en depresión creado por el ventilador exhaustor de tal manera que el aire secundario de combustión venga aspirado por la zona de descarga de la cal. Este aire, al venir en contacto con la cal caliente en la zona fría, absorbe calor y enfría la cal de descarga. A su vez, acarrea en la zona de cocción el calor recuperado en forma de aire secundario de combustión.

El horno está provisto de 6 cámaras de combustión, a su vez equipadas con quemadores de aceite pesado. Está prevista además de la utilización de gas de reciclo y del aire primario a efectos de reducir la temperatura en el interior, de las cámaras de combustión.

La combustión se completa luego en el interior de la masa de cal utilizando el aire secundario.

El sistema de combustión del horno permite así, una completa combustión aun con presencia muy limitadas de aire.

El horno puede subdividirse en 4 diferentes zonas mediante 4 planos imaginarios en el siguiente orden, desde lo alto hacia abajo:

- 1) zona de precalentado, destinada a llevar las piedras casi a temperatura de disociación.
- 2) zona de calcificación con la que se efectúa la combustión.
- 3) zona de enfriado y de descarga en donde la cal provoca el recalentamiento del aire de combustión y a su vez se enfría.
- 4) zona de depósito de la cal.

Es experiencia común que la velocidad de recalentamiento de la caliza tenga gran influencia sobre la calidad de la cal y que es necesario un precalentamiento gradual hasta alcanzar la temperatura de disociación de la caliza.

En base a ésta experiencia, hemos dimensionado la zona de tal manera de poder retener el material en zona de precalentado durante 12 horas. En la zona de cocción, el tiempo de permanencia es de 8 horas, también en la zona de enfriado. La extracción de la cal desde el horno se efectúa por medio de 4 extractores vibradores, en



automático, por un programador cíclico. Por lo tanto, para poder realizar variaciones de producción del horno, es necesario modificar previamente el tiempo del programador cíclico. La cal descargada se almacena en una tolva.

Con ésta solución, es posible descargar la cal solo durante algunas horas del día, mejor si es de tarde.

La carga de la caliza en la parte alta del horno, se efectúa en automático mediante el indicador de nivel del horno mismo el cual descarga la tolva superior y pone en marcha las carretillas del skip. Recordamos, ahora, cuanto sea importante la permeabilidad de la carga de las piedras para permitir el flujo de los gases y repetimos el concepto que la permeabilidad es tanto más elevada cuanto más angosta es la cinta granulométrica de la caliza alimentada.

Entonces hay que cuidar mucho las operaciones de zarandeo y de lavado de las piedras al fin de evitar que partes finitas y, sobretudo, tierra, puedan entrar en el horno causando fusiones locales de las partes arcillosas y, lo que es peor, bloques locales del material en el interior del horno. El tamaño de la caliza, que se trabajara es de 50mm - 100 mm.

También hemos puesto mucho cuidado en la elección del aislamiento refractario que permitirá de reducir al mínimo las pérdidas de calor desde la capa del horno.

La asistencia requerida por el horno es simple y se limita a una normal vigilancia del cuadro de control y de los aparatos, a un control de rutina al sistema de combustión de los 6 quemadores y a un control de rutina a todas las piezas en movimiento (skip, cintas, ventiladores, etc.).

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El problema se da por la gran demanda de Cal que existe en estos momentos en el país.

Esta planta que tiene dos procesos fundamentales que son obtención de Cal y de procesamiento de áridos (piedra y arena), plantearon aumentar la producción de cal con el desarrollo de un nuevo horno, este trabajo se enfoca en la parte del proceso de obtención de Cal, posee un horno de una capacidad de 80 Toneladas Por Día de Cal, pero no logra cubrir todo esa demanda de Cal y sus otros derivados.



Con la realización de este nuevo horno se encuentra su parte primordial que es la extracción de gases debido a la combustión tanto del combustible como del carbonato de calcio el cual se va a realizar el diseño del sistema de ductos y su chimenea con sus respectivos análisis de una capacidad de 35 Toneladas Por Día.

CAPITULO 2

2. MÉTODOLOGIA DE LA EXTRACCIÓN DE GASES.

2.1. VELOCIDAD DE SUSTENTACIÓN PARA SÓLIDOS.

Dalla Valle propuso en 1932 la siguiente correlación para ductos horizontales basado en resultados experimentales para partículas de menos de 8 mm y densidades menores a 2643 kg/m³.

$$V_{c,h} = C_1 * \left(\frac{\rho_s}{\rho_s + C_2} \right) * D_s^{0.4} \quad (\text{Ecuación 2})$$



Donde $V_{c,h}$ la mínima velocidad de sustentación en ductos horizontales, ρ_s es la densidad de las partículas sólidas, D_s es el

diámetro de la partícula más grande a ser transportada, C_1 , es una constante dimensional e igual a 132.4 en el SI, y 270 en unidades Inglesas, y C_2 otra constante dimensional e igual a 998 en el SI y 62.3 en el sistema Inglés.

Dalla Valle también propuso la velocidad de acarreo para ductos verticales:

$$V_{c,v} = C_1 * \left(\frac{\rho_s}{\rho_s + C_2} \right) * D_s^{0.6} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

En donde C_1 es una constante dimensional e igual a 566 en el SI, y 910 en unidades inglesas, y C_2 otra constante dimensional e igual a 998 en el SI y 62.3 en el sistema Inglés.

Para bajas relaciones sólidos-aire (<10), las velocidades de transporte son generalmente mayores a 15 m/s, y para relaciones altas (>20) las velocidades del aire son menores a 7.5 m/s y aproximadamente el doble de la velocidad de los sólidos.

2.2. COLECTORES DE SÓLIDOS.

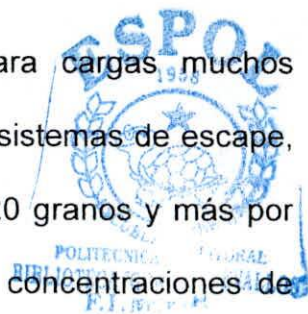
Los dispositivos de limpieza del aire remueven los contaminantes sólidos del aire, y se encuentran disponibles en una amplia gama de

rangos y diseños para los diferentes requerimientos de aplicaciones industriales. La cantidad de sólidos que separan, calidad y características del contaminante a ser removidos, y las condiciones del aire ó del flujo gaseoso determinarán el tipo de filtro ó colector para cada aplicación.

Los dispositivos de limpieza de aire están divididos en dos categorías: Filtros de aire y Colectores de polvo.

Los filtros de aire están diseñados para remover polvo en concentraciones en el orden de magnitud encontrados en el aire atmosférico y usualmente son utilizados en sistemas de ventilación, aire acondicionado y sistemas de calentamiento, donde la carga de polvo raramente excede 1 grano por cada 1000 pies cúbicos de aire (1 libra contiene 7000 granos).

Los colectores de polvo están diseñados para cargas muchos mayores provenientes de procesos industriales, sistemas de escape, chimeneas, etc. Las cargas varían entre 0.1 y 20 granos y más por cada pie cúbico de aire. Por consiguiente, las concentraciones de polvo en los colectores son 100 a 20.000 veces más grandes que para los filtros de aire.



En general las partículas aerotransportadas tienen un tamaño que fluctúa entre 0.001 y 500 μm , y en la atmósfera el tamaño de las partículas fluctúa entre 0.1 y 10 μm . Partículas de tamaño menor a 0.1 μm muestran un comportamiento similar al de las moléculas y se caracterizan por el movimiento aleatorio, su comportamiento puede ser estudiado por los mismos principios físicos que controlan los movimientos brownianos.

Partículas entre 0.1 y 2 μm tienden a seguir el comportamiento del gas que los transporta, la ley de Stokes-Cunningham es usada para estudiar el movimiento característico de estos sólidos. Partículas cuyo tamaño fluctúa entre 2 y 20 μm tienen un comportamiento un tanto errático y dependerá de otros factores como el peso específico para su estudio, la ley de Stokes es una buena aproximación del comportamiento de estos sólidos. Partículas de 20 μm en adelante siguen la ley de Newton y tienen velocidades de asentamiento significativas, por consiguiente pueden considerárselas aerotransportadas por cortos períodos de tiempo.

Entre los factores más importantes que determinan el tipo de colector a elegir están los siguientes: Las propiedades físicas y químicas de las partículas, el flujo volumétrico de aire, el rango esperado de

concentración de las partículas, la temperatura y la presión del flujo, humedad, la condición requerida del aire tratado. Otros factores también deben observarse como la eficiencia de colección, la caída de presión causada por el colector, el volumen y peso del colector, y obviamente el costo del mismo tanto en la inversión inicial como en el mantenimiento.

Los métodos básicos de limpieza del aire pueden clasificarse de la siguiente manera:

Separadores Gravitacionales.

Separadores Centrífugos.

Separadores de Impacto.

Separadores Húmedos.

Separadores de Mangas.

Separadores Electroestáticos.

2.2.1. SEPARADORES GRAVITACIONALES

Estos colectores basan su funcionamiento en la reducción de la velocidad del aire que transporta los sólidos, si esta velocidad es menor que la velocidad de sustentación,



entonces la gravedad forzará la sedimentación de las partículas sólidas produciendo la separación. Este separador es eficiente para separar partículas desde $1\mu\text{m}$ (de alta densidad) en adelante. La mayor eficiencia de separación se logra con partículas mayores a $50\mu\text{m}$.

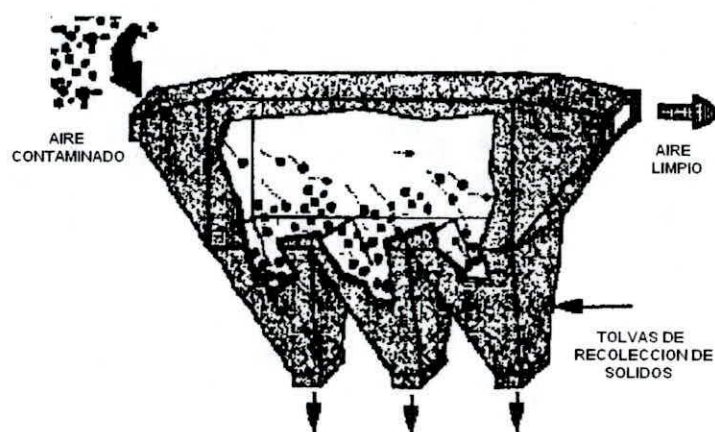


Figura 2. Cámara gravitacional de sedimentación.

Para lograr que la velocidad de transporte se reduzca, la cámara debe aumentar la sección transversal a través de la cual fluye el aire, y esto hace que el volumen de la misma ocupe un espacio relativamente grande. Si las partículas fuesen menores a $10\mu\text{m}$ se requeriría de una distancia horizontal excesiva e impráctica.

El tiempo requerido para que una partícula de diámetro D_s caiga una distancia H y por lo tanto separarse del flujo, debe ser igual o menor al tiempo requerido para moverse una distancia horizontal L .

$$\begin{aligned} t &= H/V_t = L/V_m \\ V_t &= V * H/L = Q/(L * W) \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

La velocidad de sedimentación puede ser determinada en función de los parámetros antes mencionados, y en función del Re . Para diámetros desde $5\mu m$ en adelante el Re está entre 10^{-4} y 0.5 , y la ley de Stokes nos facilita la obtención de V_t :

$$V_t = (g * d_p^2 * \rho_p) / 18 * \mu_g \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Con las dos últimas ecuaciones se pueden obtener las dimensiones necesarias de la cámara de sedimentación. Si se mantiene W con las dimensiones del ducto, conociendo Q y V_t se pueden calcular H y V . La caída de presión en estas cámaras es pequeña y usualmente se reduce a las pérdidas

por expansión y contracción de transiciones en la entrada y salida del separador respectivamente.

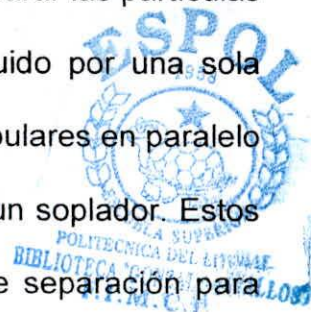
La eficiencia de colección para el tamaño de las partículas indicadas por la ley de Stokes es:

$$\eta = (V_t * L) / (H * V) \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

La ley de Stokes es aplicada para partículas menores de 50 μm . Sin embargo para el rango comprendido entre 50 y 100 μm el error introducido es aceptable ingenerilmente.

2.2.2. SEPARADORES CENTRÍFUGOS

Estos dispositivos emplean la fuerza centrífuga generada por el paso del aire a través del mismo, para separar las partículas del aire. El separador puede estar constituido por una sola cámara, un número pequeño de cámaras tubulares en paralelo o en serie ó una unidad dinámica similar a un soplador. Estos separadores tienen una buena eficiencia de separación para partículas desde 5 μm en adelante y reciben el nombre de Ciclones.



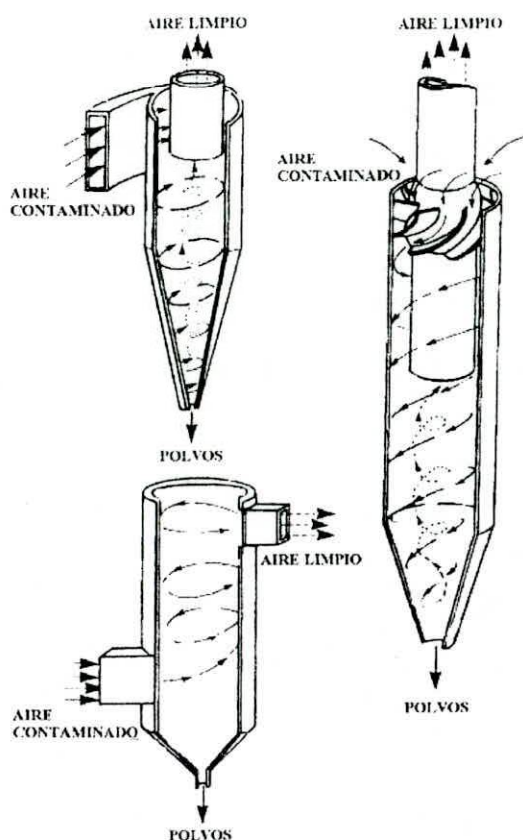


Figura 2.1 Tipos de ciclones centrífugos.

Los ciclones convencionales raramente tienen eficiencias mayores al 90% para partículas menores a $25\mu\text{m}$.

El aire contaminante puede entrar tangencialmente o axialmente al ciclón, por la parte superior o inferior, como se muestra en las figuras anteriores. Cuando el flujo es demasiado grande, la eficiencia de colección se disminuye en favor de la cantidad de recolección.

El diseño de los ciclones es algo complejo y en la mayoría de las aplicaciones la eficiencia es optimizada a base de prueba y error.

Las dimensiones del ciclón están indexadas al diámetro principal del mismo, y se utiliza este procedimiento para propósitos constructivos.

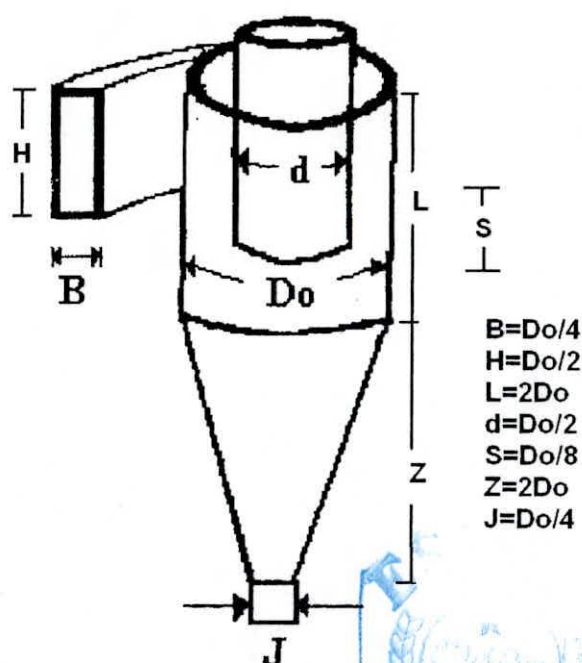


Figura 2.2 Dimensiones del ciclón centrífugo.

La caída de presión de los ciclones es también difícil de evaluar, principalmente por la naturaleza empírica del diseño, y por la variedad de alternativas que existen. La caída de

presión para separadores centrífugos esta denotada de la siguiente formula:

$$\Delta P = 39.7 * K * Q^2 * P^2 / T^2 \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

En donde Q es el flujo de aire en CFM, P la presión del aire en atmósferas y T la temperatura en °R. K es un factor empírico de diseño y depende del diámetro principal del ciclón D_o :

$$K = 21.334 * D_o^{-3.6308} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

La ausencia de partes móviles en los ciclones al igual que en los separadores gravitacionales, los hacen muy atractivos para diferentes aplicaciones, y en donde el costo juegue un papel importante en el proceso de selección.

Los ciclones sin embargo ofrecen una ventaja con respecto a los gravitacionales, ocupan menos espacio, son más eficientes, y pueden atrapar partículas más pequeñas.



2.2.3. SEPARADORES DE IMPACTO.

Las partículas sólidas son separadas del gas por impacto de las mismas sobre cuerpos colectores arreglados de tal manera que provocan cambios de dirección para que la inercia provoque la separación. En forma general estos colectores tienen una caída de presión entre 0.1 y 1.5 pul. Col. H₂O, dependiendo de la aplicación, y están limitados a separar partículas mayores de 10. μ m. La mayor ventaja que ofrecen es la adaptarse más fácilmente a cualquier flujo o configuración de ductos. Estos sistemas requieren de algún mecanismo que obligue a que las partículas se desprendan de las paredes mediante acción mecánica.

2.2.4. SEPARADORES HÚMEDOS.

Cuando las partículas son menores a 5 μ m los métodos anteriores empiezan a ser ineficientes y por lo tanto son utilizados solamente para separar partículas grandes. En estos mecanismos se utiliza agua generalmente para aglomerar los sólidos y facilitar su sedimentación.

El agua debe ser finamente pulverizada y propender al contacto del mayor número de partículas para obtener una



buena eficiencia. En sistemas diseñados apropiadamente se pueden separar sólidos de hasta $0.1\ \mu\text{m}$. Los sistemas que tienen estos arreglos pueden ser de diversas formas, siendo los más comunes: cámaras de spray (con o sin deflectores), ciclones húmedos, y cámaras venturi.

El flujo de agua está en el rango de 2 a 10 gal/min por cada 1000 CFM de aire ó gas para las cámaras, de 1 a 8 gal/min por cada 1000 CFM para los ciclones, y entre 2 y 12 gal/min por cada 1000 CFM para los venturis.

En la mayoría de los casos el agua debe recircularse y por consiguiente se debe tener un sistema de decantación, y debido a que el agua no es muy limpia, se deben usar toberas grandes para evitar obturación de los sprays.

La eficiencia de colección es muy buena para partículas de $5\ \mu\text{m}$. En adelante, 95%, y para partículas menores a $1\ \mu\text{m}$ se deben usar toberas de alta presión para obtener buenas eficiencias.

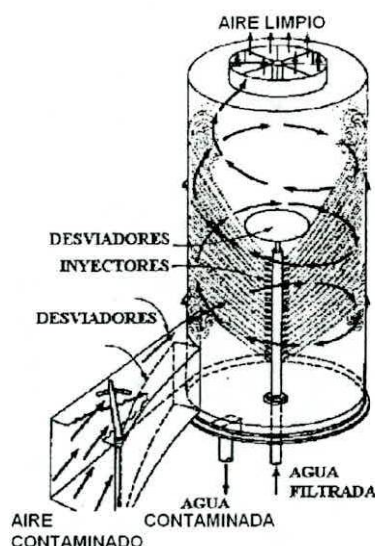


Figura 2.3 Separadores húmedos.

La caída de presión en las cámaras es relativamente baja, usualmente entre 1 y 2 pul. Col. H₂O. Entre 1 y 4 pul. Col. H₂O para los ciclones, y algo variable para los venturis en función de la garganta y del flujo de aire.

2.2.5. SEPARADORES DE MANGAS.

Para tamaños de partículas menores a 1 μm los colectores deben funcionar con filtros que permitan atrapar estos sólidos. Típicamente se obtienen eficiencias del 99% para tamaños de 0.5 μm , y se puede llegar a tamaños en el orden de 0.01 μm con eficiencias del 97%.

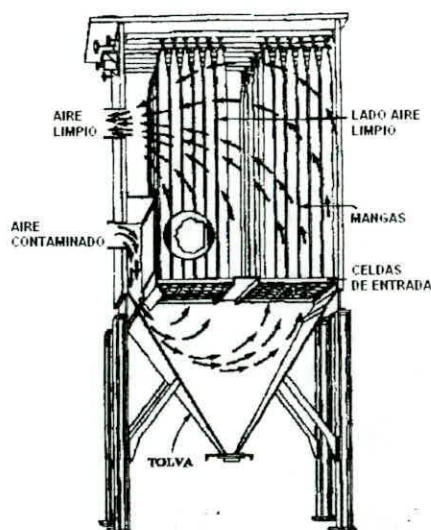


Figura 2.4 Separadores de Manga.

Hay que resaltar que la eficiencia de estos colectores va creciendo a medida que se va filtrando el aire, obviamente a costa de la caída de presión. Para filtros limpios la presión que debe vencer el aire está en el orden de 0.5 pul. Col. H₂O, para casos promedios está entre 2 y 3 pul. Col. H₂O, y cuando llega a 6 pul. Col. H₂O, el filtro debe limpiarse. Existen varios métodos de control, unos tienen sistemas mecánicos de impacto, vibradores, ó flujo de aire reversible para controlar la acumulación de polvos. Este método es muy común en la industria y en aplicaciones donde se requieren altas eficiencias.

Para obtener lo antes indicado, y en especial por la presión deben usarse ventiladores centrífugos, que además de generar buenas presiones, no requieren de protecciones adicionales para proteger el motor del ventilador, a diferencia de los axiales que fácilmente quedan inutilizados y además están expuestos a daños por sobrecarga.

Entre las ventajas se tienen: Alta eficiencia de colección, extrema flexibilidad en el diseño, capacidades volumétricas considerables que van desde 100 hasta 5 millones de CFM, caídas de presión y potencias requeridas, flexibilidad para acomodar diversos tipos de sólidos.

Entre las desventajas el espacio requerido por las mangas, posibilidades de explosión, y materiales higroscópicos difíciles de aglomerar.

2.2.6. SEPARADORES ELECTROESTÁTICOS.

El principio de operación de estos separadores está basado en la atracción mutua entre partículas con una carga eléctrica y el electrodo colector de polaridad opuesta. Las ventajas que ofrecen estos colectores es la capacidad para manejar

grandes volúmenes de aire, altas eficiencias aún con sólidos de hasta $0.05\ \mu\text{m}$. La eficiencia de estos colectores puede llegar hasta el 99% con una caída de presión muy pequeña, usualmente entre 0.1 y 0.5 pul. Col. H_2O .

La velocidad del flujo dentro del colector está usualmente entre 1 y 20 ft/min y la potencia necesaria para el proceso está entre 0.05 y 0.5 kw por cada 1000 CFM de aire.

Por las características antes mencionadas son altamente deseables para la controlar la contaminación de procesos industriales, especialmente donde se generen gases tóxicos como en la industria petroquímica por ejemplo.

2.3. DIMENSIONAMIENTOS DE DUCTOS.

Existen muchos métodos para diseñar el tamaño de los ductos, sin embargo para poder seleccionar el ventilador adecuado es necesario conocer también la caída de presión que originará el conducto del aire, de tal manera que los ductos tendrán que ser dimensionados en función de la tarea que realizan y en función de la caída de presión que provocan.

La presión estática disminuye a lo largo del ducto debido a la fricción del aire con las paredes, y con las demás partículas del gas, por separación del fluido de las paredes que lo contienen, y por las consiguientes turbulencias que provocan los cambios de dirección del aire, restricciones, contracciones, etc.

Las pérdidas están en función del cuadrado de la velocidad, por lo tanto para un mismo flujo, mientras mas grandes sean los ductos menor será la velocidad y menores las pérdidas, por otro lado mientras mayores sean las dimensiones del ducto, mayor será el costo, el peso, el ruido y la dificultad de instalación. De tal manera que algún grado de compromiso debe conseguirse entre estos factores.

Existen muchos métodos de diseño de ductos, en donde los factores antes mencionados determinan la conveniencia de la utilización de cualquiera de ellos:

- Método Dinámico.
- Equifricción.
- Reganancia Estática.
- Velocidad Constante.

2.3.1. MÉTODO DINÁMICO O REDUCCIÓN DE VELOCIDADES.

Es aplicado cuando el sistema tiene muchas ramificaciones. Las velocidades son escogidas en función de la experiencia o de tablas de acuerdo a la zona de los ductos. La desventaja del sistema es de que si escogen mal las velocidades, se obtendrán caídas de presión significativas con el consiguiente incremento del costo de los ventiladores.

2.3.2. MÉTODO POR EQUIFRICCIÓN.

Es ideal para sistemas simétricos o para sistemas en donde las longitudes de las diferentes ramificaciones son aproximadamente iguales. La dificultad estriba en encontrar las pérdidas de los accesorios (codos, bifurcaciones, entradas, etc.) en función de longitudes equivalentes de secciones rectas.

2.3.3. MÉTODO DE LA REGANANCIA ESTÁTICA.

Es ideal en sistemas en donde existen muchas ramificaciones conectadas a un solo ramal principal. Consiste en dimensionar

los ductos igualando la reganancia estática causada por la reducción de velocidad en una expansión, con la caída de presión causada por la fricción en la zona subsiguiente a la unión. De esta manera se mantiene eficiente el uso de la energía y por ende es el más económico.

2.3.4. MÉTODO DE LA VELOCIDAD CONSTANTE.

Este método es usado principalmente cuando hay que transportar contaminantes sólidos, debido a que garantiza que la velocidad en cualquier ramal sea mayor o igual a la velocidad de sustentación de partículas sólidas. Mientras más se asegure la sustentación de los sólidos, menores probabilidades habrá para la precipitación de los mismos y por ende la posibilidad de taponamientos.

Existen dos procedimientos para diseñar con este método:

- a) Balanceando las presiones recalculando los flujos y
- b) realizando todo el procedimiento sin balancear presiones, construir e instalar el sistema y una vez funcionando se colocan dampers en las secciones donde hay que igualar las presiones. Hay ventajas y desventajas en cada procedimiento:

Procedimiento A

1. No se pueden cambiar los flujos fácilmente.
2. Poca flexibilidad par ampliaciones futuras.
3. No acumula polvos y hay poca erosión.
4. Ideal para manejar explosivos y contaminantes altamente tóxicos.
5. Procedimiento largo en cálculos, y por ende posibilidades de errores.
6. No hay taponamientos con velocidades correctamente escogidas.
7. Flujos calculados son mayores que los requeridos.
8. Si se escoge mal el ramal de mayor caída de presión, el procedimiento lo detecta fácilmente.

Procedimiento B

1. Permite variar los flujos con las compuertas.
2. Gran flexibilidad para ampliaciones.
3. Si las compuertas están parcialmente cerradas acumula polvos y se incrementa la erosión.
4. Contraindicado para el manejo de sustancias explosivas y tóxicas.
5. Procedimiento muy rápido y seguro.

6. Contraindicado para sólidos aglomerantes y húmedos.
7. Flujos concordantes con los de diseño.
8. Mala selección del ramal de mayor caída de presión pasa inadvertido y por ende habrá mayor extracción en ciertos ramales.

2.4. VENTILADORES.

Los ventiladores son máquinas propulsoras de aire en forma continua por acción aerodinámica. Aunque compresores y sopladores también realizan la misma función, no son considerados ventiladores por la presión que generan. Existen algunas clasificaciones de ventiladores, sin embargo escogeremos aquella que los diferencian de los compresores y demás sopladores.

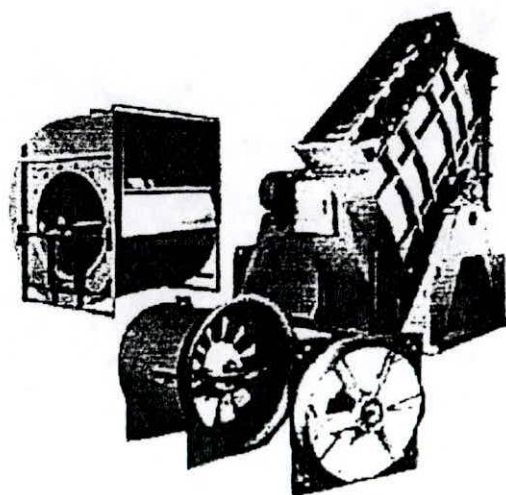


Figura 2.5 Ventiladores.

Los ventiladores son considerados como máquinas hidráulicas y los compresores son considerados como máquinas termo-hidráulicas, y la diferencia consiste en la presión que es capaz de generar. La máxima presión que los ventiladores pueden generar está en el orden de los 1500 mm col H₂O (2.1 psi), es decir la menos de la sexta parte de la presión atmosférica, y aplicaciones típicas como en climatización (Acondicionador de aire) la presión generada está en el orden de los 25 mm col H₂O (0.036psi).

Considerando que estas presiones son muy bajas, y que en el diseño de los ventiladores considerar al aire como incompresible introduce un error menor al 10% en el caso de las máximas presiones, es ingenierilmente aceptable despreciar los efectos de compresibilidad, de tal manera que los diseños de estas máquinas se realizan utilizando las leyes de la Mecánica de Fluidos exclusivamente. Los compresores y sopladores generan presiones mayores que la atmosférica y por consiguiente la compresibilidad no puede ser despreciada sin introducir grandes errores, y por eso se las consideran como máquinas termohidráulicas.

Otro factor que se habrá notado es de que las presiones al ser pequeñas, usar unidades de presión ya sea en el Sistema

Internacional ó en el Inglés dificulta la manipulación de los cálculos en los diseños y en la selección de elementos y accesorios, por esa razón y por costumbre aún se sigue utilizando la longitud de la columna de agua como medida de presión.

En general se puede considerar que:

Ventiladores de baja presión	0-300 mm col H ₂ O
Ventiladores de mediana presión	300 - 900 mm col H ₂ O
Ventiladores de alta presión	900 - 1500 mm col H ₂ O

La clasificación más común de los ventiladores hace referencia a la dirección del flujo del aire con respecto al eje de rotación del ventilador, y es así como se clasifican en:

Ventiladores Axiales

Ventiladores Centrífugos

2.4.1. VENTILADORES AXIALES.

Estos ventiladores se caracterizan por generar grandes cantidades de flujo a baja presión. Estos a su vez pueden clasificarse en:



Axiales de Superficie Ancha, Axiales de Alabes Aerodinámicos
Ambos manejan grandes cantidades de flujo, pero en el caso de los de Superficie Ancha generan presiones de hasta 25 mm col H₂O con bajo ruido y relativa perfomancia. En el caso de los aerodinámicos, las presiones generadas pueden alcanzar los 150 mm col H₂O aunque lo hacen a altas RPM, con la consiguiente generación de ruido a relativa perfomancia.

Los ventiladores axiales de paleta ancha son de fácil construcción y por ende económico, son usados comúnmente para extraer aire de edificaciones y diluir las concentraciones de los diferentes tipos de contaminantes industriales.

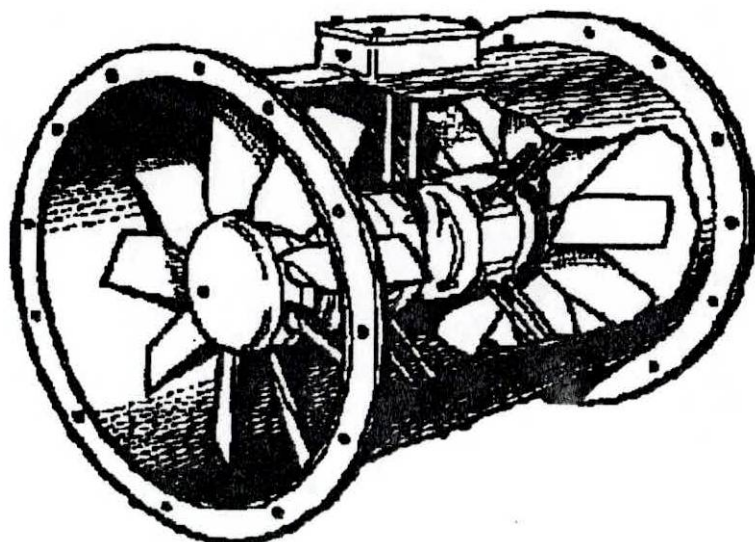


Figura 2.6 Ventilador axial.

Cuando se requiere remover grandes cantidades de aire, los axiales de alabes anchos son de gran diámetro y bajas RPM, éstas características le permiten cumplir la función sin generar ruido (factor importante en ciertas aplicaciones), y sin complicaciones constructivas (por la poca rigidez debido a que se los construyen a partir de planchas).

Estos ventiladores son generalmente los más eficientes para operar con el giro en ambas direcciones, lo que permite revertir el flujo cuando sea necesario. Por la forma de las aletas, éstos pueden operar como extractores o ventiladores invirtiendo el giro del motor. Las curvas características de este tipo de ventiladores son las siguientes:

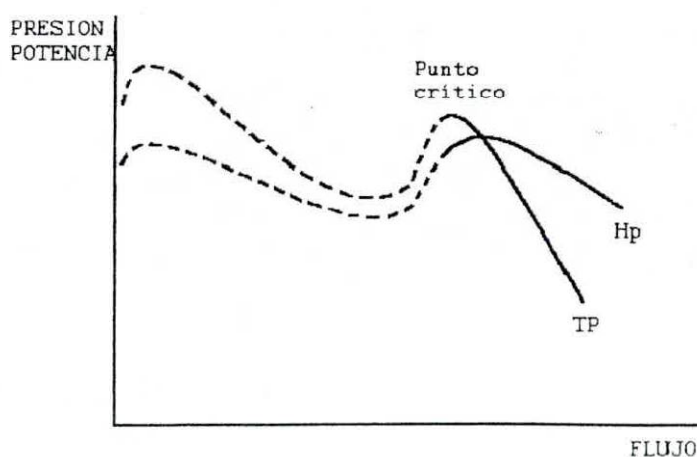


Figura 2.7 Curva característica de los ventiladores
Axiales.

Del gráfico podemos observar que a medida que la presión aumenta, la potencia absorbida también aumenta. Si la potencia absorbida sobrepasare la potencia del motor, este se recalentaría y eventualmente se puede quemar. Por esta razón estos ventiladores no son recomendables para trabajar con ductos que ocasionen resistencia al flujo de aire por encima de 25 mm col H₂O. También se debe tomar en cuenta que la menor potencia que estos ventiladores consumen, es cuando la resistencia al flujo de aire es cero, por consiguiente cuando se quieran probar estos ventiladores es más seguro hacerlo con la descarga y la succión sin restricciones.

El efecto propulsor de los alabes varía en función de su forma, un ventilador con palas largas y curvadas desplazará más cantidad de aire y será más silencioso que uno de alabes planos y rectos para un mismo diámetro y velocidad. Los alabes estrechos y rectos provocan más turbulencia y tienen más tendencia a vibrar, ambos efectos provocan más ruido.

El flujo de aire inducido por estos ventiladores entra de todas direcciones y es descargado axialmente, pero algo del flujo es emitido radialmente. Para que este tipo de ventiladores den un

volumen máximo en condiciones de flujo libre, es necesario que el filo de las paletas esté al ras con la carcasa que lo contiene.

La presión máxima se obtiene, proyectando las paletas hacia delante de la carcasa que lo contiene, de esta manera se permite una descarga centrífuga del aire a través de las puntas de los mismos, reduciendo las pérdidas ocasionadas por la contracorriente.

Los ventiladores axiales de alabes aerodinámicos son contruidos para aplicaciones especiales, el perfil tipo ala de avión, hacen su construcción mas complicada y por ende son mas caros que los alabes de paleta ancha. Su alto rendimiento, 90% usualmente, lo hacen atractivos para aplicaciones en donde los centrífugos complican la instalación, siendo más pequeños, y de menor peso que éstos para el mismo efecto útil.

El perfil aerodinámico tiene una arista de entrada relativamente ancha y se angosta hacia una arista de salida muy delgada. La longitud de esta sección es la cuerda, y el

ángulo formado por la dirección de rotación y la superficie es el ángulo de incidencia ó paso. Estos tres factores inciden en el funcionamiento de este tipo de alabes.

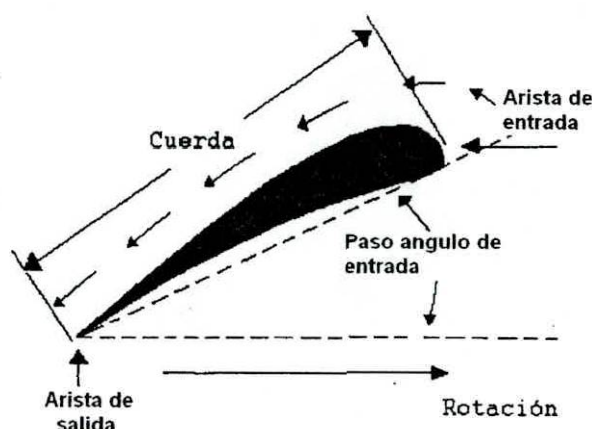


Figura 2.8 Alabes de los ventiladores.

La presión engendrada es también afectada por el diámetro del rotor. Los ventiladores de gran diámetro desarrollan presiones más elevadas para una misma velocidad periférica que aquellos que tienen diámetros más pequeños, aunque con sacrificio del flujo de aire. Para los mismos diámetros de ejes y periferia, e igual velocidad, la presión desarrollada está en función del área total del alabe, aunque un límite máximo sea impuesto por interferencia mutua en el caso de que los alabes se superpongan demasiado. El número de alabes no tiene importancia en los axiales, un número pequeño de alabes

anchos equivalen a un gran número de alabes estrechos, teniendo la misma cuerda y área total.

El volumen de aire está en función del ángulo de incidencia, y es por eso que dado el gran rendimiento de estos ventiladores, algunos modelos incluyen dispositivos para variar estos ángulos, se pueden obtener una gran gama de flujos para una velocidad y diámetro dados para diferentes ángulos de incidencia.

De acuerdo a las curvas características de estos ventiladores, la presión crece a medida que disminuye el flujo. Para ángulos de incidencia elevados se puede alcanzar un punto en el cual el ventilador no desarrolla la presión requerida para liberar el flujo de aire preciso. Esto se pone de manifiesto en un bajón brusco de la curva (línea punteada). El punto donde comienza este bajón se lo conoce como "punto crítico". Es indeseable usar ángulos de incidencia relativamente altos para flujos inferiores a aquel en que se manifiesta el punto crítico.

A fin de mantener la presión máxima con estos ventiladores, es necesario que haya un huelgo mínimo entre la extremidad

de los alabes y la carcasa. Este huelgo varía entre 0.1% y 0.4% del diámetro del impulsor, en efecto las únicas limitaciones de este huelgo son las impuestas por el diseño mecánico y las tolerancias de fabricación.

El flujo inducido por los ventiladores axiales es paralelo al eje, pero en forma de tirabuzón, es decir que el flujo de aire es inducido a rotar alrededor del eje. La rotación de este aire representa parte de la energía puesta en juego, es decir que una parte de la energía disponible para crear la presión, es absorbida por la rotación del aire.

Si se deja que el flujo de aire se enderece por si mismo, esta energía rotacional se perderá en gran parte resultando así en una pérdida de presión. Para obtener del ventilador la presión máxima, es preciso hacer desaparecer la rotación del aire con la mínima pérdida de energía posible. Esta acción se logra introduciendo aletas estáticas, las cuales facilitarán el enderezamiento del aire arremolinado a la salida de los alabes. Estas aletas son conocidas como aletas directrices, y se pueden lograr aumentos de la presión de un 10% hasta un 30%.

Las aletas directrices pueden ser colocadas a la entrada del ventilador, a fin de poner en rotación el aire entrante al ventilador. En este caso la hélice está diseñada para admitir aire en rotación, transmitirle energía y descargarlo con la mínima rotación. En este caso la única pérdida de energía es debida a imperfecciones en el diseño y fabricación del ventilador. Por este método el aumento de presión es de 20% a un 60%.

En general los ventiladores axiales generan grandes cantidades de flujo a baja presión. En algunas aplicaciones (minería) se requieren grandes cantidades de flujo a gran presión, condiciones que no pueden ser alcanzadas por los axiales ni por los ventiladores centrífugos.

En estos casos la analogía eléctrica es aplicable, circuitos conectados en serie provocan que la presión total (potencial, que causa el flujo) del circuito, sea la suma de las presiones inducidas por cada componente del circuito. Sin embargo, el movimiento rotacional del aire que abandona una hélice reduce considerablemente el aumento de presión obtenido en la siguiente etapa, aún cuando éstas estén diseñadas para

aceptar aire en rotación. El efecto de doblar la presión de una unidad con dos hélices conectadas en serie, no se logrará sin aletas directrices entre etapas, y se alcanzarán incrementos de presión del 50% solamente.

Una posibilidad de mejorar esta situación sin colocar alabes directrices, se obtiene usando una hélice en la segunda etapa que rote en sentido contrario a la primera, logrando de esta manera los efectos beneficiosos de una prerrotación del aire a la entrada de la segunda etapa.

La presión desarrollada por esta unidad será del orden de tres veces la que daría una etapa simple sin aletas directrices, y dos veces la presión obtenida por el mejor conjunto similar con aletas directrices a la salida.

Dos etapas no constituyen el límite a que puede extenderse este principio. Las unidades a contrarrotación pueden ser muy económicas y cómodamente construidas unidad por unidad hasta la obtención de presiones muy elevadas. Nótese que el flujo de aire en estos circuitos, corresponde al flujo de una sola etapa.

2.4.2. VENTILADORES CENTRIFUGOS.

Estos ventiladores se caracterizan por generar grandes presiones con flujos relativamente bajos, exactamente lo contrario a los axiales. Estos ventiladores son menos eficientes que los axiales, y en gran parte se debe al cambio de la dirección del aire que el ventilador induce. En estos ventiladores el flujo entra en sentido axial y se descarga radialmente, y para eso el flujo de aire debe girar en ángulo recto (90°). La carcasa tiene una forma de voluta y sirve para conducir el flujo a la descarga y para convertir la presión estática en presión dinámica en la extremidad de las paletas.

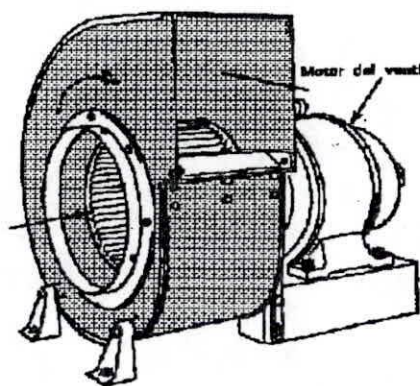


Figura 2.9 Ventilador centrífugo.

Estos ventiladores a su vez se clasifican en:

Hélices radiales rectas.

Hélices curvadas hacia adelante.

Hélices curvadas hacia atrás.

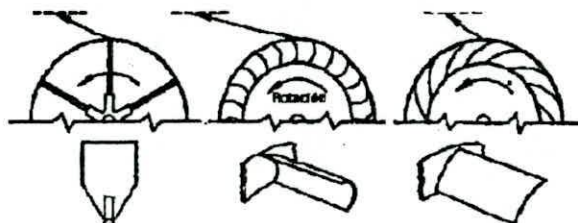


Figura 2.10 Descripción de las hélices ventilador centrífugo.

El ventilador de paletas rectas es el más simple para construir y por ende el más económico. Su rendimiento es el más bajo de los centrífugos y por eso son destinados para presiones moderadas. Las paletas radiales previenen que sólidos se adhieran a los alabes y por consiguiente se auto-limpian. Por esta razón, estos son los únicos ventiladores centrífugos que deben ser usados en transporte neumático.

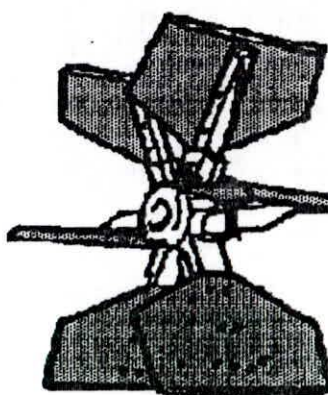


Figura 2.11 ventilador de paletas rectas.

Como la construcción de este tipo de ventiladores es muy sencilla y por consiguiente de bajos costos, se los encuentra disponibles en cualquier medio por pequeña que sea la tecnología disponible, lo que resulta muy conveniente.

En la figura mostrada el ventilador carece de los anillos laterales, lo cual incide determinantemente en la eficiencia.

En ciertas aplicaciones como en la industria del papel, plástico, cartón, etc. cuando se requieren transportar los remanentes de la producción, es necesario que la paleta tenga cierta rigidez para poder halar el material y transportarlo convenientemente, aquí es necesario que no hayan anillos laterales para prevenir el atascamiento de la turbina.

En aplicaciones donde los sólidos sean demasiados abrasivos, como en la industria del cemento, minería, etc. los ventiladores tienen un sólo anillo cuando son de succión simple.

Las curvas características de estos ventiladores son:

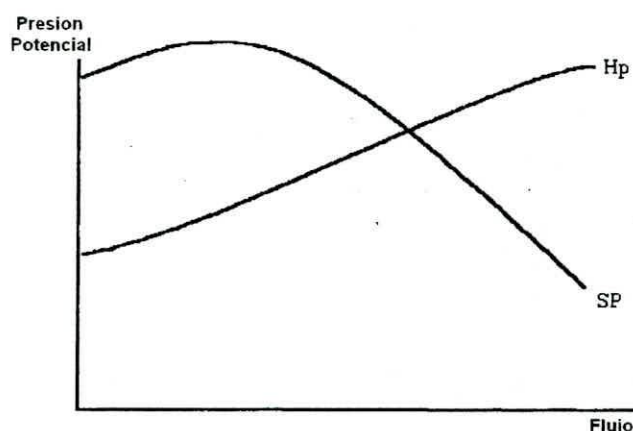


Figura 2.12 Curva característica de los ventiladores
Centrífugos.

Como se puede observar del gráfico, la potencia aumenta a medida que aumenta el flujo (disminuye la presión), característica que se cumple en todos los centrífugos. Esta relación establece que la menor potencia consumida se da para condiciones de flujo cero, y por el contrario la máxima cantidad de energía se consume al máximo flujo, ó a la menor presión. Esto hace que los ventiladores centrífugos no deban ser probados sin ocasionarles una resistencia al flujo de aire, de otra manera se recalentará el motor y eventualmente se quemará.

Los más altos rendimientos se obtienen cuando los alabes tienen la superficie curvada. Los mejores rendimientos se

logran con la curvatura hacia atrás con respecto al sentido de rotación. Esta forma favorece el flujo de aire a través de los alabes, reduciendo el choque y las pérdidas por remolinos. La eficiencia de estas turbinas es muy dependiente del ángulo de entrada del alabe, y de la curvatura del anillo que está del lado de la succión, el primero evita el choque del aire y el segundo el desprendimiento del flujo de la superficie que lo conduce. Además de la eficiencia, el ruido es dependiente de estos factores.

Por la curvatura de los alabes, y del anillo de succión, la construcción de estas turbinas es más compleja y costosa, requiere además de cierta tecnología. Estas curvaturas favorecen la acumulación de materiales sólidos que vengan en el aire, la corrosión, y la abrasión, por lo que estos ventiladores son recomendados sólo para manejar aire limpio.

Estos ventiladores actúan a mayores velocidades tangenciales que los otros tipos, y sus alabes son mas largos que los del tipo curvados hacia adelante, y por lo general más son pesados. El flujo de aire para un diámetro dado es menor que



en el caso de los ventiladores con alabes curvados hacia adelante, no obstante el rendimiento es mayor.

Los ventiladores con aletas curvadas hacia adelante tiene poca altura radial y son generalmente muy numerosos (48 aletas). Los alabes van montados entre anillos laterales o con un plato sólido en un lado. El alabe curvado hacia adelante tiene el efecto de cuchara en el aire, y por consiguiente la velocidad del aire a la salida del rotor es mayor que en los otros. En consecuencia este diseño mueve más aire que otros para un diámetro y velocidad dados.

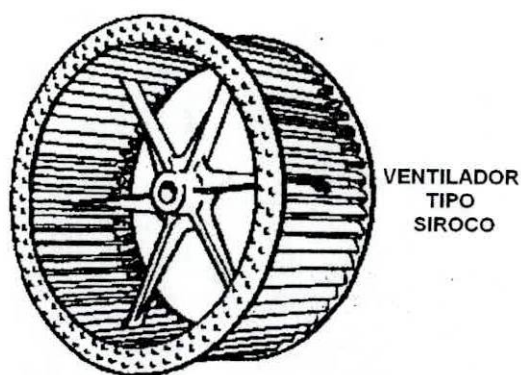


Figura 2.13 Ventilador tipo siroco.

Las curvas características de este tipo de ventiladores se muestran a continuación:

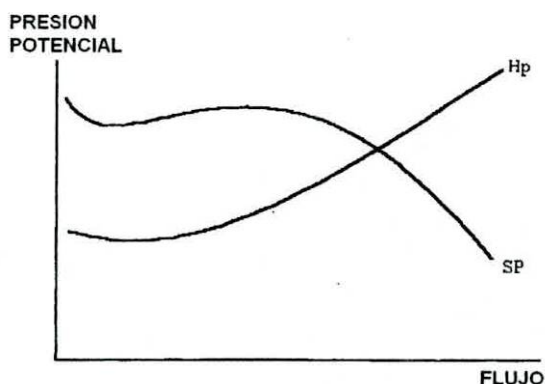


Figura 2.14 Curva característica de los ventiladores siroco.

El incremento de potencia a volumen máximo es bastante más acusado en este tipo de ventiladores. Este factor afecta considerablemente la potencia del motor requerida para impulsar el rotor.

Las paletas pueden ser construidas de plancha de acero, es decir a sección constante. También pueden ser construidas con perfil aerodinámico, lo cual aumenta la eficiencia del ventilador, sin embargo la complejidad de la construcción de estos rotores hacen que su costo no se justifique con respecto a la ganancia en el rendimiento.

Así mismo, cuando en ciertas aplicaciones se requiere generar flujos grandes y al mismo tiempo presiones grandes, de

acuerdo a las características de los ventiladores centrífugos, para obtener flujos grandes se deben conectar ventiladores centrífugos en paralelo. Aquí la presión permanece constante y el flujo dependerá de la cantidad de unidades conectadas en paralelo.

Un caso especial de esta conexión se logra construyendo rotores con doble admisión, aquí el plato soportante se coloca en la mitad del rotor y accesorios especiales se requerirán para apoyar el rotor en un eje pasante con los rodamientos a ambos lados del rotor.

En muchas aplicaciones en donde el flujo debe ser suficientemente grande, los rotores de doble admisión son colocados en un solo eje y en la cantidad necesaria para obtener el objetivo final, la única limitación está determinada por la flexibilidad del eje en función de su longitud.

Ejemplos de estos casos se encuentran frecuentemente en las unidades manejadoras de las centrales de aire acondicionado, y en torres de enfriamiento.



La siguiente figura muestra un rotor de doble admisión.

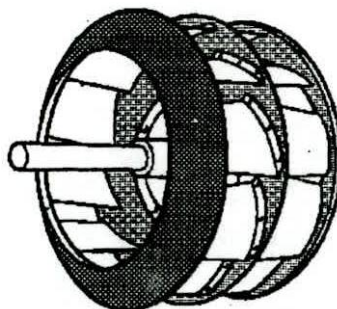


Figura 2.15 Rotor de doble admisión.

La relación entre el flujo de aire, presión, potencia, y rendimiento de cualquier tipo de ventilador puede definirse usando la siguiente relación:

$$P(Hp) = \frac{Q\left(\frac{m^3}{seg}\right) * TP(mmCOL - H_2O)}{91.24 * Eficiencia} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

2.5. CRITERIO DE LA LEY DE DARCY.

Ley que lleva su nombre fue obtenida por Darcy en forma experimental, trabajando con medios homogéneos y con un solo fluido. Sin embargo la formulación más simple de dicha ley (para sistemas lineales) puede considerarse casi "intuitiva": El caudal de un fluido que circula por un medio poroso lineal depende de:

- Las propiedades geométricas del sistema: Área y Longitud.
- Las características del fluido: Principalmente su Viscosidad.
- Las condiciones de flujo: Diferencia de Presión entre los extremos del sistema.

De este modo resulta casi "evidente" que, a igualdad de las otras variables del sistema, el caudal que circula por el medio poroso crece en forma directa con la diferencia de presión aplicada y con el área de flujo disponible y decrece cuando aumenta la longitud y la viscosidad del fluido.

En forma analítica esta dependencia se expresa en la siguiente fórmula:

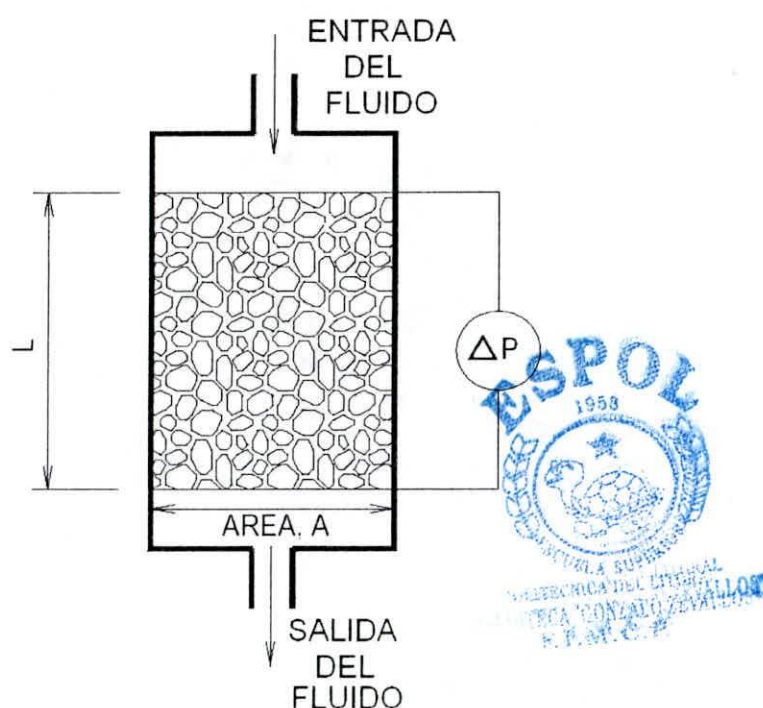


Figura 2.16 Criterio de la ley de Darcy.

$$\frac{k}{\mu} * \left(\frac{P_o - P_L}{L} \right) = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde la constante que vincula ambos términos de la ecuación se conoce como **Permeabilidad (k)** del medio poroso y constituye una propiedad de dicho medio. Expresado en otras palabras: Cualquier cambio en las variables que se encuentran en el lado derecho de la expresión produce un re-acomodamiento en las otras variables, o en el caudal, pero la Permeabilidad permanece inalterada.

Una vez aceptado que la Permeabilidad es una propiedad del medio poroso (no depende del fluido, ni de la geometría del sistema ni de las condiciones de flujo) cabe definir dicha propiedad de la siguiente forma:

La Permeabilidad es una medida de la capacidad de un medio poroso para conducir fluidos.

En la práctica, dicha capacidad de conducir fluidos se mide por medio de un registro del caudal entrante o saliente del sistema.

En el modelo empleado para la medición y cálculo de la permeabilidad de un medio poroso se asume que la capacidad de conducir fluidos es la misma que la capacidad de inyectar y que la



capacidad de producir fluidos. Dicho modelo (Conducción = Inyección = Producción) es absolutamente válido en las condiciones planteadas por Darcy (flujo de un fluido incompresible, lineal y monofásico).

CAPITULO 3

3. DISEÑO Y CALCULO DEL SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES.

3.1. CALCULO DEL FLUJO REQUERIDO.

El tipo de combustible es de la siguiente denominación Fuel Oil Liviano Tipo 4A y tiene las siguientes propiedades:

$$\text{Densidad} = 960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Carbono} = 86\%$$

$$\text{Hidrogeno} = 11.5\%$$

$$\text{Nitrogeno} = 1\%$$

$$\text{Azufre} = 1.5\%$$

$$\text{Exceso - de - Aire} = 25\%$$

$$\text{Poder - Calorifico} = 42980 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Un punto muy importante es la temperatura que existiría en el ventilador y la temperatura con la que sale de la chimenea. Entonces se va a trabajar con una temperatura máxima en el ventilador de 370 ° C y a la salida de la chimenea de 280 ° C, Para obtener el flujo requerido por el ventilador, estos datos de temperatura fueron tomados de un horno de 80 TPD el cual se estudió los problemas y las temperaturas críticas que se manejan.

3.1.1. FLUJO DEBIDO A LA COMBUSTIÓN.

Para el promedio de combustible con el que se va a trabajar se lo va a denotar de la siguiente manera:

Para un horno de 80TPD se requiere $108,5 \frac{\text{galones}}{h}$ (Dato

tomado de un horno de estas características) entonces:

$$\begin{aligned} 80TPD &\rightarrow 108,5 \frac{\text{galones}}{h} \\ 35TPD &\rightarrow X \end{aligned}$$

Entonces tenemos un promedio de combustible $47,5 \frac{\text{galones}}{h}$

para un horno de 35TPD.

$$\dot{m}_{fuel} = \dot{V} * \rho \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\dot{m}_{fuel} = (47,5 \frac{\text{gal}}{h} * \frac{3,785 \times 10^{-3} m^3}{1 \text{gal}}) * (960 \frac{\text{kg}}{m^3})$$

$$\dot{m}_{fuel} = 172.596 \frac{kg}{h}$$

Una vez terminada la relación del flujo de combustible se procede a determinar la formula del combustible utilizado

$CH_{\frac{Y}{X}}S_{\frac{Z}{X}}N_{\frac{W}{X}}$ por medio del porcentaje de los componentes de

este:

$$(Ecuación 3.1) \quad CH_{\frac{Y}{X}}S_{\frac{Z}{X}}N_{\frac{W}{X}}$$

$$\left(\frac{y}{x}\right) = \frac{(M_C) * (\%H)}{(M_H) * (\%C)} = \frac{(12) * (11.5)}{(1) * (86)} = 1.6046512$$

$$\left(\frac{z}{x}\right) = \frac{(M_C) * (\%S)}{(M_S) * (\%C)} = \frac{(12) * (1.5)}{(32) * (86)} = 0.0065407$$

$$\left(\frac{w}{x}\right) = \frac{(M_C) * (\%N)}{(M_N) * (\%C)} = \frac{(12) * (1)}{(14) * (86)} = 0.0099668$$

Como podemos ver nuestro combustible tiene la siguiente característica:

$$CH_{1.6046512}S_{0.0065407}N_{0.0099668}$$

Luego procedemos a determinar la relación aire-combustible partiendo de la ecuación de combustión completa para nuestro combustible:

(Ecuación 3.2)

$$CH_{\frac{Y}{X}}S_{\frac{Z}{X}}N_{\frac{W}{X}} + (1 + EA) * \left(1 + \frac{y}{4 * x} + \frac{z}{x} + \frac{w}{x}\right)(O_2 + 3.76 * N_2) \Leftrightarrow PRODUCTOS$$



(Ecuación 3.3)

$$m_{\frac{a}{f}} = \frac{m_{aire}}{m_{fuel}} = \frac{(1 + EA) * (1 + \frac{y}{4 * x} + \frac{z}{x} + \frac{w}{x})(O_2 + 3.76 * N_2)}{CH_{\frac{y}{x}} S_{\frac{z}{x}} N_{\frac{w}{x}}}$$

$$m_{\frac{a}{f}} = \frac{(1 + 0.25) * (1 + \frac{1.6046512}{4} + 0.0065407 + 0.0099668)(32 + 3.76 * 28)}{(12 * 1) + (1 * 1.6046512) + (32 * 0.0065407) + (14 * 0.0099668)}$$

$$m_{\frac{a}{f}} = 17.434509$$

Luego procedemos a determinar el flujo de gas.

$$\dot{m}_g = \dot{m}_f * (m_{\frac{a}{f}} + 1) \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$\dot{m}_g = (172.596 \frac{kg}{h}) * (17.434509 + 1) * \frac{1h}{3600seg}$$

$$\dot{m}_g = 0.8838118 \frac{kg - gas}{seg}$$

Procedemos a determinar el gasto del aire de la siguiente manera:

(Ecuación 3.5)

$$\rho_{aire@280^{\circ}C@1atm} = \rho_{aire@15^{\circ}C@1atm} * (\frac{T_o}{T_{requerida}}) * (\frac{P}{P_o})$$

$$\rho_{aire@280^{\circ}C@1atm} = (1.25) * (\frac{273+15}{273+280}) * (\frac{1}{1})$$

$$\rho_{aire@280^{\circ}C@1atm} = 0.6509946 \frac{kg}{m^3}$$

Entonces el gasto debido a la combustión es:

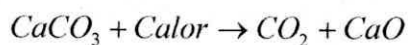
$$Q_{fuel} = \frac{\dot{m}_g}{\rho_{aire @ 280^\circ C @ 1atm}} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

$$Q_{fuel} = \left(\frac{0.8838118 \frac{kg}{seg}}{0.6509946 \frac{kg}{m^3}} \right) * \left(\frac{3600 seg}{1h} \right)$$

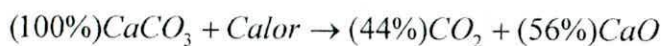
$$Q_{fuel} = 4887.4793 \frac{m^3}{h}$$

3.1.2. FLUJO DEBIDO A LA REACCIÓN QUÍMICA DEL CARBONATO DE CALCIO.

Primero obtengamos como reacciona el carbonato de calcio con la presencia de calor. La reacción química del carbonato de calcio agregándole calor es la siguiente:



Dejemos expresada la ecuación con su respectivo peso molecular para obtener un porcentaje con respecto a cada fracción.



Como lo que requerimos obtener es 35 toneladas de oxido de calcio diaria expresamos la siguiente reacción.



Entonces en el horno hay que ingresarle $62.5 \frac{\text{Tonelada}}{\text{diaria}} CaCO_3$

para que produzca $35 \frac{\text{Tonelada}}{\text{diaria}} CaO$ y el otro porcentaje es lo

que genera como CO2.

Por la producción de CO2 tenemos:

$$Q_{CaCO_3} = \frac{(\text{fraccion} - \text{de} - CO_2)}{\rho_{CO_2 @ 370^\circ C}} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

$$Q_{CaCO_3} = \frac{(27.5 \frac{\text{Tonelada}}{\text{diaria}} CO_2) * (\frac{1000kg}{1\text{tonelada}}) * (\frac{1\text{dia}}{24h})}{0.83 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Q_{CaCO_3} = 1380.5221 \frac{m^3}{h}$$

3.1.3. VENTILADOR REQUERIDO.

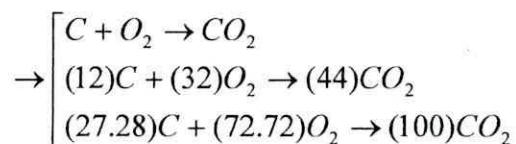
En la parte del sistema de extracción de gases del horno están inducidos dos tipos de ventiladores que son:

- Ventilador de aire primario.
- Ventilador de gas de reciclaje.

FLUJO DEL VENTILADOR PRIMARIO.

$$Q_{fuel} = 4887.4793 \frac{m^3}{h}$$

Estequiometria del CO₂:



Para producir $4887.4793 \frac{m^3}{h}$ de CO₂ se necesita la siguiente

cantidad de O₂

$$= (0.7272) * (4887.4793)$$

$$= 3554.1749 \frac{m^3}{h} CO_2$$

Composición del aire se caracteriza de la siguiente manera:



$$\rightarrow \begin{cases} O_2 \rightarrow 21\% \\ N_2 \rightarrow 79\% \end{cases}$$

⇒ Flujo de aire necesario para la combustión es:

$$3554.1749 \frac{m^3}{h} CO_2 \rightarrow 21\%$$

$$x \rightarrow 100\%$$

$$x = 16924.643 \frac{m^3}{h} \text{aire} - \text{total}$$

$$Q_{PRIMARIO} = \frac{\text{flujo} - \text{de} - \text{aire} - \text{total}}{\# \text{quemadores}} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

$$Q_{PRIMARIO} = \frac{16924.643 \frac{m^3}{h} \text{aire} - \text{total}}{6}$$

$$Q_{PRIMARIO} = 2820.7738 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{PRIMARIO} = 1660.03 CFM$$

FLUJO DEL VENTILADOR DEL GAS DE RECICLAJE.

En cuanto al flujo del reciclo y el flujo de aire falso podemos dejarlo expresado por las siguientes condiciones:

Para el reciclo tomaremos un 60% del flujo total de la combustión de la reacción química del carbonato de calcio y del combustible. Este valor asumido se debe a que cuando se produce la combustión el nitrógeno absorbe una cantidad de carga térmica en el interior del horno y por ende es recomendable ingresar un aire de reciclo en el horno para no tener que calentar al nitrógeno.

Para el flujo de aire falso es recomendable trabajar de un 60-65% del flujo de combustible, esto se debe que existe aire falso en la parte superior de horno, en los quemadores y en la parte de descarga del horno.

Entonces calculando los flujos con estas condiciones obtendremos:

$$Q_{RECICLO} = 0.6 * (Q_{fuel} + Q_{CaCO_3}) \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

$$Q_{RECICLO} = 0.6 * (4887.4793 \frac{m^3}{h} + 1380.5221 \frac{m^3}{h})$$

$$Q_{RECICLO} = 3760.8008 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{RECICLO} = 2213.23CFM$$

$$Q_{aire-falso} = 0.6 * (4887.4793 \frac{m^3}{h})$$

$$Q_{\text{aire-falso}} = 2932.4876 \frac{m^3}{h}$$

FLUJO DEL VENTILADOR EXHAUSTOR.

Una vez encontrados los flujos primordiales del proceso determinaremos el flujo para el ventilador.

(Ecuación 3.10)

$$\Rightarrow Q_{\text{VENTILADOR}} = Q_{\text{fuel}} + Q_{\text{CaCO}_3} + Q_{\text{RECICLO}} + Q_{\text{aire-falso}}$$

$$Q_{\text{VENTILADOR}} = 4887.4793 \frac{m^3}{h} + 1380.5221 \frac{m^3}{h} + 3760.8008 \frac{m^3}{h} + 2932.4876 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{\text{VENTILADOR}} = 12961.29 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{\text{VENTILADOR}} = 7627.72 \text{CFM}$$

3.2. SELECCIÓN DEL CICLÓN.

Para el diseño del ciclón hay que tomar en cuenta las partículas sólidas que se va a querer separar de los gases de combustión. Se tomo una muestra de las partículas sólidas que se va a transportar en los ductos del cual se obtuvo una densidad promedio y un diámetro de la partícula mas grande que se encontró en dicha muestra.

$$\rho_{SOLIDO} = 1332 \frac{kg}{m^3} \text{ (Densidad de la partícula).}$$

$$D_{SOLIDO} = 4.75 \times 10^{-3} m \text{ (Diámetro de la partícula más grande).}$$

Con estos datos importantes vamos a encontrar la velocidad de sustentación de la partícula para ductos horizontales y ductos verticales (Ver capítulo 2).

$$V_{c,h} = C_1 * \left(\frac{\rho_s}{\rho_s + C_2} \right) * D_s^{0.4} \text{ (Ductos horizontales)}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 132.4 \\ C_2 &= 998 \end{aligned} \text{ (Ver capítulo 2)}$$

$$V_{c,h} = (132.4) * \left(\frac{1332}{1332 + 998} \right) * (4.75 \times 10^{-3})^{0.4}$$

$$V_{c,h} = 8.91 \frac{m}{seg}$$

$$V_{c,v} = C_1 * \left(\frac{\rho_s}{\rho_s + C_2} \right) * D_s^{0.6} \text{ (Ductos verticales)}$$

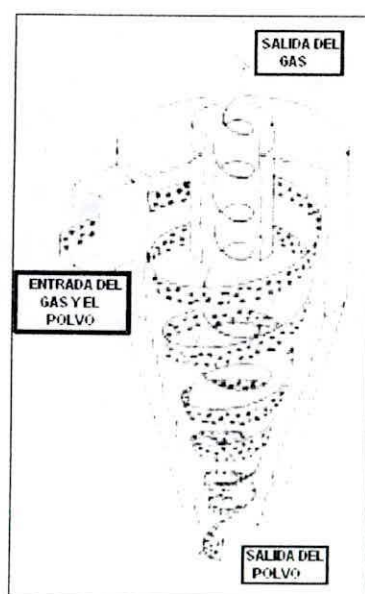
$$\begin{aligned} C_1 &= 566 \\ C_2 &= 998 \end{aligned} \text{ (Ver capítulo 2)}$$

$$V_{c,v} = (566) * \left(\frac{1332}{1332 + 998} \right) * (4.75 \times 10^{-3})^{0.6}$$

$$V_{c,v} = 13.06 \frac{m}{seg}$$

Como podemos darnos cuenta tenemos dos velocidades de sustentación entonces para el diseño del ciclón la velocidad con la que tenemos que trabajar como referencia es de 8.91 m/seg y no con 13.06 m/seg para que las partículas sólidas no pasen con el gas al ventilador.

La velocidad de salida del gas no debe ser mayor que 8.91 m/seg , trabajaremos con una velocidad de sustentación de 7.3 m/seg (dicha velocidad fue tomada empíricamente de un proceso similar al del diseño actual).



$$Q_{\text{VENTILADOR}} = 12961.29 \frac{m^3}{h}$$

$$V_{\text{salida-del-ciclon}} = 7.3 \frac{m}{seg}$$

Sabemos que el flujo esta denotado por $Q = V * A$ entonces:

$$A = \frac{Q}{V} \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

$$A = \frac{12961.29 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600seg}}{7.3 \frac{m}{seg}}$$

$$A = 0.4931998m^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * (0.4931998m^2)}{\pi}} = 0.793m$$

$$\phi = 0.793m$$

Redondeando $\phi_{\text{interior}} = 80cm$ (Diámetro a la salida del gas)

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12961.29 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600seg}}{\frac{\pi * (0.8m)^2}{4}} = 7.1627 \frac{m}{seg}$$

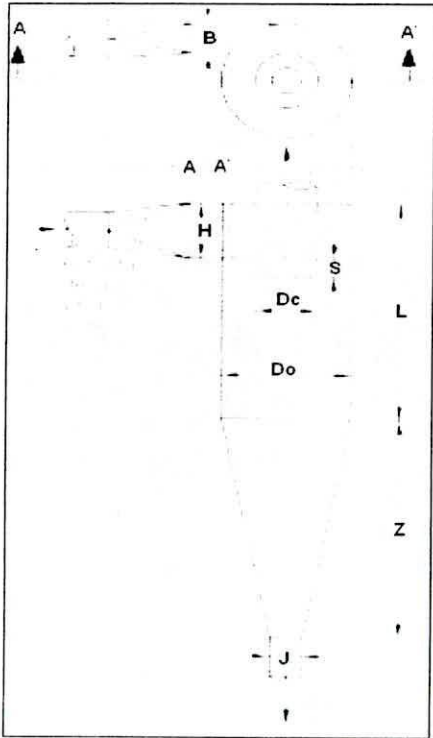
$$V = 7.1627 \frac{m}{seg}$$

⇒ La velocidad de sustentación a la salida del ciclón para nuestro diseño es:

$$V_{salida-del-ciclon} = 7.1627 \frac{m}{seg}$$

Como nos podemos dar cuenta que nuestra velocidad encontrada es menor que la velocidad de sustentación de la partícula para ductos horizontales. (Ver capitulo 2)

$$V_{salida-del-ciclon} = 7.1627 \frac{m}{seg} < V_{c,h} = 8.91 \frac{m}{seg}$$



$$B = \frac{Do}{4}$$

$$Dc = \frac{Do}{2}$$

$$H = \frac{Do}{2}$$

$$L = 2 * Do$$

$$S = \frac{Do}{8}$$

$$Z = 2 * Do$$

$$J = \frac{Do}{4}$$



Como ya calculamos el valor de D_c remplacemos los valores para obtener las dimensiones de todo el ciclón.

$D_c = 80cm$	$L = 320cm$
$D_o = 160cm$	$S = 10cm$
$B = 40cm$	$Z = 320cm$
$H = 80cm$	$J = 40cm$

⇒ La velocidad de sustentación a la entrada del ciclón para nuestro diseño es:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12961.29 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600seg}}{(0.8) * (0.4)} = 11.25112 \frac{m}{seg}$$

$$V_{entrada-del-ciclon} = 11.25112 \frac{m}{seg} > V_{c,h} = 8.91 \frac{m}{seg}$$

Y nos podemos dar cuenta que la velocidad a la entrada del ciclón es mayor que la velocidad de la partículas para ductos horizontales.

3.3. CALCULOS DE LAS DIMENSIONES DE DUCTOS.

Este sistema esta compuesto por ductos, bifurcaciones, uniones, codos y una campana para la extracción de los gases y sólidos.

Utilizaremos el método de velocidad constante para el diseño de los ductos (Ver capítulo 2).

$$V_{c,h} = C_1 * \left(\frac{\rho_s}{\rho_s + C_2} \right) * D_s^{0.4} \text{ (Ductos horizontales)}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 132.4 \\ C_2 &= 998 \end{aligned} \text{ (Ver capítulo 2)}$$

$$V_{c,h} = (132.4) * \left(\frac{1332}{1332 + 998} \right) * (4.75 \times 10^{-3})^{0.4}$$

$$V_{c,h} = 8.91 \frac{m}{seg}$$

$$V_{c,v} = C_1 * \left(\frac{\rho_s}{\rho_s + C_2} \right) * D_s^{0.6} \text{ (Ductos verticales)}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 566 \\ C_2 &= 998 \end{aligned} \text{ (Ver capítulo 2)}$$

$$V_{c,v} = (566) * \left(\frac{1332}{1332 + 998} \right) * (4.75 \times 10^{-3})^{0.6}$$

$$V_{c,v} = 13.06 \frac{m}{seg}$$

En este grafico nos podemos ilustrar como esta compuesto nuestro sistema de ductos.

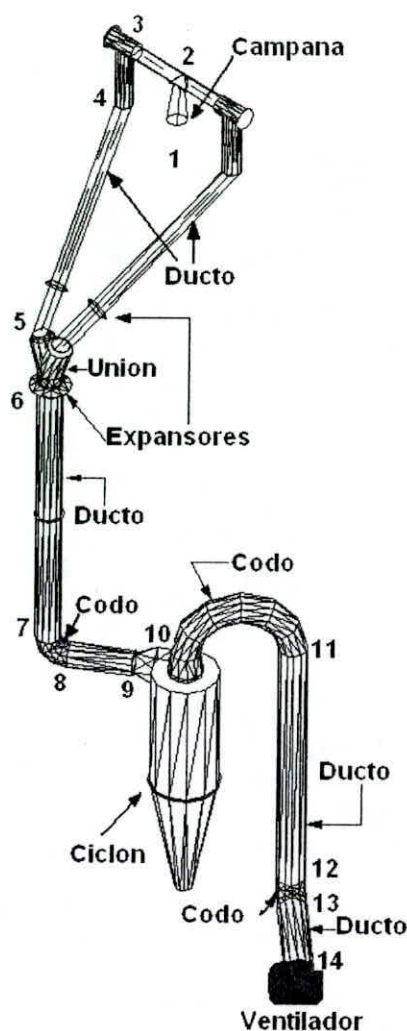


Figura 3. Descripción del sistema de extracción.

Tramo 1-2 (Diseño de la campana).

Para el diseño de la campana lo que requerimos es una velocidad con la cual atrape los sólidos tenemos dos velocidades de sustentación y trabajaremos con la de 13.06 m/seg que es la que atrapa al sólido más grande que se encuentre dentro del horno.

$$V_{c,v} = 13.06 \frac{m}{seg}$$

$$Q_{VENTILADOR} = 12961.29 \frac{m^3}{h}$$

$$Q = V * A$$

$$A = \frac{Q_{VENTILADOR}}{V_{Sustentacion-del-Solido}} = \frac{12961.29 \frac{m^3}{h} * (\frac{1h}{3600seg})}{13.06 \frac{m}{seg}} = 0.2756783m^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * (0.2756783m^2)}{\pi}} = 0.592456m$$

Este diámetro es en el punto A y se reduce hasta el punto B

$$(\phi_{interior} = 0.330m)$$

⇒ (Redondeando)

$$\phi_{interior} = 0.60m$$



Tramo (2-3),(3-4), (4-5). (Ductos).

Este tipo de ducto será de sección circular, mantenemos la velocidad constante para el diseño.

$$A_{(3-4),(4-5)} = \frac{Q}{V}$$

$$A_{(3-4),(4-5)} = \frac{\frac{12961.29 \text{ m}^3}{2} * \left(\frac{1h}{3600seg}\right)}{13.06 \frac{m}{seg}}$$

$$A_{(3-4),(4-5)} = 0.1378391m^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * (0.1378391m^2)}{\pi}} = 0.4189298m$$

⇒ (Redondeando)

$\phi_{interior} = 0.42m$

Tramo (6-7), (7-8), (8-9). (Ductos).

Este tipo de ducto será de sección circular, mantenemos la velocidad constante para el diseño.

$$A_{(6-7),(7-8),(8-9)} = \frac{Q}{V}$$

$$A_{(6-7),(7-8),(8-9)} = \frac{12961.29 \frac{m^3}{h} * \left(\frac{1h}{3600seg}\right)}{13.06 \frac{m}{seg}}$$

$$A_{(6-7),(7-8),(8-9)} = 0.2756783m^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * (0.2756783m^2)}{\pi}} = 0.5924563m$$

⇒ (Redondeando)

$\phi_{inferior} = 0.6m$

Tramo (10-11), (11-12), (12-13), (13-14). (Ductos).

Este tipo de ducto será de sección circular, mantenemos la velocidad constante para el diseño, pero recordemos que en el punto 10 es la salida del gas del ciclón y necesitamos que la velocidad sea menor que la velocidad de sustentación en ese punto vamos a trabajar con una velocidad de $V = 9.5 \frac{m}{seg}$.

$$A_{(10-11),(11-12),(12-13),(13-14)} = \frac{Q}{V}$$

$$A_{(10-11),(11-12),(12-13),(13-14)} = \frac{12961.29 \frac{m^3}{h} * (\frac{1h}{3600seg})}{9.5 \frac{m}{seg}}$$

$$A_{(10-11),(11-12),(12-13),(13-14)} = 0.3789851m^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * (0.3789851 m^2)}{\pi}} = 0.6946501 m$$

⇒ (Redondeando)

$$\phi_{interior} = 0.69 m$$

3.4. DIMENSIONES DE LA CHIMENEA.

Debido a que la mayoría de las chimeneas tienen secciones transversales circulares, el diámetro de la chimenea puede ser calculado vía la fórmula del diámetro del conducto donde tenemos 3 variables fundamentales, tomaremos como referencia la velocidad de salidas de los gases a una velocidad de $9.09 m/seg$

$$V_{salida} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi * \phi_{salida}^2}{4}} \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

Debe notarse que el diámetro de la chimenea en esta fórmula se mide en la salida de la chimenea y no en la entrada. Esto es porque, por razones estructurales, el diámetro en el fondo de la chimenea típicamente es mayor que el diámetro de la parte superior. Nótese también que la velocidad de salida de la chimenea no iguala

necesariamente la velocidad de transporte del conducto. Con esta velocidad y el flujo requerido obtendremos un diámetro de salida de los gases de $\phi_{salida} = 0.71m$.

Con respecto a la altura de diseño se va a tomar en cuenta factores como el lugar donde esta va a ser ubicada, y se realizara un análisis de dispersión y mediante graficas podamos visualizar los cambios que produzcan aumentar o reducir factores como altura de chimenea, velocidad de salida de los gases etc., trabajaremos con una altura de 32 metros la cual visualmente no afecta en nuestro alrededores pero hay que tomar en cuenta en sus gases emitido por eso se realizará un análisis de dispersión en el capítulo 4.

3.5. ESPESOR DE DUCTOS, CICLON Y CHIMENEA.

En cuanto al espesor, de los ductos del exhaustor, del ciclón y de la chimenea, el criterio de diseño estará basado en:

- Presión del sistema.
- Pérdidas de espesor debido a la transportación de gases y sólidos.
- Análisis estructural.

Presión del sistema.

La presión del sistema que tenemos es de 511mm Col H₂O, analizaremos una sección de ducto para encontrar el espesor requerido.

(Ecuación 3.14)

$$t = \frac{P * D}{2 * S * E} \quad (\text{Ver apéndice C}).$$

$$t = \frac{\left(511 \text{ mm-Col-H}_2\text{O} * \frac{1 \text{ atm}}{103327 \text{ mm-Col-H}_2\text{O}} * \frac{14,7 \text{ lb/pulg}^2}{1 \text{ atm}} \right) * (698 \text{ mm})}{2 * \left(58000 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \right) * (0,85)}$$

$$t = 0.0051464 \text{ mm}$$

Como nos podemos dar cuenta el espesor que se requiere por presión es muy pequeño y esto nos indica que por presión no va haber problema en todo el sistema.

Pérdidas de espesor debido a la transportación de gases y sólidos.

Debido a la transportación de los gases y sólidos tomaremos en cuenta un factor muy importante que es el *mpy*.

Para este tipo de proceso encontramos que el *mpy* nos da como resultado:

$$mpy = \frac{e_i - e_f}{\Delta T} \quad (\text{Ecuación 3.15})$$

	e_i (pulg)	e_f (pulg)	mpy
DUCTOS	5/32	0	7.4405
CICLON	3/16	0	8.9286
CHIMENEA	5/32	0	7.4405

Análisis estructural.

En el análisis estructural se trabajó con ductos de un rango de 2 a 4 mm de espesor y no se presento ninguna clase de problema con respecto al análisis de esfuerzo que realiza el programa SAP (computacional).

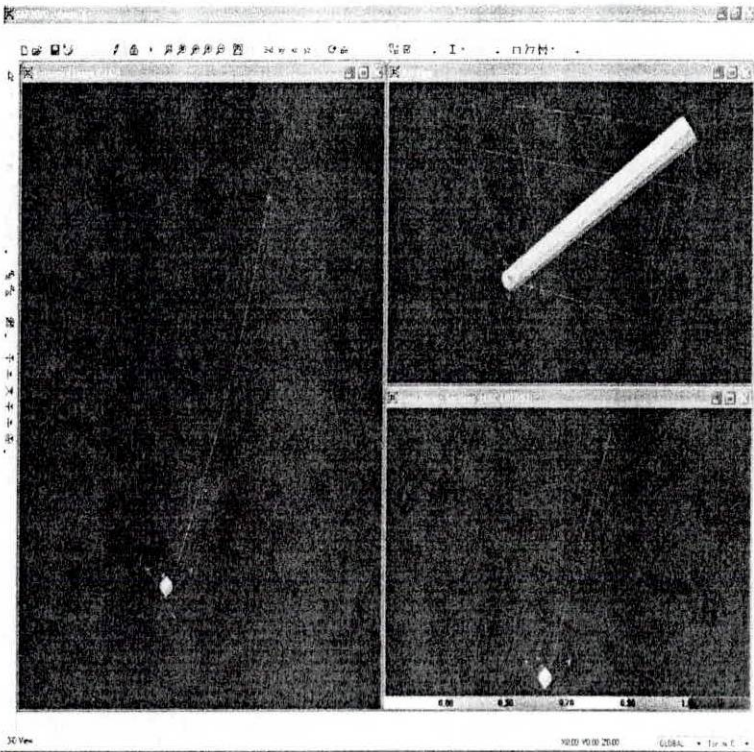


Figura 3.1 Análisis de esfuerzos en los ductos inclinados

El las graficas podemos observar algunos tramos de los ductos y la cual no presentan problema con su deformidad con respecto a su peso.

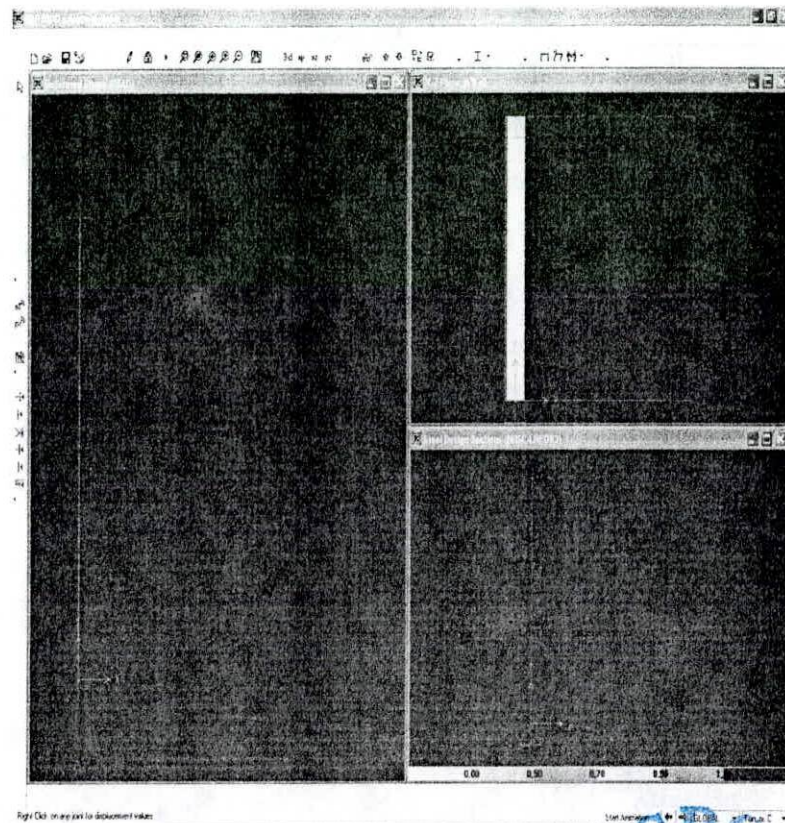


Figura 3.2 Análisis de esfuerzos en los ductos verticales

Para la parte estructural de la chimenea se trabajo variando tipos de espesores y los propuestos en los planos cumple su parte estructural.

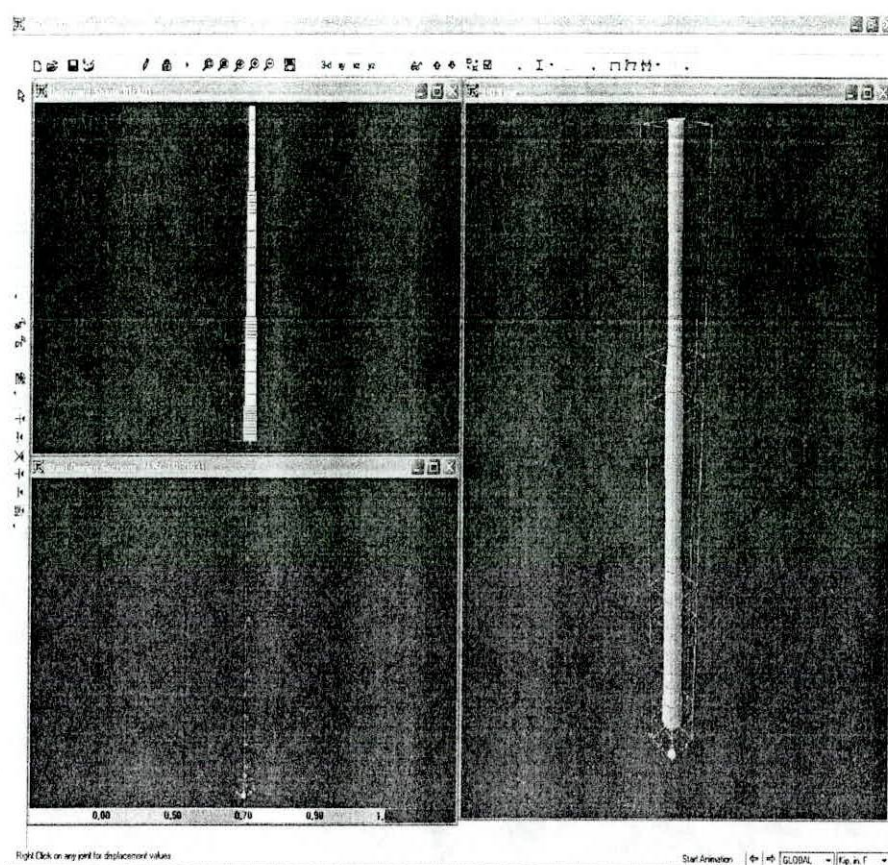


Figura 3.3 Análisis de esfuerzos de la chimenea.

Con las tres asunciones podemos determinar y dar a conocer un espesor adecuado para este sistema exhaustor y su chimenea (Ver en planos propuestos). Los espesores seleccionados fueron dados en base a la transportación de los gases y sólidos para una duración de 20 años en el cual este puede presentar deterioro en los ductos entre otros, en cuanto a su análisis estructural fue realizado con estos espesores seleccionados.

3.6. CALCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DEL VENTILADOR.

La caída de presión del sistema va a estar involucrado por las siguientes partes:

- Debido a la piedra durante el proceso de transformación a oxido de calcio.
- Debido a ductos del sistema.
- Debido al ciclón.
- Debido a la chimenea.

DEBIDO A LA PIEDRA DURANTE EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN A OXIDO DE CALCIO (Ver capitulo 2).

DATOS DE ENTRADA:

$$K = 2 \times 10^{-7} m^2 \quad (\text{Ver en el Apéndice B})$$

$$Q = 12961.29 \frac{m^3}{h}$$

$$\mu = 337 \times 10^{-7} \frac{N - seg}{m^2}$$

$$L = 19.85m$$

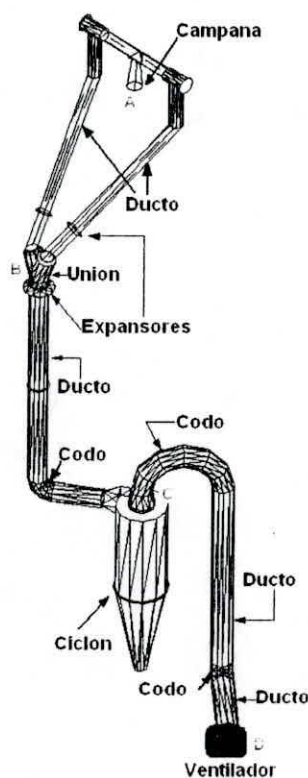
$$A = 2.54m^2$$

$$K = \frac{Q^* \mu^* L}{A^* \Delta P}$$

$$\Delta P = \frac{(12961.29 \frac{m^3}{h}) * (337 \times 10^{-7} \frac{N \cdot seg}{m^2}) * (19.85m) * (\frac{1h}{3600seg})}{(2.54m^2) * (2 \times 10^{-7} m^2)}$$

$$\Delta P = -482.6mm - Col - H_2O$$

DEBIDO A DUCTOS DEL SISTEMA.



Por campana:

(Ecuación 3.16)

$$h_e = 0.15 * (VP) \text{ (Ver en el apéndice A)}$$

$$V = 13.06 \frac{m}{seg}$$

$$(Ecuación 3.17) \quad VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2$$

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 = \left(\frac{13.06 \frac{m}{seg} * \frac{60seg}{1min} * \frac{1ft}{0.3048m}}{4005} \right)^2 * \frac{25.4mm}{1pulg} = 10.47mm - Col - H_2O$$

$$\text{Ó } VP = 0.412055 pulg - Col - H_2O$$

$$h_e = 0.15 * (10.47mm - Col - H_2O)$$

$$\boxed{h_e = -1.57mm - Col - H_2O}$$

Tramo A-B

Perdidas de fricción por longitud de ducto para un flujo de $6480.645 \frac{m^3}{h}$ en un conducto de 0.428m.

$$L = 1.75m + 1.57m + 5.24m = 8.56m$$

Por tabla (Ver en el apéndice A): $h_l / 100ft = 0.5 pulg - Col - H_2O$

$$h_l = 0.5 pulg - Col - H_2O * \left(\frac{L}{100} \right)$$

$$= (0.5 pulg - Col - H_2O) * \left(\frac{8.56m * \frac{1m}{0.3048ft}}{100} \right) = 0.1404199 pulg - Col - H_2O$$

$$\boxed{h_l = -3.57mm - Col - H_2O}$$

Perdidas por entrada de ramal a 51° y 90° (Ver en el apéndice A).

$$h_{51^\circ} = 0.32 * (VP) = 0.32 * (0.412055) = 0.1319 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_{51^\circ} = -3.35 \text{ mm} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_{90^\circ} = 1 * (VP) = 1 * (0.412055) = 0.412055 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_{90^\circ} = -10.47 \text{ mm} - \text{Col} - H_2O$$

Perdidas por codo 51° y radio 1.5D (Ver en el apéndice A).

$$h_{51^\circ} = 0.25 * (VP) = 0.25 * (0.412055) = 0.1030 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_{51^\circ} = -2.62 \text{ mm} - \text{Col} - H_2O$$

Tramo B-C

Perdidas de fricción por longitud de ducto para un flujo de

$12961.29 \frac{m^3}{h}$ en un conducto de 0.608m.

$$L = 7.5m + 1.5m = 9m$$

Por tabla (Ver en el apéndice A): $h_f / 100 \text{ ft} = 0.36 \text{ pul lg} - \text{Col} - H_2O$

$$h_f = 0.36 \text{ pul lg} - \text{Col} - H_2O * \left(\frac{L}{100} \right)$$

$$= (0.36 \text{ pul lg} - \text{Col} - H_2O) * \left(\frac{9m * \frac{1m}{0.3048 \text{ ft}}}{100} \right) = 0.1063 \text{ pul lg} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_f = -2.7 \text{ mm} - \text{Col} - H_2O$$



Perdidas por entrada de ramal a 90° (Ver en el apéndice A).

$$h_{90^\circ} = 1 * (VP) = 1 * (0.412055) = 0.412055 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_{51^\circ} = -10.47 \text{ mm} - \text{Col} - H_2O$$

Perdidas por codo 90° y radio 2D (Ver en el apéndice A).

$$h_{90^\circ} = 0.27 * (VP) = 0.27 * (0.412055) = 0.1113 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_{90^\circ} = -2.83 \text{ mm} - \text{Col} - H_2O$$

Tramo C-D

Perdidas de fricción por longitud de ducto para un flujo de

$12961.29 \frac{m^3}{h}$ en un conducto de 0.698m.

$$V = 9.5 \frac{m}{seg}$$

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 = \left(\frac{9.5 \frac{m}{seg} * \frac{60seg}{1min} * \frac{1ft}{0.3048m}}{4005} \right)^2 * \frac{25.4mm}{1pul} = 6.134mm - \text{Col} - H_2O$$

$$\text{ó } VP = 0.2415836 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O$$

$$L = 6.85m + 2.26m = 9.11m$$

Por tabla (Ver en el apéndice A): $h_1 / 100ft = 0.5 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O$

$$h_1 = 0.16 \text{ pul} - \text{Col} - H_2O * \left(\frac{L}{100} \right)$$



$$= (0.16 \text{ pulg} - Col - H_2O) * \left(\frac{9.11m * \frac{1m}{0.3048ft}}{100} \right) = 0.047824 \text{ pulg} - Col - H_2O$$

$$h_1 = -1.22mm - Col - H_2O$$

Perdidas por entrada de ramal a 90° (Ver en el apéndice A).

$$h_{90^\circ} = 1 * (VP) = 1 * (0.2415) = 0.2415 \text{ pul} - Col - H_2O$$

$$h_{90^\circ} = -6.13mm - Col - H_2O$$

Perdidas por codo 90° y radio curvatura 2D (Ver en el apéndice).

$$h_{90^\circ} = 0.27 * (VP) = 0.25 * (0.2415836) = 0.0652276 \text{ pul} - Col - H_2O$$

$$h_{90^\circ} = -1.66mm - Col - H_2O$$

$$\rightarrow SP_{TOTAL} = 10.47 + 1.57 + 3.57 + 3.35 + 10.47 + 2.62 + 2.7 + 10.47 + 2.83 + 6.134 + 1.22 + 6.13 + 1.66$$

$$SP_{TOTAL-DUCTOS} = -63.194mm - Col - H_2O$$

DEBIDO AL CICLÓN.

Para ciclones de tipo centrífugo ya existe una formula para estimar la caída de presión que ocasiona este:

$$\Delta P = 39.7 * K * Q^2 * P^2 / T^2 \quad (\text{Ver capitulo 2})$$

$$K = 21.334 * D_o^{-3.6308}$$

$$\Delta P = 39.7 \left(\frac{(21.334 * (62.99 \text{ pulg})^{-3.6308}) * (7627.72 \text{ CFM}) * (1 \text{ atm})^2}{(296^\circ \text{ R})^2} \right)$$

$$\Delta P = 0.1649 \text{ pulg-Col} - H_2O$$

$$\Delta P = -4.19 \text{ mm-Col} - H_2O$$

DEBIDO A LA CHIMENEA.

El tiro de la chimenea será calculado de la siguiente manera:

Se trabajara en 3 secciones de la chimenea desde la entrada hasta la descarga de los gases.

Para:

$$\begin{cases} h = 6m \\ \phi_{\text{int}} = 1.234m \\ V = 3m / \text{seg} \end{cases}$$

Perdidas de fricción por longitud de ducto para un flujo de

$$12961.29 \frac{m^3}{h}.$$

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 = \left(\frac{3 \frac{m}{\text{seg}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 m}}{4005} \right)^2 * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pulg}} = 0.55 \text{ mm-Col} - H_2O$$

Por tabla (Ver en el apéndice A): $h_1 / 100 \text{ ft} = 0.01 \text{ pu lg-Col-H}_2\text{O}$

$$h_1 = 0.01 \text{ pu lg-Col-H}_2\text{O} * \left(\frac{L}{100} \right)$$

$$= (0.01 \text{ pu lg-Col-H}_2\text{O}) * \left(\frac{6m * \frac{1m}{0.3048 \text{ ft}}}{100} \right) = 0.0019685 \text{ pu lg-Col-H}_2\text{O}$$

$$\boxed{h_1 = 0.05 \text{ mm-Col-H}_2\text{O}}$$

Perdidas por entrada de ramal a 90° (Ver en el apéndice A).

$$h_{90^\circ} = 1 * (VP) = 1 * (0.55 \text{ mm-Col-H}_2\text{O})$$

$$\boxed{h_{90^\circ} = 0.55 \text{ mm-Col-H}_2\text{O}}$$

Para:

$$\begin{cases} h = 10 \text{ m} \\ \phi_{\text{int}} = 1 \text{ m} \\ V = 4.6 \text{ m/seg} \end{cases}$$

Perdidas de fricción por longitud de ducto para un flujo de

$$12961.29 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 = \left(\frac{4.6 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}}}{4005} \right)^2 * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pu lg}} = 1.30 \text{ mm-Col-H}_2\text{O}$$

Por tabla (Ver en el apéndice A): $h_1 / 100 \text{ ft} = 0.022 \text{ pu lg-Col-H}_2\text{O}$

$$h_1 = 0.022 \text{ pulg-Col} - H_2O * \left(\frac{L}{100} \right)$$

$$= (0.022 \text{ pulg-Col} - H_2O) * \left(\frac{10m * \frac{1m}{0.3048ft}}{100} \right) = 0.0072178 \text{ pulg-Col} - H_2O$$

$$h_1 = 0.1833mm - Col - H_2O$$

Perdidas por entrada de ramal a 90° (Ver en el apéndice A).

$$h_{90^\circ} = 1 * (VP) = 1 * (1.3mm - Col - H_2O)$$

$$h_{90^\circ} = 1.3mm - Col - H_2O$$

Para:

$$\begin{cases} h = 8m \\ \phi_{mt} = 0.71m \\ V = 9.09m / seg \end{cases}$$

Perdidas de fricción por longitud de ducto para un flujo de

$$12961.29 \frac{m^3}{h}.$$

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 = \left(\frac{9.09 \frac{m}{seg} * \frac{60seg}{1min} * \frac{1ft}{0.3048m}}{4005} \right)^2 * \frac{25.4mm}{1pulg} = 5.07mm - Col - H_2O$$

Por tabla (Ver en el apéndice A): $h_1 / 100ft = 0.15 \text{ pulg-Col} - H_2O$

$$h_1 = 0.15 \text{ pulg-Col} - H_2O * \left(\frac{L}{100} \right)$$

$$= (0.15 \text{ pulg} - \text{Col} - H_2O) * \left(\frac{8m * \frac{1m}{0.3048ft}}{100} \right) = 0.03937 \text{ pulg} - \text{Col} - H_2O$$

$$h_1 = 1mm - \text{Col} - H_2O$$

Perdidas por entrada de ramal a 90° (Ver en el apéndice A).

$$h_{90^\circ} = 1 * (VP) = 1 * (5.07mm - \text{Col} - H_2O)$$

$$h_{90^\circ} = 5.07mm - \text{Col} - H_2O$$

Entonces el tiro debido a la chimenea es:

$$SP = 0.55 + 0.05 + 0.55 + 1.3 + 0.1833 + 1.3 + 5.07 + 1 + 5.07$$

$$SP = 15.07mm - \text{Col} - H_2O$$

El calculo de caída de presión de todo el sistema esta denotado por:

$$SP = \Delta P_{PIEDRA} + SP_{DUCTOS} + \Delta P_{CICLON} + SP_{CHIMENEA}$$

$$SP = 428.6 + 63.194 + 4.19 + 15.07$$

$$SP = 511.054mm - \text{Col} - H_2O$$

Por lo tanto requiriere un ventilador con las siguientes características:

	Q(m3/h)	ΔP (mm C. H2O)
VENTILADOR EXHAUSTOR	12961.29	511

3.7. ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

El diseño de las estructuras de soporte para el sistema de ventilación se va a realizar por medio del programa SAP (computacional). Las cargas a analizar son cargas puntuales para cada estructura como se indica en el análisis, las dimensiones de las dos estructuras se las dan en los planos propuestos, podemos observar el análisis estructural para cada una de las estructuras a continuación:

ANALISIS DE ESTRUCTURA DE SOPORTE 1.

En la estructura 1 la carga que va a soportar es de 3 toneladas y se analiza como va a estar constituida la estructura se mira el tipo de viga que se va a utilizar en el programa las cuales son como vigas primarias L3x3x1/4 y las secundarias de L2x2x1/4.

El análisis que va a realizar el programa es mediante esfuerzos, en la figura se puede observar las zonas críticas de cada viga expresada en el programa mediante colores, las zonas aceptables son las que son menores a 0,9 (relación de cargas).

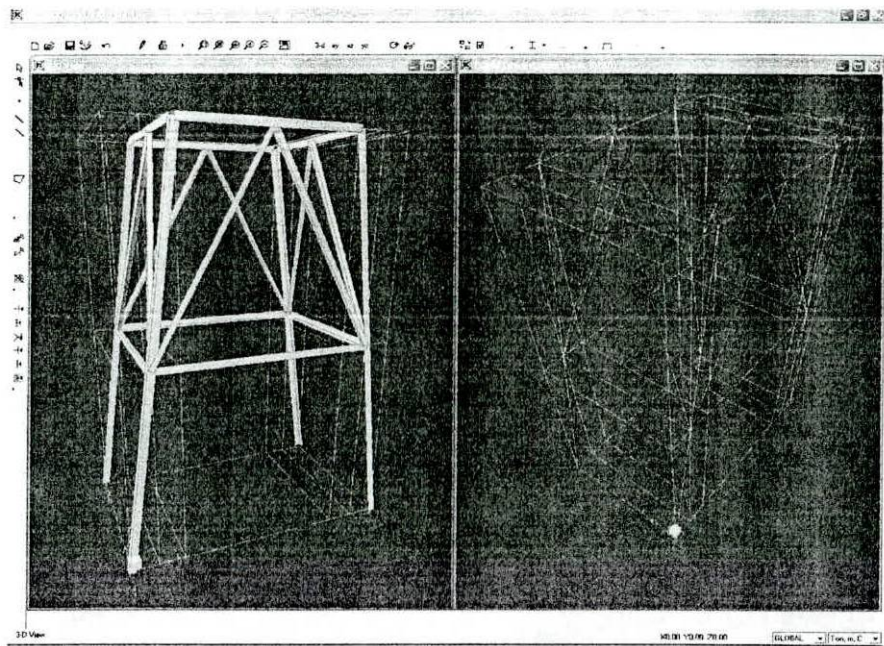


Figura 3.4 Distribución de carga de la estructura 1.



Figura 3.5 Análisis de esfuerzos de la estructura 1.

Para esta estructura se recomienda que no tenga un excedente de carga que sobrepase las 8 toneladas.

ANALISIS DE ESTRUCTURA DE SOPORTE 2

En la estructura 2 la carga que va a soportar es de 2 toneladas sus vigas y columnas primarias son L3x3x1/4 y las vigas secundarias de L2x2x1/4. En la figura se observa donde van a estar distribuidas las cargas puntuales y como va a estar constituida la estructura.

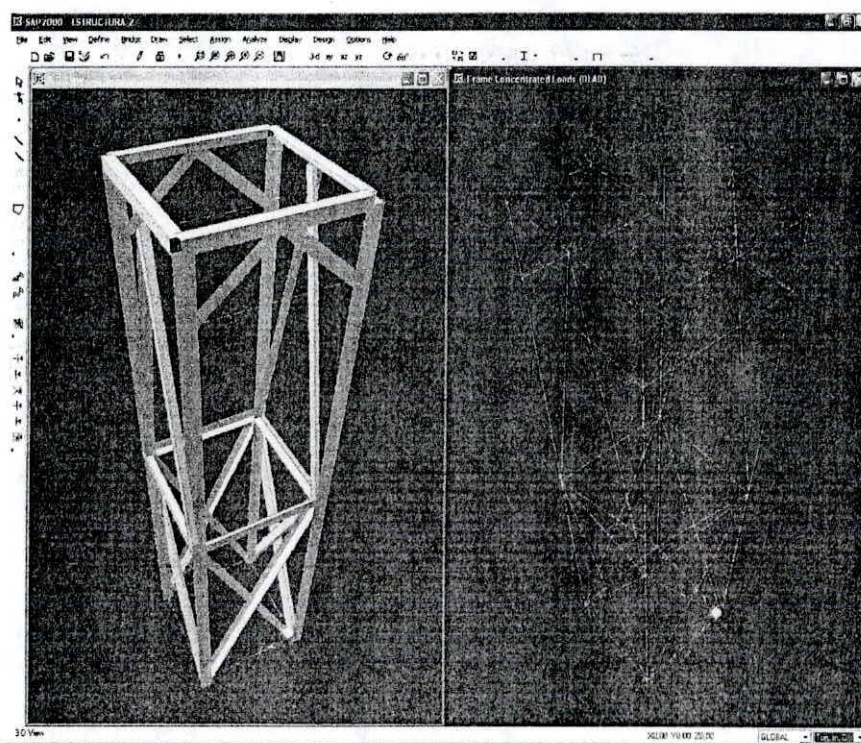


Figura 3.6 Distribución de carga de la estructura 2.

En el programa se puede observar la deformación de la estructura aun que este exagera en su deformación (visualmente), esto se debe para que el programador observe el sentido de la deformación de la estructura, lo que uno observa en este programa es el estado de esfuerzo para cada viga y columna.

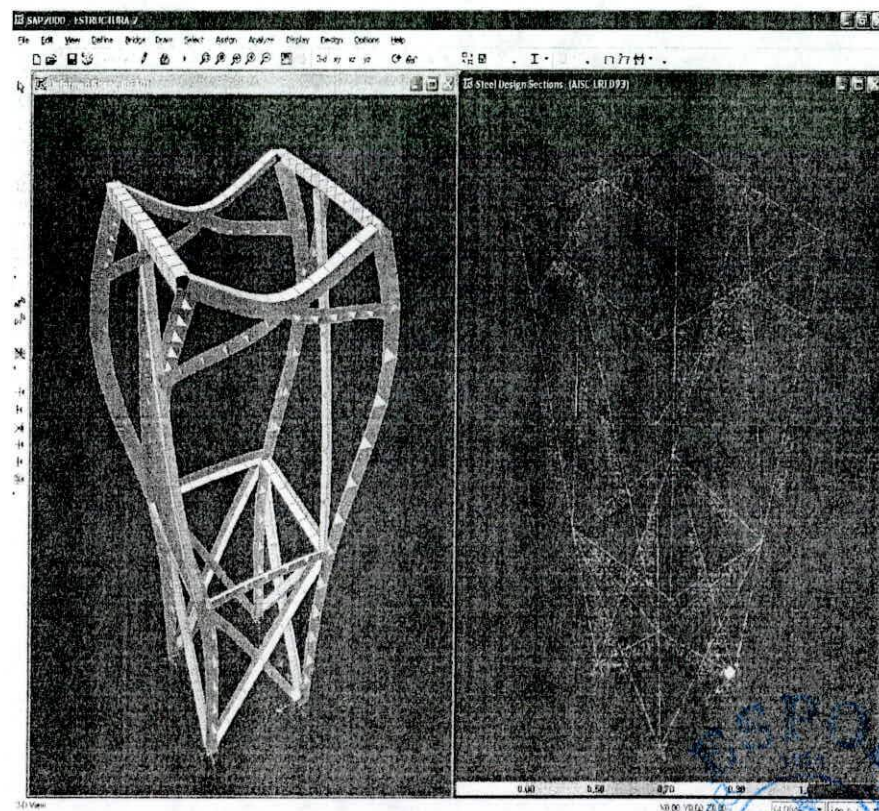


Figura 3.7 Análisis de esfuerzos de la estructura 2.

Para esta estructura se recomienda que no tenga un excedente de carga que sobrepase las 6 toneladas.

CAPITULO 4

4. ANALISIS DE LA CHIMENEA.

4.1. TRAZAS ATMOSFÉRICAS Y CONTAMINANTES.

Nuestra atmósfera está constituida principalmente por nitrógeno molecular (N_2) y oxígeno molecular (O_2) en proporciones de alrededor de 78% y 21% en volumen, respectivamente. El resto está formado por argón (Ar), dióxido de carbono (CO_2) y otras especies en variados estados de agregación que, por sus ínfimas cantidades se denominan trazas atmosféricas.

Son estas trazas atmosféricas, junto al O_2 y al relativamente abundante CO_2 , las que definen las propiedades químicas y radiactivas de nuestra atmósfera y las que interconectan los sistemas bióticos y abióticos estableciendo las condiciones para la vida. Esta fracción de la composición de la atmósfera se ha visto fuerte y rápidamente alterada por las actividades humanas en los últimos dos siglos, teniendo ello consecuencias sobre la calidad de vida de las personas, los ecosistemas en general y el sistema climático en su conjunto.

Se suele denominar "contaminantes criterio", al conjunto de trazas constituido por dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), monóxido de carbono (CO) y los aerosoles. Es importante considerar que éstos no son los únicos contaminantes, pero sí son aquéllos a los que internacionalmente la gestión ambiental ha dado mayor atención, regulando las concentraciones máximas permisibles en la atmósfera para cada uno de ellos.

En la Tabla 4 se presentan el contaminante criterio para los cuales existen Normas Primarias de Calidad del Aire y la máxima concentración permitida (Ver apéndice E).

Tabla 4 Normas Primarias de Calidad del Aire

CONTAMINANTE	NORMA	UNIDAD	TIPO DE NORMA	EXCEDENCIA
Material Particulado Respirable (MP10)	50	ug/m ³	Med. Aritmética Anual	No se permite
	150	ug/m ³	Med. Aritmética Diaria	Frecuent. 95
Dióxido de azufre (SO ₂)	80	ug/m ³	Med. Aritmética Anual	No se permite
	250	ug/m ³	Med. Aritmética Diaria	Frecuent. 95
Oxidantes Fotoquímicos: Ozono (O ₃)	120	ug/m ³	Promedio Aritmético Móvil de 8 horas	Frecuent. 95
Monóxido de Carbono (CO)	10,000	ug/m ³	Promedio Aritmético Móvil de 8 horas	Frecuent. 95
	20,000	ug/m ³	Med. Aritmética Horaria	Frecuent. 95
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	100	ug/m ³	Med. Aritmética Anual	No se permite
	400	ug/m ³	Med. Aritmética Horaria	Frecuent. 95
Plomo	0.5	ug/m ³	Med. Aritmética Anual	No se permite

4.2. TIPOS DE MODELOS DE DISPERSIÓN.

Los modelos de dispersión son herramientas computacionales que resuelven las ecuaciones de continuidad utilizando diversos métodos y aproximaciones.

En el esfuerzo de predecir las concentraciones de contaminantes en un punto alejado del foco emisor y resolver la ecuación de continuidad, se han desarrollado varios tipos de modelos matemáticos para estimar la calidad del aire.

Entre éstos se incluyen, modelos gaussianos, urbanos, regionales y globales, que se describen a continuación.

4.2.1. MODELO GAUSSIANO.

Los modelos "gaussianos" son de uso común en problemas de dispersión contaminantes no reactivos de fuentes puntuales tales como chimeneas industriales. Básicamente suponen que el penacho de un efluente presenta una distribución normal o de Gauss (Gaussiana) de las concentraciones en torno al eje de simetría definido por la dirección del viento.

Cabe hacer notar que estos modelos son aptos para estimar efectos locales y que su grado de precisión y acierto es, en general, decreciente en tanto se aplican en localidades con relieve complejo y caracterizado por circulaciones atmosféricas complejas.

4.2.2. MODELOS URBANOS Y REGIONALES.

Los modelos de escala urbana y regional están, a menudo, orientados a ser herramientas de gestión de calidad del aire. Los problemas de escala urbana y regional son complejos pues hay que considerar el efecto de múltiples fuentes,

contaminantes primario y secundario, procesos de deposición y meteorología local y regional. Eso requiere la integración de modelos y bases de datos.

Los aspectos meteorológicos son tratados a través de modelos meteorológicos de diagnóstico o pronóstico. En los primeros se estiman los campos de viento a partir de datos meteorológicos (de superficie y altura) recopilados de estaciones de monitoreo utilizando métodos que buscan una interpolación y extrapolación óptima de las observaciones.

En los segundos, se calculan los parámetros meteorológicos a partir de las ecuaciones que describen las relaciones físicas fundamentales del movimiento y la energía en el aire. El desarrollo actual de los esfuerzos de modelación de procesos atmosféricos tiende a integrar ambos tipos de modelos a través de las técnicas conocidas como asimilación de datos.

Un problema común de los centros urbanos es la acumulación de precursores de oxidantes, por ejemplo ozono, y de material particular. Existe una amplia gama de

modelos fotoquímicos comparables en cuanto a sus capacidades de reproducir estas observaciones.

4.2.3. MODELOS GLOBALES.

Los modelos globales resuelven la ecuación de continuidad para toda la atmósfera.

Estos modelos, al igual que los modelos locales y regionales, han ido creciendo en complejidad en la medida que más variables y trazas con tiempos de recambio más cortos han sido incorporadas en ellos y el desarrollo de computadores más rápidos lo han hecho factible.

4.3. MODELO GAUSSIANO DE DISPERSIÓN.

Este modelo describe a través de una fórmula simple el campo tridimensional de concentraciones generado por una fuente puntual en condiciones meteorológicas y de emisión estacionarias.



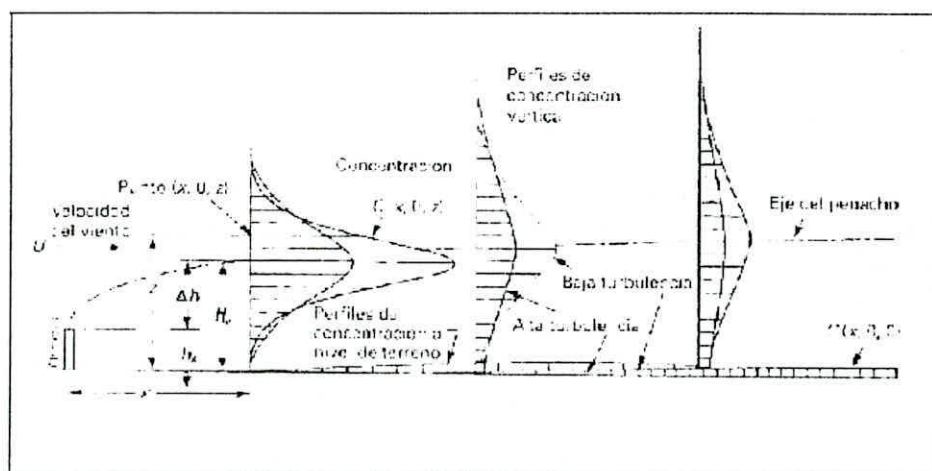


Figura 4 Elevación del perfil de concentración de un penacho Gaussiano.
Fuente: Kiely, 1999.

Figura 4. Elevación del perfil de concentración de un penacho gaussiano.

A medida que un penacho progresa en la dirección del viento, el modelo gaussiano supone que el perfil de concentración por mezcla turbulenta adquiere una distribución gaussiana.

Si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará un penacho en forma de cono. La concentración en la línea central del penacho será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo. A medida que la distancia viento abajo aumenta, los extremos del penacho pueden impactar sobre el terreno tal y como se muestra en la Figura 4. La concentración de un contaminante en cualquier punto es tal que:

$$C(x, y, z) \propto \frac{1}{\bar{\mu}} * Q * G \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde $\bar{\mu}$ es la rapidez del viento, Q es la tasa de emisión y G es la curva de Gauss normalizada en el plano, esto es, el plano perpendicular a la dirección del viento, x.

En la Figura 4.1(a), se representa la curva normal (gaussiana), empleada para caracterizar un proceso estocástico. La altura central en el eje de ordenadas se denomina “media” y el ancho de la curva se describe como “desviación estándar”.

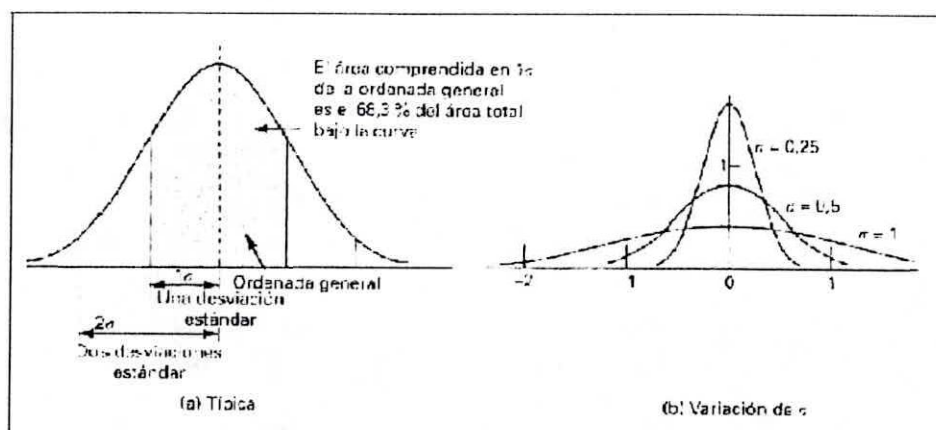


Figura 4-1. Curva de distribución normal (Gaussiana)
Fuente: Kiely, 1999.

Figura 4.1 Curva de distribución normal (gaussiana).

A medida que la distancia viento abajo se incrementa, la concentración máxima en la línea central disminuye ya que el

penacho se ensancha en las direcciones z . e y . En la Figura 4.1 (b) se muestra cómo el valor aumenta a medida que la distancia a partir del foco emisor aumenta.

La Figura 4.2(a) es una gráfica de la evolución del penacho en tiempos diferentes. En cualquier instante, el penacho presenta un contorno serpenteante. A los 10 minutos o 1 hora, el contorno se extiende y con él la concentración de la línea central disminuye, tal y como se muestra en la gráfica de la Figura 4.2 (b).

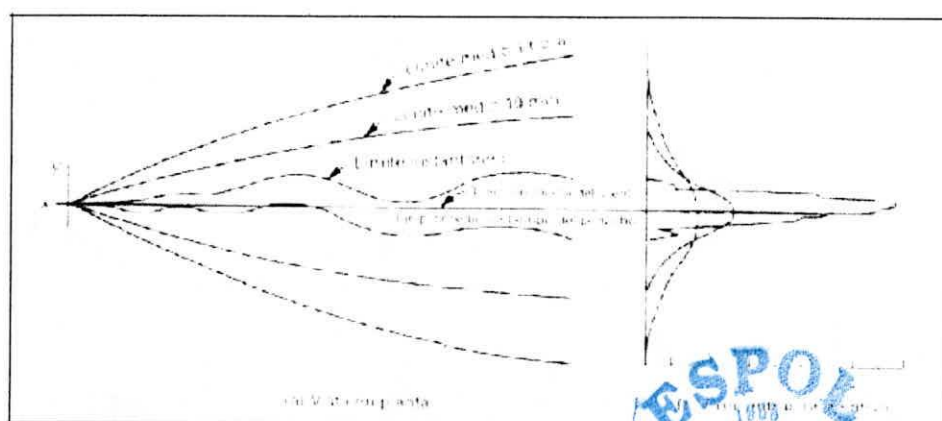


Figura 4-2 Desarrollo de series de tiempo de un penacho.
Fuente: Kiely, 1999 en Seinfeld, 1986.

Figura 4.2 Desarrollo de series de tiempo de un penacho.

En la Figura 4.3, donde se ejemplifica la distribución instantánea de concentraciones y promedios horarios.

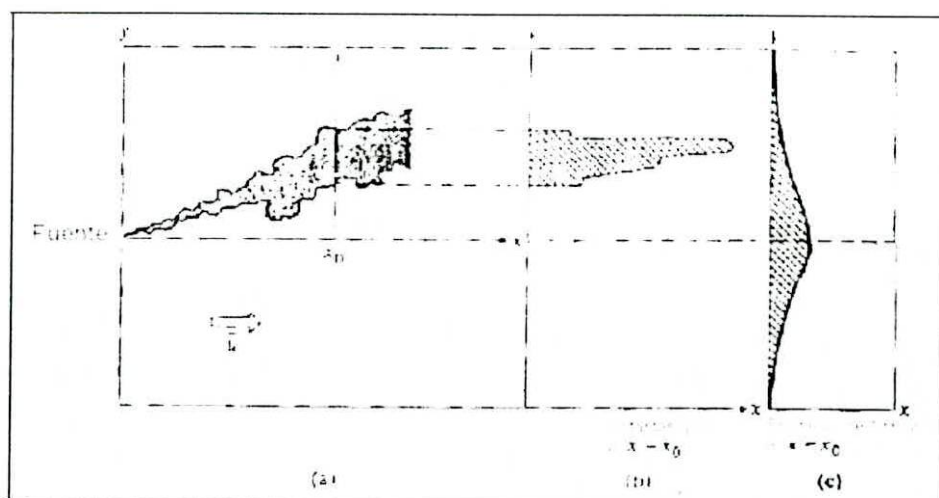


Figura 4-3 (a) Vista instantánea de un penacho, (b) perfil horizontal instantáneo de la concentración de un penacho a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia viento abajo de la fuente; (c) promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo.
Fuente: Adaptado de Zannetti, 1990.

Figura 4.3 (a) Vista instantánea de un penacho, (b) Perfil horizontal instantáneo de la concentración de un penacho a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia viento debajo de la fuente; (c) Promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo.

Puede concluirse que, aún cuando la concentración instantánea de un penacho sea completamente irregular, su promedio en tiempos suficientemente largos (por ejemplo, una hora) genera en la mayoría de los casos, distribuciones de concentración "acampanadas" que pueden bien ser aproximadas a una distribución gaussiana, tanto en la dirección horizontal como en la vertical.

Como se mencionó, el modelo gaussiano se encuentra lejos de ser exacto. Sin embargo, se han incorporado a su ecuación general algunos términos adicionales para mejorar su desempeño frente a determinadas situaciones. Entre éstas, es conveniente destacar la incorporación de términos reflectivos para simular la reflexión que puede sufrir un penacho, ya sea total o parcial debido a su interacción con el suelo subyacente o cuando su desarrollo en altura se encuentra limitado por una capa de inversión térmica.

También se han incorporado términos de decaimiento, deposición y transformaciones químicas para simular procesos de remoción de los contaminantes desde la atmósfera, tratamiento de fuentes lineales, área o volumen, efectos de fumigación de un penacho sobre el suelo, efectos de edificaciones, penachos que ven limitado su desarrollo al ser atrapados al interior de un valle, penachos inclinados, terreno complejo y dispersión en zonas costeras, etc...

No obstante lo anterior, estos ajustes no son suficientes para representar todos los procesos y deben ser utilizados cuidadosamente. A la vez, van en desmedro de la mayor ventaja de los modelos gaussianos, esto es, su simplicidad.

Acerca de la ecuación Gaussiana, el cálculo de los coeficientes de dispersión y la elevación del penacho, se puede encontrar una extensa literatura desarrollada para este tema, así como en Bustos (2003), complemento a la presente investigación.

Los requisitos de los datos de modelos de dispersión de tipo gaussiano entran en tres categorías:

a) Datos de la fuente: ubicación de chimeneas y otras fuentes (coordenadas), altura física de la chimenea y su diámetro interno, velocidad de salida del gas desde la chimenea, temperatura y tasa de emisión del contaminante.

Este último normalmente se expresa en valores promedio temporales (por 1 hora, 24 horas o 1 año). Algunos modelos de dispersión pueden requerir de datos de entrada adicionales tales como la elevación de la fuente y el terreno, dimensiones de edificaciones próximas (por ejemplo, el ancho promedio del edificio y el espacio entre los edificios), distribución del tamaño de la partícula y sus correspondientes tasas de deposición y coeficientes de reflexión superficial.



b) Datos meteorológicos: La mayoría de los modelos gaussianos acepta datos meteorológicos de superficie que consideran la clasificación de estabilidad a cada hora, dirección y rapidez del viento, la temperatura atmosférica y la altura de la capa de mezcla.

Es deseable que como mínimo se disponga de un año de datos meteorológicos. Sin embargo, en los casos donde algunos datos de largo plazo están disponibles sólo para la región (típicamente, lecturas tomadas en un aeropuerto), las observaciones locales para el sitio bajo examen pueden ser obtenidas a partir de éstas, previa revisión de los datos de largo plazo obtenidos en la región. Cuando sea necesario, una estación meteorológica local debiese ser instalada y operada por al menos un año.

c) Datos de los receptores: La identificación y codificación de todos los receptores (por ejemplo, áreas con alta población o concentración máxima esperada a nivel del suelo). Normalmente, los receptores son especificados por sus coordenadas y elevación.

Los resultados de modelos de dispersión gaussianos son comúnmente la representación de mapas con la concentración de los contaminantes a lo largo del área inmediata que rodea a la

fuente. El mapa consiste en las concentraciones calculadas en lugar y gráficas de isolíneas de concentraciones.

Luego que se trazan los resultados, se evalúan los datos calculados. Los mapas necesitan ser evaluados comparándolos con el ambiente local, observaciones disponibles, las normas de calidad del aire e identificar posibles áreas dónde la concentración del contaminante está sobre los niveles deseables.

Es conveniente enfatizar que la modelación matemática de procesos atmosféricos complejos conlleva por esencia aproximaciones e incertidumbres que pueden verse incrementadas cuando faltan datos o son poco representativos. Por consiguiente, es recomendable que los resultados del modelo sean tratados con cuidado al usarlos formalmente en la toma de decisiones, motivo por el cual, los resultados deben incluir una discusión de su variabilidad y límites de confianza.

También se recomienda que los resultados sean resumidos claramente y de manera entendible a fin de facilitar el trabajo de los tomadores de decisiones.

4.3.1. APLICACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO.

Esta ecuación que da aquí es un formulario que predice la concentración del un punto (x, y, z) localizado:

(Ecuación 4.1)

$$C = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \bar{\mu} \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right) \right]$$

Donde:

C = Concentración en un punto de SO_2 (x,y,z), ug/m³

Q = Tasas de emisiones de SO_2 , ug/s

σ_y, σ_z = Parámetros horizontales y verticales, m

$\bar{\mu}$ = velocidad del viento a la altura de la chimenea, m/s

y = Distancia horizontal del centro de la estela, m

z = Distancia vertical del nivel de tierra, m

H = Altura efectiva de la chimenea ($H_{ch} = h_{ch} + \Delta h$, donde

h_{ch} = Altura de la chimenea, Δh = Levantamiento de la estela, m).



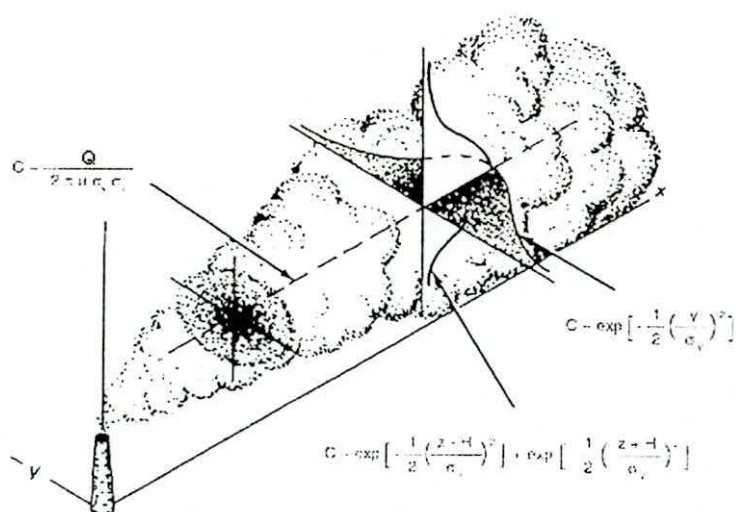


Figura 4.4 Sistemas de coordenada que muestra las distribuciones Gaussiana en las tres componentes.

4.3.2. CLASES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

Un método cuantitativo para estimar los parámetros de dispersión fue dado por Pasquill (1961) y Gifford (1961). Las correlaciones que se presentan gráficamente en las Figuras 4.5 y 4.6 fueron desarrolladas por la aplicación de principios teóricos al análisis de datos de dispersión reales.

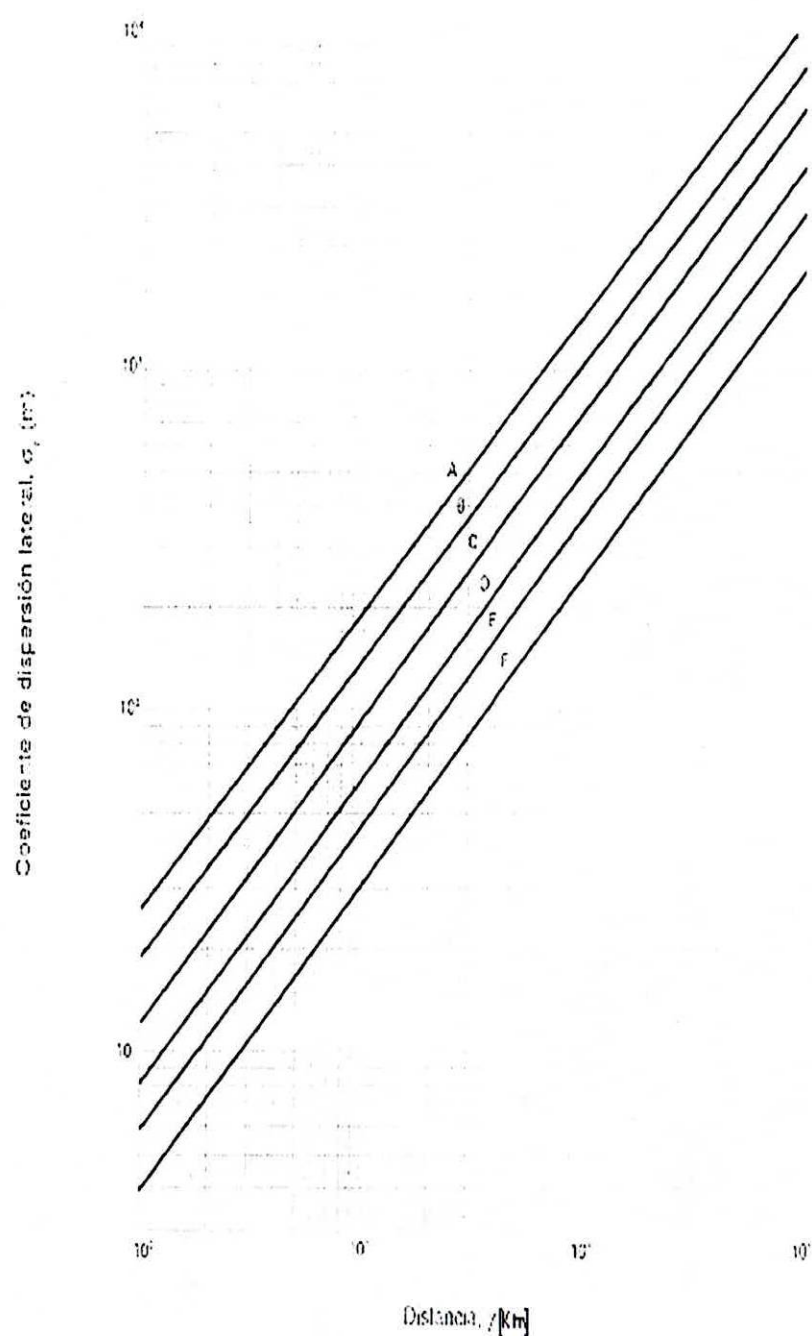


Figura 4.5 Coeficiente de dispersión lateral σ_y según distancia y categoría de estabilidad atmosférica.

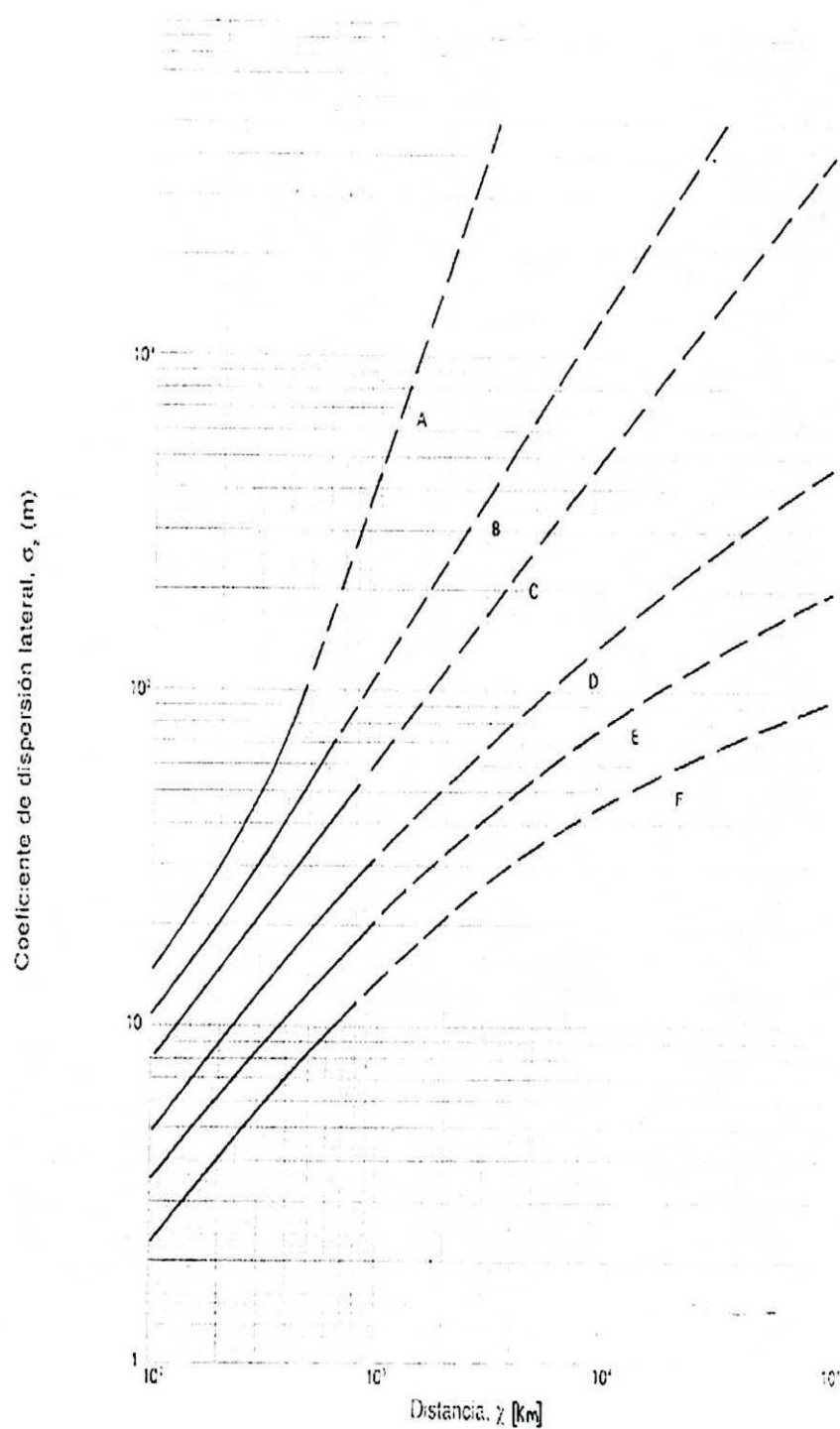


Figura 4-6 Coeficiente de dispersión vertical σ_z según distancia y categoría de estabilidad atmosférica.

A veces es difícil para las personas obtener las lecturas consistentes de las Figuras 4.5 y 4.6. Además, las representaciones gráficas son inoportunas para el uso en los programas de la computadora. Martin (1976) publicó ecuaciones que dan estas curvas. Las ecuaciones generales son:

$$\sigma_y = ax^b \text{ (Ecuación 4.2)}$$

$$\sigma_z = cx^d + f \text{ (Ecuación 4.3)}$$

Donde a, b, c, d, y f son constantes que son dependiente de la clase de estabilidad y la distancia x. Los valores numéricos para las constantes en Eqs. (4.2) y (4.3) se dan en la TABLA 4.2.

TABLA 4.1 Clasificaciones de Estabilidad

velocidad del viento en la superficie m/s	Dia			Noche	
	FUERTE b	MODERADO c	SUAVE d	NUBLADO (≥4/8)	LIMPEO (≤3/8)
<2	A	A-B ^f	B	E	F
(2 - 3)	A-B	B	C	E	F
(3 - 5)	B	B-C	C	D	E
(5 - 6)	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

^a Lavelocidad del viento de la superficie moderado 10 m sobre la tierra.

^b Corresponde a un día de verano con el sol a 60° sobre el horizonte

^c Corresponde a un día de Sumner con nubes , o un día claro con sol 35-60° sobre el horizonte.

^d Corresponde a una tarde, o un día de verano nublado o día de verano claro con el sol 15-35°

^e Se define la nebulosidad como el fragmento de cielo cubierto por las nubes.

^f Para A-B, B-C. o C-D sus condiciones :

A = Muy inestable

D=Neutral

B = moderadamente inestable

E = ligeramente estable

C = ligeramente inestable

F = estable

TABLA 4.2 Valores de Constantes para los Coeficientes de Dispersión

ESTABILIDAD	a	b	x < 1 km			x > 1 km		
			c	d	f	c	d	f
A	213	0.894	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	0.894	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104	0.894	61.0	0.911	0	61.0	0.911	0
D	68	0.894	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0
E	50.5	0.894	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34	0.894	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6

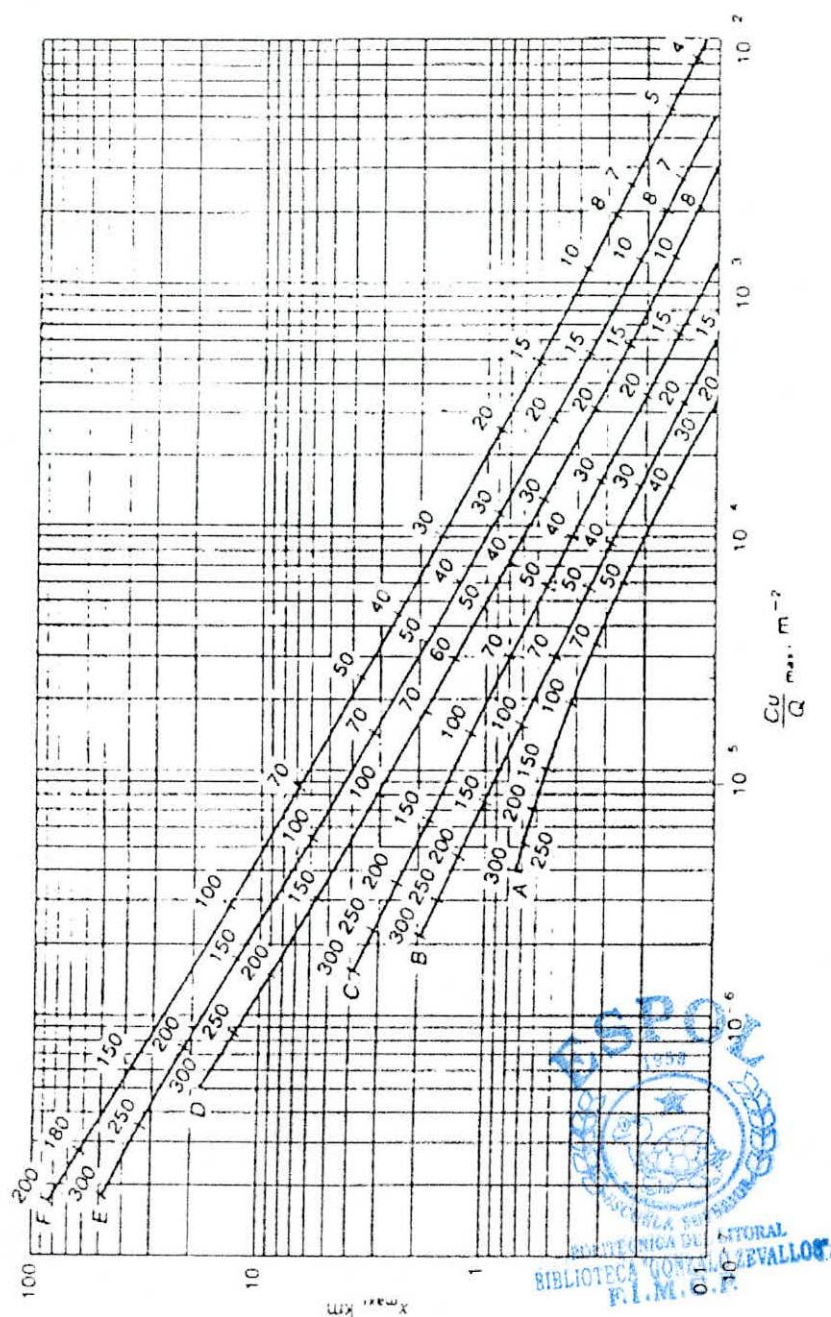


Figura 4.7 Máxima relación (Cu/Q) y distancia a X_{max} como una función de la estabilidad y la altura efectiva de la chimenea (metros).

De la figura 4.7 se encontró una ecuación polinómica por Ranchoux (1976) que se la escribirse a continuación:

$$\left(\frac{Cu}{Q}\right)_{\max} = \exp[a + b \ln(H) + c(\ln H)^2 + d(\ln H)^3] \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Donde a, b, c y d son constantes que dependen de la clase de estabilidad mostradas en la TABLA 4.3. En Eq. (4.3), H debe estar en m y $(Cu/Q)_{\max}$ es en m^{-2} .

TABLA 4.3 Valores de Constantes para estimar $(Cu/Q)_{\max}$ de H como una Función de Estabilidad Atmosférica.

ESTABILIDAD	CONSTANTES			
	a	b	c	d
A	-1,0563	-2,7153	0,1261	0
B	-1,806	-2,1912	0,0389	0
C	-1,9748	-1,998	0	0
D	-2,5302	-1,561	-0,0934	0
E	-1,4496	-2,591	0,2181	-0,0343
F	-1,0488	-3,2252	0,4977	-0,00765

4.3.3. LEVANTAMIENTO DE LA ESTELA.

Modelando el levantamiento de una estela o gases emitido en un viento horizontal es un problema matemático complejo. El levantamiento de la estela no sólo depende de los parámetros de gas de la chimenea como la

temperatura, peso molecular, y velocidad de la salida, pero también parámetros atmosféricos como la velocidad del viento, temperatura ambiente, y condiciones de estabilidad. Presentaremos las formulas para el levantamiento de la estela, pero antes debemos enfatizar que los métodos tanto empírico como teórico que existen para calcular Δh no están de acuerdo entre si. La Figure 4.8 compara algunos de los modelos para Δh que es inversamente proporcional a la velocidad del viento y directamente proporcional a la proporción de emisión de calor.

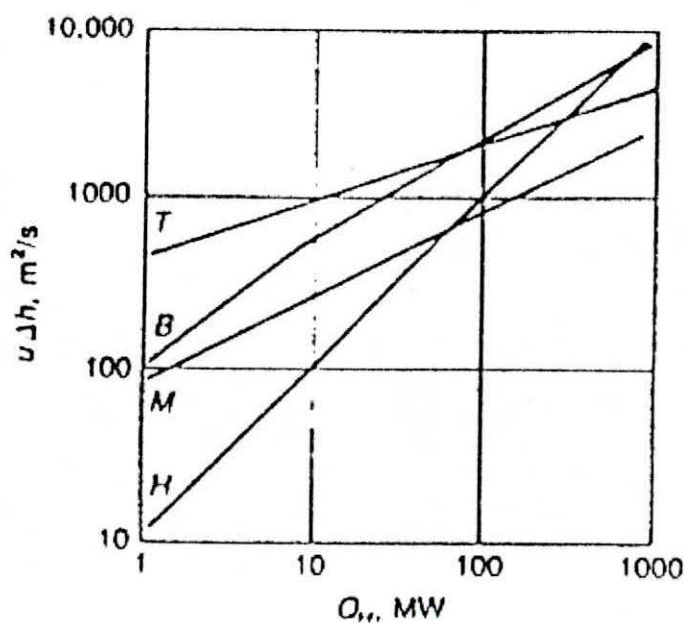


Figura 4.8 Modelos: (H = Holland; M= Moses and Strom; B = Briggs; T=TVA).

FORMULA DE HOLLAND:

(Ecuación 4.4)

$$\Delta h = \frac{v_s * \phi_{salida}}{\bar{\mu}} * \left[1.5 + 2.68(10)^{-3} P_a \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) * \phi_{salida} \right]$$

Donde:

 v_s = La velocidad de gas de la chimenea, el m/s. $\bar{\mu}$ = La velocidad del viento a la altura de la chimenea, m/s. ϕ_{salida} = Diámetro interno de la chimenea, m. P_a = Presión atmosférica, el mb. T_s = Temperatura de gas de la chimenea, °K. T_a = Temperatura atmosférica, °K.

Se podría escribirse como:

$$\Delta h = \left[1.5 \frac{v_s * \phi_{salida}}{\bar{\mu}} + \left(\frac{9.6 * Q_H}{\bar{\mu}} \right) \right] \text{ (Ecuación 4.5)}$$

Donde Q_H = Tasa de emisión, MW**FORMULA DE THOMAS, CARPENTER Y****COLBAUGH:**

$$\Delta h = \frac{101.2 * (Q_H)^{0.444}}{\bar{\mu}^{0.694}} \text{ (Ecuación 4.6)}$$

FORMULA DE BRIGGS:

$$x_f = 119 * (F_B)^{2/5} \rightarrow F_B \geq 55 \frac{m^4}{sec^3} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

$$x_f = 49 * (F_B)^{5/8} \rightarrow F_B < 55 \frac{m^4}{sec^3} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Levantamiento de la estela esta calculado por:

$$\Delta h = \frac{1.6 * (F_B)^{1/3}}{\bar{\mu}} * (x_f)^{2/3} \rightarrow x \geq x_f \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

$$\Delta h = \frac{1.6 * (F_B)^{1/3}}{\bar{\mu}} * (x)^{2/3} \rightarrow x < x_f \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

El término de flujo de flotación, F_B se da por Briggs (1975)

como:

(Ecuación 4.11)

$$F_B = g * \left(1 - \frac{MW_S}{28.9}\right) * \left(\frac{T_a}{T_s}\right) \frac{v_s * d_s^2}{4} + 8.9 * \left(\frac{P_o}{P_a}\right) * Q_H$$

Donde

F_B =Parámetro de boyantez, m^4 / seg^3

g =Constante gravitacional, m / seg^2



MW_s =Peso molecular de gas de la estela.

P_o =Presión a nivel del mar, mb.

4.3.4. SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS MODELOS.

La elección de un modelo para abordar un problema de calidad del aire, ya sea para diagnóstico o pronóstico, merece un análisis detallado que debe integrar variados aspectos. Para ello el analista debe ser capaz de caracterizar los factores que afectan la dispersión de los contaminantes, conocer la ruta y duración de la exposición, así como la ubicación de la población afectada por la selección del modelo.

Los procesos o factores que influyen significativamente en la concentración de contaminantes en el aire deben ser suficientemente caracterizados para que puedan ser descritos cuantitativamente por el modelo de dispersión.

Estas caracterizaciones pueden ser clasificadas de acuerdo a las características de la fuente, condiciones

meteorológicas, escala geográfica, topografía y propiedades de los contaminantes.

Varios modelos de dispersión atmosférica han sido discutidos por las agencias ambientales de Estados Unidos (US EPA, 1986, 1987 y 2003a),

Europa (EEA, 1999) y Argentina (CNEAA, 1997). La mayoría de ellos se pueden obtener gratuitamente desde el sitio Internet de la US EPA (US EPA, 2003b), desde donde es posible descargar las rutinas ejecutables, sus manuales e incluso el código fuente.

4.3.5. USO DE MODELO GAUSSIANO DESDE LA PERSPECTIVA INTERNACIONAL.

Según antecedentes de la Unión Europea (EEA, 1999) Estados Unidos (US EPA, 1986, 1987 y 2003a), Argentina (CNEAA, 1997) y el Banco Mundial (WBG, 1998), la modelación es una herramienta necesaria para estimar los cambios en la calidad del aire –local y a distancia-



causados por una o un conjunto de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos.

Los informes de las tres regiones examinadas y del Banco Mundial reconocen la necesidad que existe en el sector privado y público de aplicar modelos de calidad del aire con propósitos regulatorios, políticos, de difusión pública o de investigación y para ello proponen criterios para el uso de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

Estos criterios regulan la aplicación de modelos o establecen guías para su uso con el objetivo de proveer bases comunes para estimar la concentración de contaminantes en el aire.

La aproximación más simple .-reconocen todos- corresponde a los modelos de dispersión para fuentes puntuales de formulación gaussiana, usados habitualmente para estimar las concentraciones de los contaminantes a nivel del suelo y a poca de distancia de la fuente (algunos cientos de metros a decenas de kilómetros).

Todas las guías desarrolladas, examinan la aplicación de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos más utilizados o que pueden aplicarse para evaluar el impacto en la calidad del aire en las cercanías a una fuente de contaminantes a escala local, urbana y regional.

Con los crecientes problemas de contaminación y el énfasis dado a las normas de calidad del aire a partir de la década de los 1970 en Estados Unidos y Europa y en los últimos 10 años en los países en vías de desarrollo, los modelos de dispersión están siendo extensamente usados en evaluaciones de impacto ambiental, así como para apoyar el establecimiento de requisitos específicos a las emisiones.

Como principio general, los países examinados exigen o sugieren realizar un análisis básico de los posibles impactos en las concentraciones ambientales para aquellas instalaciones que tengan el potencial de emitir anualmente una determinada cantidad de material particular, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno o de cualquier contaminante identificado por la propia legislación como peligroso.

Las principales diferencias entre los diversos modelos disponibles, es su capacidad para adaptarse a diferentes escenarios. Algunos de los modelos (como ISC3 y CTDMPPLUS), son denominados como "modelos preferidos" por la US EPA debido a que acreditan cumplir los criterios técnicos mínimos definidos por esa Agencia Ambiental, fueron probados en terreno y extensamente revisados. Lo anterior no indica que un "modelo no preferido" sea menos apropiado para una determinada aplicación, pero sí que existen experiencias documentadas para los "modelos preferidos" que pueden dar mayor credibilidad al estudio.

Sin embargo, tampoco el uso de un "modelo preferido" asegura que cualquier aplicación sea exitosa.

Estos modelos fueron desarrollados y se han usado en países industrializados y pueden ser útiles en países en vías de desarrollo.

Sin embargo, su uso puede requerir de una adaptación o calibración de acuerdo a la topografía y patrones meteorológicos propios del lugar y condiciones bajo las que

son utilizados. Por ejemplo, los modelos de dispersión no han sido objeto de una evaluación de sus resultados en relación a registros de calidad del aire en áreas tropicales o cordilleranas.

Varias empresas privadas ofrecen versiones mejoradas de modelos gaussianos.

Las mejoras incorporan interfaces amigables entre la computadora y el usuario, facilitando la entrada y análisis de datos, el despliegue gráfico de los resultados y personalizando los resúmenes de resultados. Adicionalmente proporcionan apoyo técnico, e incluso algunas de estas empresas ofrecen entrenamiento en el uso de modelos.

Existen otros modelos, además de los modelos antes mencionados, que si bien no se utilizan habitualmente pueden llegar a ser más apropiados en situaciones específicas debido a que han sido desarrollado por instituciones locales, considerando las condiciones propias de dicha localidad.

4.4. CALCULO DEL MODELO DE DISPERSIÓN.

4.4.1. TASA DE EMISIÓN DE SO_2 Y COMPORTAMIENTO DEL PERFIL DE CONCENTRACIÓN EN CONDICIONES SELECCIONADAS.

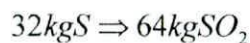
Conociendo la relación porcentual de cuanto azufre existe en el combustible, se determina el flujo de azufre de la siguiente manera:

$$\dot{m}_S = \%S(\dot{m}_{fuel}) \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

$$\dot{m}_S = \left(\frac{1.5}{100} \right) * \left(172.596 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3600seg} \right)$$

$$\dot{m}_S = 0.0007192 \frac{kg}{seg}$$

Por medio de la reacción química se puede determinar la relación entre las masas de S y SO_2 de la siguiente manera:



$$\dot{m}_{SO_2} = \dot{m}_S * \left(\frac{m_{SO_2}}{m_S} \right) \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

$$\dot{m}_{SO_2} = \left(0.0007192 \frac{kg}{seg} \right) * \left(\frac{64kg - SO_2}{32kg - S} \right)$$

$$\dot{m}_{SO_2} = 0.0014383 \frac{kg - SO_2}{seg}$$

$$\dot{m}_{SO_2} = 1.438300 \frac{g - SO_2}{seg}$$

$$\dot{m}_{SO_2} = 1438300 \frac{ug - SO_2}{seg}$$

Determinemos la concentración máxima del SO_2 en el suelo para una estabilidad B, con velocidades de viento de $2,3,4 \frac{m}{seg}$.

Por norma se obtiene que la concentración máxima de SO_2 en el suelo es (Ver apéndice D):

$$C_{max} = 80 \frac{ug}{m^3}$$



Conociendo la concentración máxima de SO_2 se puede determinar de la figura 4.7, la máxima relación Cu/Q , la altura efectiva máxima de chimenea H y la máxima distancia x de la concentración máxima de SO_2 .

$$\left(\frac{C}{Q}\right)_{\max} = \frac{(C_{\max})^*(\bar{u})}{Q*10^6} \quad \text{(Ecuación 4.14)}$$

$$\begin{aligned} C_{\max} &= \frac{ug}{m^3} \\ \bar{u} &= \frac{m}{seg} \\ Q &= \frac{g-SO_2}{seg} \end{aligned} \quad \text{Donde} \left\{ \begin{aligned} Q &= 1.438300 \frac{g-SO_2}{seg} \\ C_{\max} &= 80 \frac{ug}{m^3} \end{aligned} \right.$$

$\bar{\mu}\left(\frac{m}{seg}\right)$	$\left(\frac{Cu}{Q}\right)_{\max} \left(m^{-2}\right)$
2	$1.112x10^{-4}$
3	$1.669x10^{-4}$
4	$2.225x10^{-4}$

De la Figura 4.7 obtenemos:

$\bar{\mu}\left(\frac{m}{seg}\right)$	$\left(\frac{Cu}{Q}\right)_{\max} \left(m^{-2}\right)$	$H_{\max} (m)$	$x_{\max} (m)$
2	$1.112x10^{-4}$	37	260
3	$1.669x10^{-4}$	34	240
4	$2.225x10^{-4}$	39	210

Se procede a determinar la velocidad de salida de los gases de la chimenea.

$$\text{Donde} \left\{ \begin{array}{l} Q = 12961.29 \frac{m^3}{h} \\ \phi_{salida} = 0.71m \end{array} \right.$$

$$V_{salida} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi * \phi_{salida}^2}{4}} \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

$$V_{salida} = \frac{12961.29 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600seg}}{\frac{\pi * (0.71)^2}{4}}$$

$$V_{salida} = 9.09 \frac{m}{seg}$$

Posteriormente determinaremos la altura de la estela utilizando las tres formulas conocida de la siguiente manera:

TRABAJANDO CON UNA VELOCIDAD DE VIENTO DE

$$2 \frac{m}{seg} \text{ Y } x = 260m$$

FORMULA DE HOLLAND:

$$\Delta h = \frac{v_s * \phi_{salida}}{\bar{\mu}} * \left[1.5 + 2.68(10)^{-3} * P_a * \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) * \phi_{salida} \right]$$

$$\text{Donde: } \left\{ \begin{array}{l} Q_H = 0.0002792 * V_{salida} * (\phi_{salida})^2 * Pa * \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \end{array} \right.$$

$$Q_H = 0.0002792 * (9.09) * (0.71)^2 * (1000) * \left(\frac{513 - 300}{513} \right)$$

$$Q_H = 0.5312002 MW$$

$$\Rightarrow \Delta h = \left[1.5 * \frac{v_s * \phi_{salida}}{\bar{\mu}} + \left(\frac{9.6 * Q_H}{\bar{\mu}} \right) \right]$$

$$\Delta h = \left[1.5 * \frac{(9.09 \frac{m}{seg}) * (0.71m)}{2 \frac{m}{seg}} + \left(\frac{9.6 * (0.5312002 MW)}{2 \frac{m}{seg}} \right) \right]$$

$$\Delta h = 7.39m$$

FORMULA DETHOMAS, CARPENTER Y

COLBAUGH:

$$\Delta h = \frac{101.2 * (Q_H)^{0.444}}{\bar{\mu}^{0.694}}$$

$$\Delta h = \frac{101.2 * (0.5312002 MW)^{0.444}}{(2)^{0.694}}$$

$$\Delta h = 47.24m$$

FORMULA DE BRIGGS:

Lo primero que se determina es el flujo térmico de boyantes:

$$F_B = g * \left(1 - \frac{MW_s}{28.9}\right) * \left(\frac{T_a}{T_s}\right) * \frac{v_s * d_s^2}{4} + 8.9 * \left(\frac{P_o}{P_a}\right) * Q_H$$

Donde: $MW_s = 28.9$

$$F_B = 8.9 * \left(\frac{1013}{1000}\right) * (0.5312002 MW)$$

$$F_B = 4.7891416 \frac{m^4}{seg^3}$$

Debido a que $F_B < 55$, se aplica la siguiente ecuación para determinar la distancia sobre el suelo de la estela de la siguiente manera:

$$x_f = 49 * (F_B)^{5/8}$$

$$x_f = 49 * \left(4.7891416 \frac{m^4}{seg^3}\right)^{5/8}$$

$$x_f = 130.42388m$$

La altura de la estela es función de x_f y se calcula de la siguiente manera conociendo que $x \geq x_f$:

$$\Delta h = \frac{1.6 * (F_H)^{1/3}}{\bar{\mu}} * (x_f)^{2/3}$$

$$\Delta h = \frac{1.6 * (4.7891416 \frac{m^4}{seg^3})^{1/3}}{2 \frac{m}{seg}} * (130.42388m)^{2/3}$$

$\Delta h = 34.68m$

Una vez obtenidos las alturas de estela, se obtiene un promedio para cada una de las velocidades de viento y también la altura total de chimenea $H_{Ch} = h_{Ch} + \Delta h$, ($h_{Ch} = 32.103m$). En la tabla siguiente mostraremos para velocidades de 2,3 y 4 m/seg.

$\bar{\mu} \left(\frac{m}{seg} \right)$	$\Delta h(m)$	$H_{Ch}(m)$
2	29.77	61.87
3	21.26	53.36
4	16.75	48.85



En las siguientes graficas podemos observar la distribución de la concentración del SO_2 , para diferentes velocidades, y como se puede observar cumple lo que emite la norma (Ver apéndice E) en cuanto a su máxima concentración permisible.

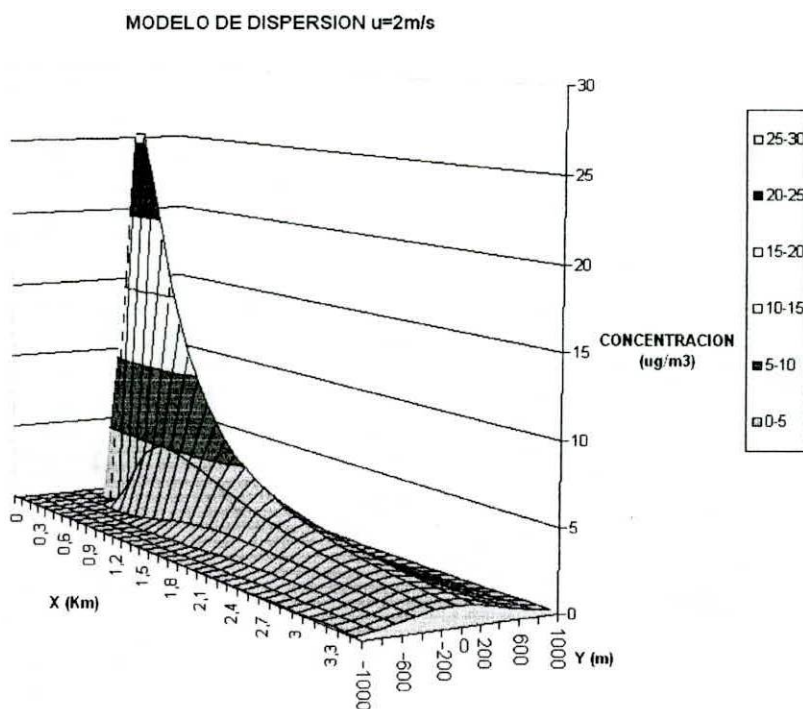


Figura 4.9 Modelo de dispersión $v=2\text{ m/seg.}$

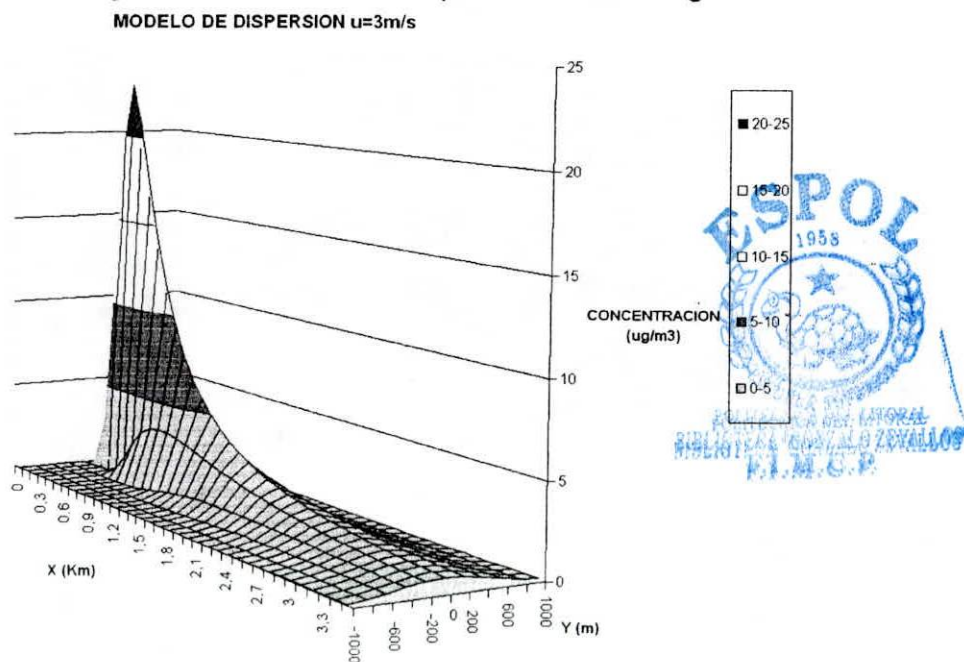


Figura 4.10 Modelo de dispersión $v=3\text{ m/seg.}$

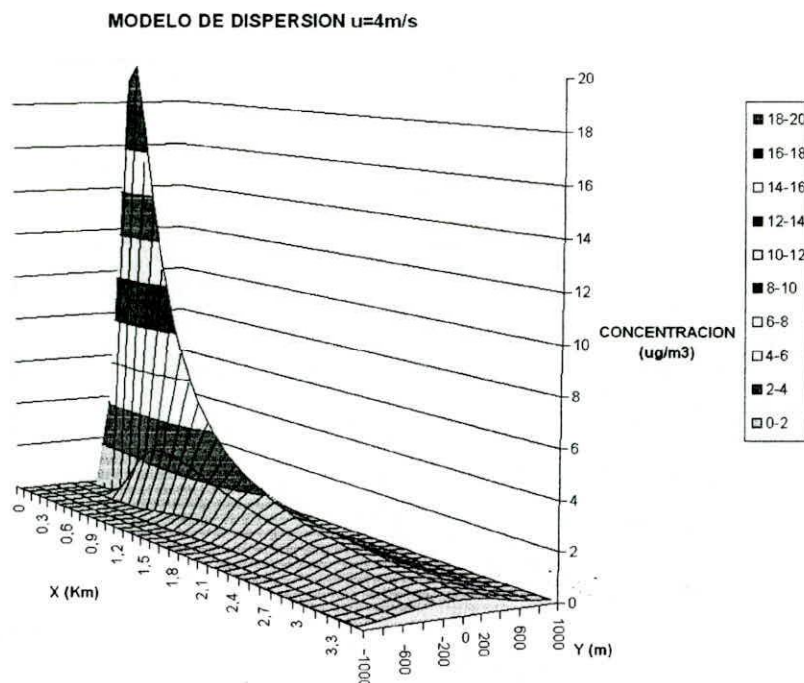


Figura 4.11 Modelo de dispersión $v=4\text{m/seg}$.

4.4.2. VARIACIÓN DE PARÁMETROS (MODELO GAUSS).

4.4.2.1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SALIDA.

Cuanta más alta es la temperatura de salida de los gases, mayor será la flotabilidad de éstos, y por lo tanto, ascenderán a una mayor altura a la que normalmente alcanzarían por efecto de la velocidad a la que son expulsados.

En el análisis que se hace en esta sección, se consideran temperaturas de 373K, 473K, y 553K, para los gases de descarga a la salida de la chimenea; es decir se analiza la situación cuando los gases salen a temperaturas que pueden considerarse bajas, normales y altas.

En la figura, es posible observar que aún manteniendo fijo el contenido de azufre en el combustible, la temperatura de salida de los gases tiene un efecto importante sobre la concentración de SO_2 .

Cuando los gases salen muy "fríos", la concentración es más alta en la zona cercana a la chimenea, el valor máximo tiende a permanecer en el mismo sitio, pero la concentración varía.

A esto debe añadirse, que cuando se tienen altas temperaturas, la concentración disminuye a lo largo del eje hacia donde apunta el viento, lo cual

sugiere que hay una mejor dispersión de los contaminantes, incluso en la dirección transversal.

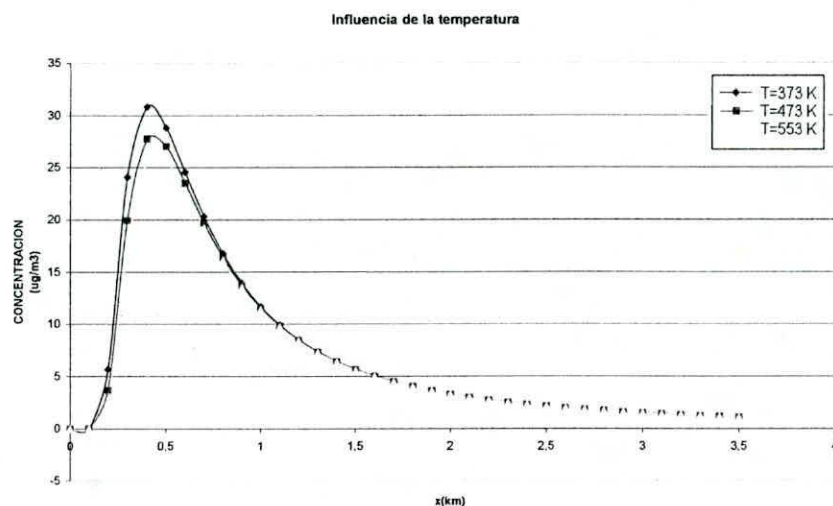


Figura 4.12 Influencia de la temperatura de salida.

4.4.2.2. INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

Aunque en Guayaquil, la velocidad del viento es predominante en la dirección sur oeste, es mencionar que durante el año se registran todas las direcciones posibles, y que las magnitudes pueden ir desde la calma (velocidad cero), hasta valores altos que pueden ser no muy frecuentes.

Por tal motivo, se hace el análisis para velocidades de 2 m/s, 3 m/s y 4 m/s para el valor promedio que se registra en la ciudad, 3.5 m/s.

A partir de la figura, se puede establecer que la velocidad del viento debe ser preferiblemente alta; sin embargo, es posible notar que el efecto no es muy marcado en la zona próxima a la chimenea.

Esto se debe en parte a que en las ecuaciones utilizadas, el incremento en la altura de la pluma es inversamente proporcional a la velocidad del viento, y por lo tanto a menores velocidades del viento, mayor será el incremento de altura, y por consiguiente la concentración disminuirá.

De todas formas, las velocidades altas del viento siguen siendo las más favorables para una buena dispersión, pues se nota gráficamente que a bajas velocidades, la concentración tiende a permanecer alta, además de que hay una tendencia a disminuir con mayor lentitud.

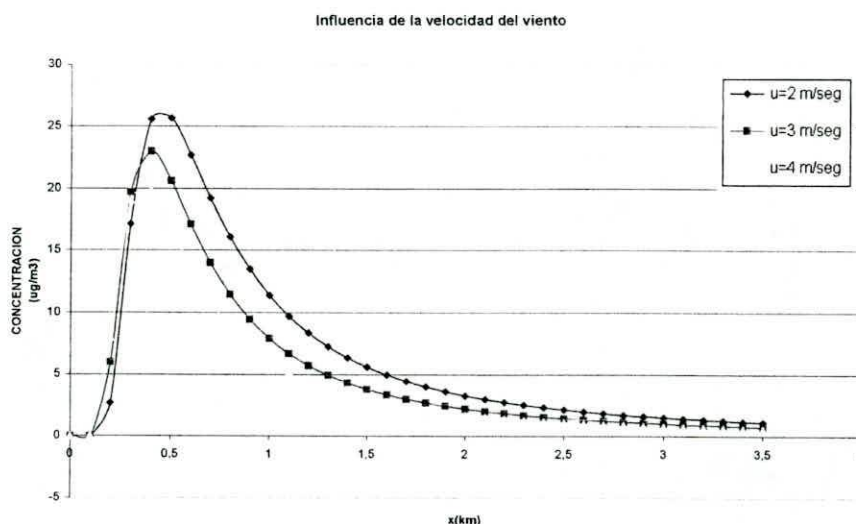


Figura 4.13 Influencia de la velocidad del viento.

4.4.2.3. INFLUENCIA DE LA ALTURA DE LA CHIMENEA.

La altura de la chimenea es un parámetro muy importante cuando se quiere tener una buena dispersión; para determinar su efecto se analiza alturas de chimenea de 25, 32 y 45 m. Al granear la concentración obtenida a las alturas de chimenea establecidas (figura), se puede notar lo mucho que influye éste parámetro en la dispersión a nivel del suelo. Los resultados obtenidos indican que, cuando se desea mantener baja la



concentración de contaminantes, en los sitios que se verían afectados por este tipo de mentes, una buena opción es construir chimeneas con altura suficiente para una buena dispersión.

Se puede notar que hay un desplazamiento del punto máximo de concentración, obteniéndose valores más bajos y más alejados, para mayores alturas de chimenea; cabe señalar, que al incrementar la altura, también aumenta la velocidad del viento en la zona de descarga de los gases, lo cual es beneficioso como ya se había mencionado.

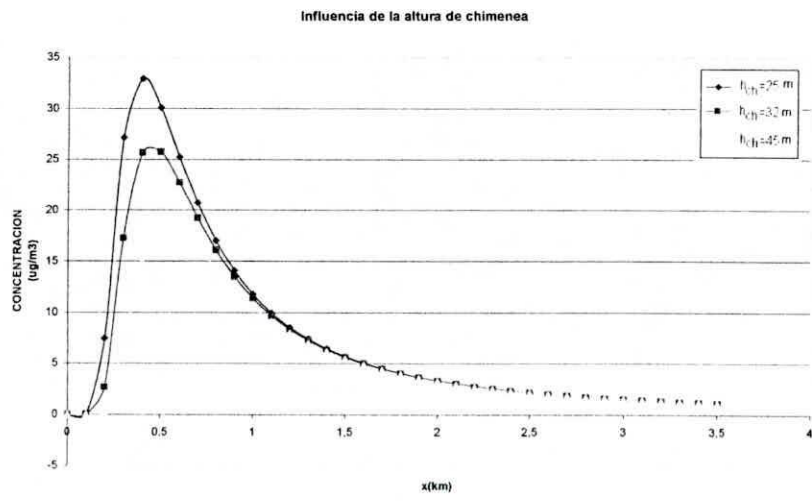


Figura 4.14 Influencia de la altura de la chimenea

4.4.2.4. INFLUENCIA DE LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.

La estabilidad atmosférica se refiere a las condiciones de mezclado o movimiento vertical; en ello, mucho tiene que ver el gradiente de temperatura y el grado de turbulencia que genera el viento.

Los grados de estabilidad se definen por letras, desde la A (muy inestable) hasta la F (estable). Una atmósfera es inestable cuando hay una buena mezcla vertical, y es estable cuando esto no se produce; el hecho de que se tenga una atmósfera estable o no, depende principalmente de la incidencia del sol sobre la superficie terrestre.

Manteniendo fijas las variables principales, y permitiendo cambios en la estabilidad atmosférica se obtiene. De la figura, que se puede establecer que cuando una atmósfera es inestable, las mayores concentraciones se presentan a distancias cortas desde la fuente emisora.

El tipo de estabilidad A y B para las condiciones establecidas, es el que presenta mayores problemas con la concentración en la parte cercana a la chimenea, mientras que para las estabilidades D, E y F, la concentración se mantiene en todo momento por debajo de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

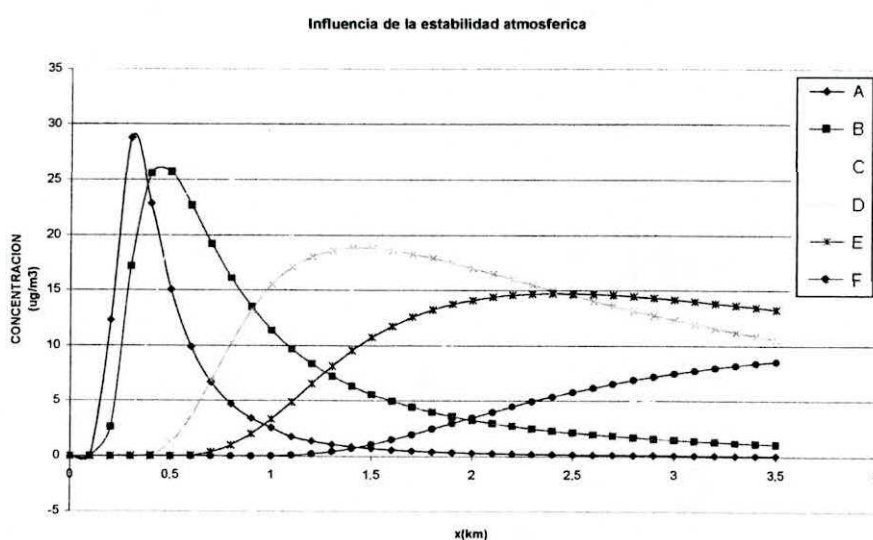


Figura 4.15 Influencia de la estabilidad atmosférica.



CAPITULO 5

6. ANÁLISIS DE COSTO.

	PRESUPUESTO DUCTO EXHAUSTOR				
	Masa un. (Kg.)	Cantidad 1220 x 2440 mm	Precio un. / Kg.	Precio/ un.	Costo.
Chapa 4mm	93,47	39	\$ 0,866	\$ 81,00	\$ 3.159,00
Soldadura	175		\$ 2,91		\$ 509,25
Mano Obra	3465		\$ 0,50		\$ 1.732,50
Montaje	3465		\$ 0,80		\$ 2.772,00
TOTAL					\$ 8.172,75

	PRESUPUESTO CICLON				
	Masa un. (Kg.)	Cantidad 1220 x 2440 mm	Precio un. / Kg.	Precio/ un.	Costo.
Chapa 5mm	116,84	15	\$ 0,866	\$ 101,00	\$ 1.515,00
Chapa 8mm	186,94	1	\$ 0,866	\$ 161,00	\$ 161,00
Soldadura	131		\$ 2,91		\$ 381,21
Mano Obra	1560		\$ 0,50		\$ 780,00
Montaje	1560		\$ 0,80		\$ 1.248,00
TOTAL					\$ 4.085,21

	PRESUPUESTO DE LAS ESTRUCTURA (CICLON & DUCTOS).				
	Masa un.(Kg.)	Cantidad	Precio un. / Kg.	Precio/ un.	Costo.
Angulo 50x50x6	27,7	8	\$ 0,866	\$ 24,00	\$ 192,00
Angulo 75x75x6	46,19	7	\$ 0,866	\$ 40,00	\$ 280,00
Chapa 8mm	186,94	1	\$ 0,866	\$ 161,00	\$ 161,00
Chapa 4mm	93.47	1	\$ 0,866	\$ 81,00	\$ 81,00
Soldadura	30		\$ 2,91		\$ 87,30
Mano Obra	765		\$ 0,50		\$ 382,50
Montaje	765		\$ 0,80		\$ 612,00
TOTAL					\$ 1.795,80

	PRESUPUESTO CHIMENEA				
	Masa un. (Kg.)	Cantidad 1220 x 2440 mm	Precio un. / Kg.	Precio/ un.	Costo.
Chapa 4mm	93.47	8	\$ 0,866	\$ 81,00	\$ 648,00
Chapa 5mm	116.84	15	\$ 0,866	\$ 101,00	\$ 1.515,00
Chapa 6mm	140.21	17	\$ 0,866	\$ 121,00	\$ 2.057,00
Chapa 8mm	186.94	2	\$ 0,866	\$ 161,00	\$ 322,00
Chapa 10mm	233,68	3	\$ 0,866	\$ 182,00	\$ 546,00
Chapa 12mm	280.42	3	\$ 0,866	\$ 242,00	\$ 726,00
Chapa 15mm	350.52	2	\$ 0,866	\$ 303,00	\$ 606,00
Soldadura	131		\$ 2,91		\$ 381,21
Mano Obra	5298		\$ 0,50		\$ 2.649,00
Montaje	5298		\$ 0,80		\$ 4.238,40
				TOTAL	\$ 13.688,61

EQUIPOS	COSTO UNI.	CANTIDAD	TOTAL.
VENTILADOR EXHAUSTOR	\$ 16.500,00	1	16.500
		TOTAL.	\$ 16.500,00

	TOTAL.
COSTO TOTAL DE LA OBRA	44.2442,37
	\$ 44.242,37

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En el proceso de combustión intervinieron dos parámetros importantes que son, la combustión debido al Fuel Oil y la reacción química que produce el carbonato de calcio, también interviene el flujo de aire y el flujo de reciclo pero son dependiente de los parámetros dichos anteriormente.

La piedra debe tener un 98% de carbonato de calcio como mínimo, y un tamaño de 2 a 4 pulgadas para que al ocurrir la transformación a óxido de calcio, esta no contengan un porcentaje elevado de crudos (impurezas), dependiendo de la calidad de la piedra va a tener una temperatura de transformación y esta difiere en la temperatura de operación del sistema (ventilador exhaustor, gases de salida de la chimenea entre otros).

En las dimensiones de los ductos (diámetro interno, altura, longitud) se trabajo por el método de velocidad constante, en la altura de la chimenea se enfatizo en que no afecten a los alrededores. Los espesores fueron analizados por la transportación de gases y sólidos la cual se obtuvo un factor de milésimas de pulgadas por año (mpy) que va a perder el material y se dio un tiempo de 20 años para dicho espesor el cual puede presentar problemas de deterioro de los ductos, se trabajo un diseño estructural de todo el sistema debido a este espesor seleccionado.

En el análisis de dispersión se trabajo con normas ambientales y de calidad de aire, manteniendo sus concentraciones permisibles de acuerdo a lo establecido en norma.

En cuanto con el combustible se recomienda verificar la parte de porcentaje de azufre realizando análisis, con el fin de reducir dicho porcentaje si no es el caso trata de poner dispositivos que controlen las concentraciones de azufre.



APÉNDICES

APÉNDICE A

FACTORES DE PÉRDIDAS DE CAMPANA



$K_e = 0.5 V_p$
PLAIN DUCT END



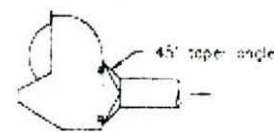
$K_e = 0.49 V_p$
FLANGED DUCT END



$K_e = 0.04 V_p$
BELLMOUTH ENTRY



$K_e = 1.74 V_{orifice}$
SHARP-EDGED ORIFICE



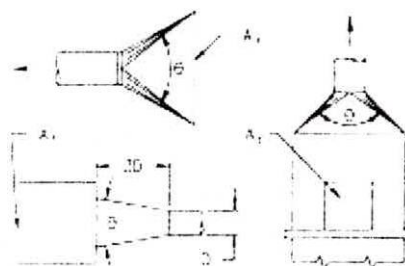
$K_e = 0.4 V_p$ (tapered to)
 $K_e = 0.65 V_p$ (no taper)
STANDARD GRINDER HOOD



$K_e = 1.5 V_p$
TRAP OR SETTLING CHAMBER

TAPERED HOODS

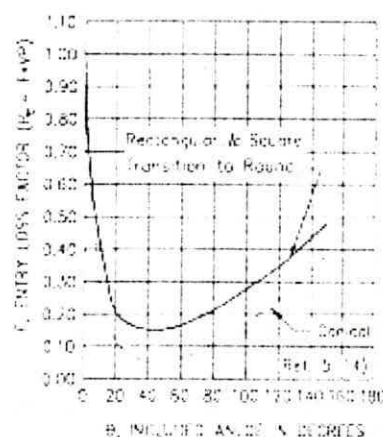
Flanged or unflanged, round, square or rectangular. θ is the major angle on rectangular hoods.



Face area (A_1) at least 2 times the duct area

ENTRY LOSS (K_e)	
θ	ROUND RECTANGULAR
15°	0.15 VP 0.25 VP
30°	0.08 VP 0.15 VP
45°	0.05 VP 0.10 VP
60°	0.03 VP 0.07 VP
90°	0.15 VP 0.25 VP
120°	0.25 VP 0.35 VP
150°	0.40 VP 0.48 VP
180°	0.50 VP 0.50 VP

$VP = \text{Duct } VP = VP_2$
Note: 180° values represent round ducts bolted into back of booth or hood without a rectangular to round transition.

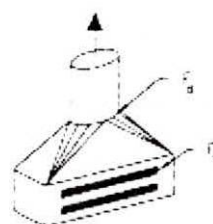


COMPOUND HOODS

A compound hood, such as the slot/pitman shown to the right, would have 2 losses, one through the slot and the other through the transition into the duct.

The slot entry loss coefficient, K_{e1} , would have a value typically in the range of 1.00 to 1.00 (see Chapters 3 and 10).

The duct entry loss factor is given by the above data for tapered hoods.



$$K_e = K_{e1} V_{p1} + K_{e2} V_{p2}$$

MISCELLANEOUS VALUES

HOOD	ENTRY LOSS, K_e
Abrasive blast chamber	1.0
Abrasive blast elevator	2.0
Abrasive separator	2.0
Elevators (enclosures)	1.50
Flanged pipe with sharp elbow	0.8
Pipe and pipe elbow elbow	0.5

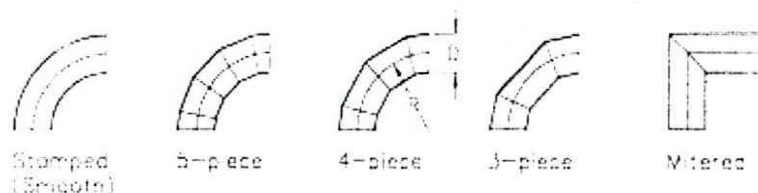
AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

HOOD ENTRY LOSS FACTORS

DATE 1 95

FIGURE 5-12

FACTORES DE PERDIDAS PARA CODOS



	R/D					
	0.5	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
Stamped	0.71	0.23	0.22	0.15	0.13	0.12
5-piece	-	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17*
4-piece	-	0.30	0.37	0.27	0.24	0.23*
3-piece	0.90	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33*

* extrapolated from published data

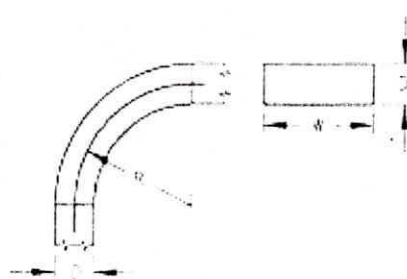
OTHER ELBOW LOSS COEFFICIENTS

Mitered, no vanes	1.2
Mitered, turning vanes	0.6
Flatback (R/D = 2.5)	0.05 (see Figure 5-23)

NOTE: Loss factors are assumed to be for elbows of "zero length." Friction losses should be included to the intersection of center lines.

ROUND ELBOW LOSS COEFFICIENTS

(Ref. 5-13)



R/D	Aspect Ratio, W/D					
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.5 (wire)	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.86
0.5	1.36	1.21	1.05	0.93	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.13	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

SQUARE & RECTANGULAR ELBOW LOSS COEFFICIENTS

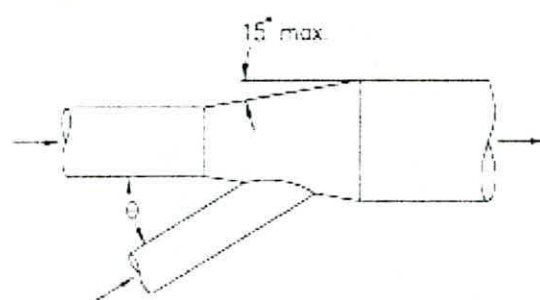
AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCT DESIGN DATA
ELBOW LOSSES

DATE 1 95

FIGURE 5 13

FACTORES DE PERDIDAS PARA RAMALES

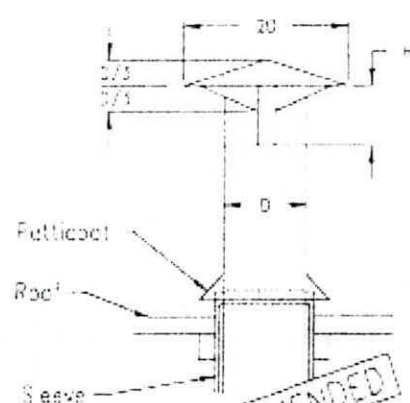


Note: Branch entry loss assumed to occur in branch and is so calculated.

Do not include an enlargement regain calculation for branch entry enlargements

Angle θ Degrees	Loss Fraction of VP in Branch
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

BRANCH ENTRY LOSSES



H, No. of Diameters	Loss Fraction of VP
1.0 D	0.10
0.75 D	0.18
0.70 D	0.22
0.65 D	0.30
0.60 D	0.41
0.55 D	0.56
0.50 D	0.73
0.45 D	1.0

WEATHER CAP LOSSES

See Fig. 5-31

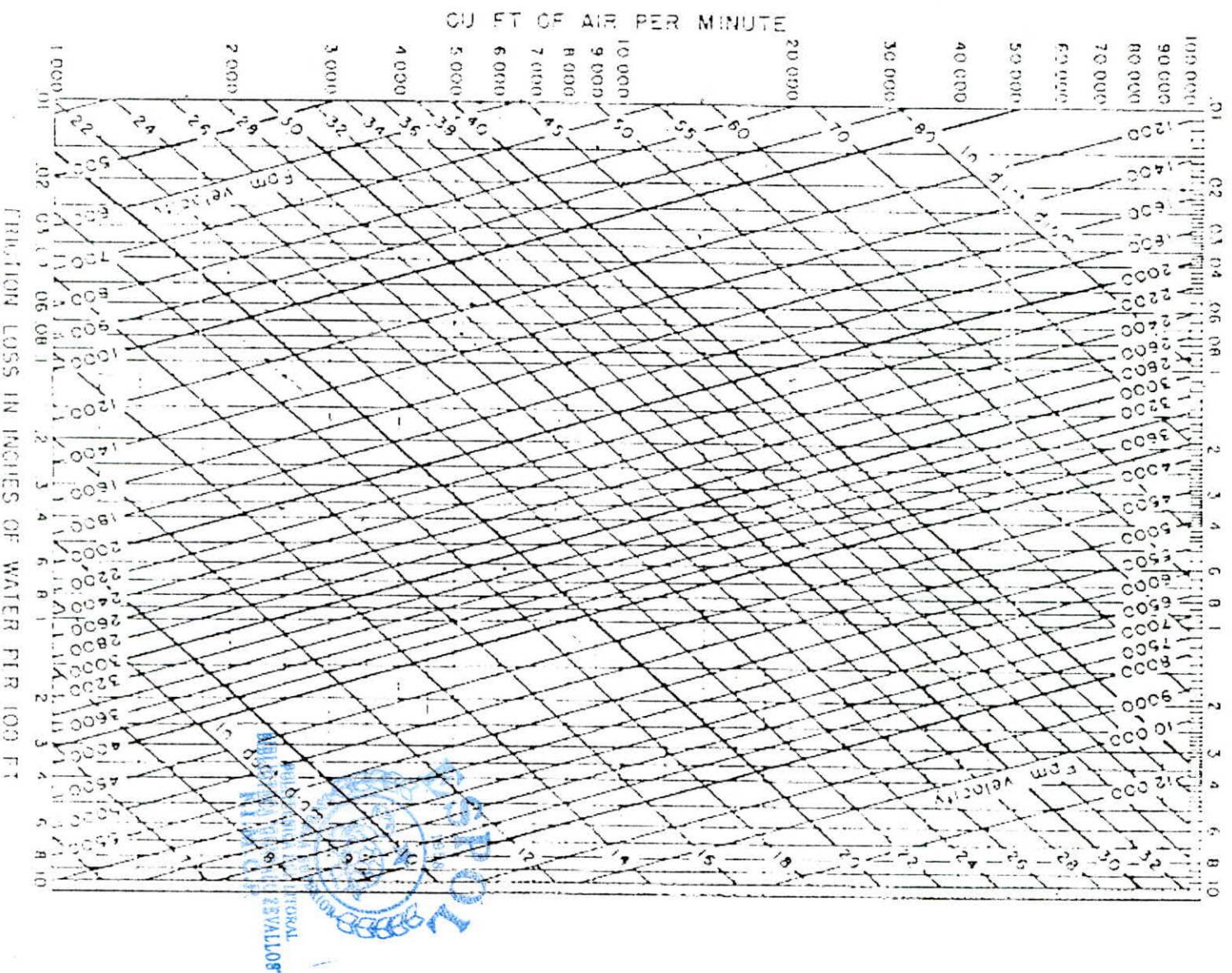
AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCT DESIGN DATA

DATE 4 - 94

FIGURE 5-14

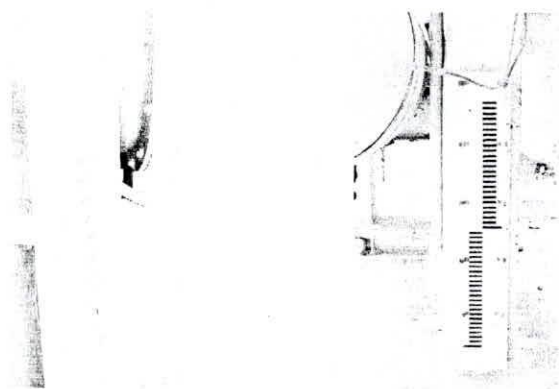
FACTORES DE PERDIDAS EN DUCTOS



APÉNDICE B

CALCULO DE PERMEABILIDAD DEL LA PIEDRA.

La permeabilidad de la piedra fue calculada por un método de medición en hornos de este tipo. En la figura adjunta podemos observar la caída de presión que provoca la piedra, los datos de $Q, \mu, L, A, \Delta P$ fueron tomados del un horno de 80 Toneladas por Dia.



$$K = \frac{Q * \mu * L}{A * \Delta P}$$

$$K = \frac{(27000 \frac{m^3}{h}) * (337 \times 10^{-7} \frac{N \cdot \text{seg}}{m^2}) * (25m) * (\frac{1h}{3600 \text{seg}})}{(\frac{\pi}{4} (2.7)^2) * (5878.11)}$$

$$K = 2 \times 10^{-7} m^2$$



APÉNDICE C

ASME B31.3-1999 Edition

302.3.6-304.1.1

wind and earthquake, as occurring concurrently with test loads.

302.4 Allowances

In determining the minimum required thickness of a piping component, allowances shall be included for corrosion, erosion, and thread depth or groove depth. See definition for c in para. 304.1.1(b).

302.4.1 Mechanical Strength. When necessary, the wall thickness shall be increased to prevent overstress, damage, collapse, or buckling due to superimposed loads from supports, ice formation, backfill, or other causes. Where increasing the thickness would excessively increase local stresses or the risk of brittle fracture, or is otherwise impracticable, the required strength may be obtained through additional supports, braces, or other means without an increased wall thickness. Particular consideration should be given to the mechanical strength of small pipe connections to piping or equipment.

PART 2 PRESSURE DESIGN OF PIPING COMPONENTS

303 GENERAL

Components manufactured in accordance with standards listed in Table 326.1 shall be considered suitable for use at pressure-temperature ratings in accordance with para. 302.2.1. The rules in para. 304 are intended for pressure design of components not covered in Table 326.1, but may be used for a special or more rigorous design of such components. Designs shall be checked for adequacy of mechanical strength under applicable loadings enumerated in para. 301.

304 PRESSURE DESIGN OF COMPONENTS

304.1 Straight Pipe

304.1.1 General

(a) The required thickness of straight sections of pipe shall be determined in accordance with Eq. (2):

$$t_m = t + c \quad (2)$$

The minimum thickness T for the pipe selected,

**TABLE 304.1.1
VALUES OF COEFFICIENT Y
FOR $t \leq D/6$**

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 432 (900 & Lower)	533 (1000)	538 (1000)	566 (1050)	593 (1100)	≥ 621 (1150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0					

considering manufacturer's minus tolerance, shall be not less than t_m .

(b) The following nomenclature is used in the equations for pressure design of straight pipe:

t_m = minimum required thickness, including mechanical, corrosion, and erosion allowances

t = pressure design thickness, as calculated in accordance with para. 304.1.2 for internal pressure or as determined in accordance with para. 304.1.3 for external pressure

c = the sum of the mechanical allowances (thread or groove depth) plus corrosion and erosion allowances. For threaded components, the nominal thread depth (dimension h of ASME B1.20.1, or equivalent) shall apply. For machined surfaces or grooves where the tolerance is not specified, the tolerance shall be assumed to be 0.5 mm (0.02 in.) in addition to the specified depth of the cut.

T = pipe wall thickness (measured or minimum per purchase specification)

d = inside diameter of pipe. For pressure design calculation, the inside diameter of the pipe is the maximum value allowable under the purchase specification.

P = internal design gage pressure

D = outside diameter of pipe as listed in tables of standards or specifications or as measured

E = quality factor from Table A-1A or A-1B

S = stress value for material from Table A-1

Y = coefficient from Table 304.1.1, valid for $t \leq D/6$ and for materials shown. The value of

Y may be interpolated for intermediate temperatures.

For $t \geq D/6$,

$$Y = \frac{d + 2c}{D + d + 2c}$$

304.1.2 Straight Pipe Under Internal Pressure

(a) For $t < D/6$, the internal pressure design thickness for straight pipe shall be not less than that calculated in accordance with Eq. (3a):

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)} \quad (3a)$$

Equation (3b), (3c), or (3d) may be used instead of Eq. (3a):

$$t = \frac{PD}{2SE} \quad (3b)$$

$$t = \frac{D}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{SE - P}{SE + P}} \right) \quad (\text{Lamé Equation}) \quad (3c)$$

$$t = \frac{P(d + 2c)}{2[SE - P(1 - Y)]} \quad (3d)$$

(b) For $t \geq D/6$ or for $P/SE > 0.385$, calculation of pressure design thickness for straight pipe requires special consideration of factors such as theory of failure, effects of fatigue, and thermal stress.

304.1.3 Straight Pipe Under External Pressure. To determine wall thickness and stiffening requirements for straight pipe under external pressure, the procedure outlined in the BPV Code, Section VIII, Division 1, UG-28 through UG-30 shall be followed, using as the design length L the running center line length between any two sections stiffened in accordance with UG-29. As an exception, for pipe with $D_o/t < 10$, the value of S to be used in determining P_{a2} shall be the lesser of the following values for pipe material at design temperature:

(a) 1.5 times the stress value from Table A-1 of this Code; or

(b) 0.9 times the yield strength tabulated in Section II, Part D, Table Y-1 for materials listed therein.

(The symbol D_o in Section VIII is equivalent to D in this Code.)

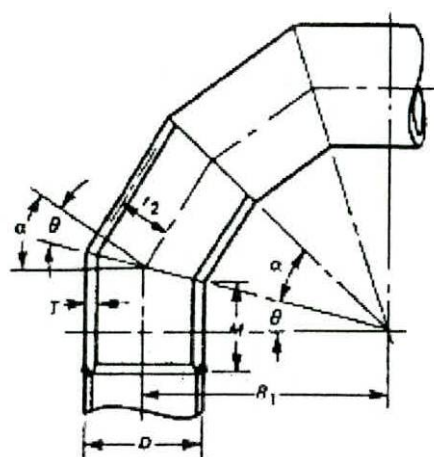


FIG. 304.2.3 NOMENCLATURE FOR MITER BENDS

304.2 Curved and Mitered Segments of Pipe

304.2.1 Pipe Bends. The minimum required thickness t_m of a bend, after bending, shall be determined as for straight pipe in accordance with para. 304.1.

304.2.2 Elbows. Manufactured elbows not in accordance with para. 303 shall be qualified as required by para. 304.7.2.

304.2.3 Miter Bends. An angular offset of 3 deg or less (angle α in Fig. 304.2.3) does not require design consideration as a miter bend. Acceptable methods for pressure design of multiple and single miter bends are given in (a) and (b) below.

(a) **Multiple Miter Bends.** The maximum allowable internal pressure shall be the lesser value calculated from Eqs. (4a) and (4b). These equations are not applicable when θ exceeds 22.5 deg.

$$P_m = \frac{SE(T - c)}{r_2} \left(\frac{T - c}{(T - c) + 0.643 \tan \theta \sqrt{r_2(T - c)}} \right) \quad (4a)$$

$$P_m = \frac{SE(T - c)}{r_2} \left(\frac{R_1 - r_2}{R_1 - 0.5r_2} \right) \quad (4b)$$

(b) Single Miter Bends

(1) The maximum allowable internal pressure for a single miter bend with angle θ not greater than 22.5 deg shall be calculated by Eq. (4a).

(2) The maximum allowable internal pressure for

Table A-1

ASME B31.3-1999 Edition

TABLE A-1 (CONT'D)
BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS¹

Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Material	Spec. No	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp. to 100 200 300		
						Tensile	Yield			
Carbon Steel (Cont'd)										
Plates and Sheets										
	A 285	1	A	(57)(59)	B	45	24	15.0	14.4	14.2
	A 285	1	B	(57)(59)	B	50	27	16.7	16.4	16.0
	A 516	1	55	(57)	C	55	30	18.3	18.3	17.7
	A 285	1	C	(57)(59)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
	A 516	1	60	(57)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
	A 515	1	60	(57)	D	60	32	20.0	19.5	18.9
	A 516	1	65	(57)	B	65	35	21.7	21.3	20.7
	A 515	1	65	(57)	A	65	35	21.7	21.3	20.7
	A 516	1	70	(57)	B	70	38	23.3	23.1	22.5
	A 515	1	70	(57)	A	70	38	23.3	23.1	22.5
(S 2 1/2 in. thick)	A 537	1	Cl. 1	...	D	70	50	23.3	23.3	22.9
(S 1 in. thick)	A 299	1	...	(57)	A	75	40	25.0	24.4	23.7
(S 1 in. thick)	A 299	1	...	(57)	A	75	42	25.0	25.0	24.8
Plates and Sheets (Structural)										
	A 283	1	A	(8c)(57)	A	45	24	15.8	15.2	15.0
	A 570	5-1	30	(8c)(57)	A	49	10	15.0	15.0	15.0
	A 283	1	B	(8c)(57)	A	50	27	16.3	14.6	14.2
	A 570	5-1	33	(8c)(57)	A	52	33	15.9	15.9	15.9
	A 570	5-1	36	(8c)(57)	A	53	36	16.3	16.1	16.1
	A 283	1	C	(8c)(57)	A	55	30	16.9	16.1	15.3
	A 570	5-1	40	(8c)(57)	A	55	40	16.9	16.9	16.9
	A 36	1	...	(8c)	A	56	36	17.8	16.9	16.9
	A 283	1	D	(8c)(57)	A	60	33	18.4	17.5	16.7
	A 570	5-1	45	(8c)(57)	A	60	45	18.4	18.4	18.4
	A 570	5-1	50	(8c)(57)	A	65	50	19.9	19.9	19.9



Table A-1A

ASME B31.3-1999 Edition

TABLE A-1A
BASIC CASTING QUALITY FACTORS E_f
These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.3(b). See also para. 302.3.3(c) and Table 302.3.3C for increased quality factors applicable in special cases. Specifications are ASTM.

Spec. No.	Description	E_f (2)	Appendix A Notes
Iron			
A 47	Machinable iron castings	1.00	(9)
A 48	Gray iron castings	1.00	(9)
A 126	Gray iron castings	1.00	(9)
A 197	Compacted graphite iron castings	1.00	(9)
A 270	Gray iron castings	1.00	(9)
A 295	Ductile and ferritic ductile iron castings	0.80	(9)(40)
A 571	Austenitic ductile iron castings	0.80	(9)(40)
Carbon Steel			
A 215	Carbon steel castings	0.60	(9)(40)
A 352	Ferritic steel castings	0.60	(9)(40)
Low and Intermediate Alloy Steel			
A 217	Martensitic stainless and alloy castings	0.60	(9)(40)
A 357	Ferritic steel castings	0.60	(9)(40)
A 426	Centrifugally cast pipe	1.00	(10)
Stainless Steel			
A 351	Austenitic steel castings	0.80	(9)(40)
A 451	Centrifugally cast pipe	0.90	(10)(40)
A 452	Centrifugally cast pipe	0.85	(40)
A 407	Steel castings	0.90	(9)(40)
Copper and Copper Alloy			
B 61	Steam bronze castings	0.80	(9)(40)
B 62	Composition bronze castings	0.80	(9)(40)
B 148	Al-Bronze and Si-Al Bronze castings	0.80	(9)(40)
B 594	Copper alloy castings	0.80	(9)(40)
Nickel and Nickel Alloy			
A 494	Nickel and nickel alloy castings	0.80	(9)(40)
Aluminum Alloy			
B 26, Temper F	Aluminum alloy castings	1.00	(9)(40)
B 26, Temper T6, T7	Aluminum alloy castings	0.80	(9)(40)

TABLE A-1B

BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS E_j . These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

Spec. No.	Class (or Type)	Description	E_j (2)	Appendix A Notes
Carbon Steel				
API 5L	...	Seamless pipe	1.00	...
	...	Electric resistance welded pipe	0.85	...
	...	Electric fusion welded pipe, double butt, straight or spiral seam	0.95	...
	...	Furnace butt welded	0.60	...
A 53	Type S	Seamless pipe	1.00	...
	Type E	Electric resistance welded pipe	0.85	...
	Type F	Furnace butt welded pipe	0.60	...
A 105	...	Forgings and fittings	1.00	(9)
A 106	...	Seamless pipe	1.00	...
A 134	...	Electric fusion welded pipe, single butt, straight or spiral seam	0.80	...
A 135	...	Electric resistance welded pipe	0.85	...
A 139	...	Electric fusion welded pipe, straight or spiral seam	0.80	...
A 179	...	Seamless tube	1.00	...
A 181	...	Forgings and fittings	1.00	(9)
A 234	...	Seamless and welded fittings	1.00	(16)
A 333	...	Seamless pipe	1.00	...
	...	Electric resistance welded pipe	0.85	...
A 334	...	Seamless tube	1.00	...
A 350	...	Forgings and fittings	1.00	(9)
A 369	...	Seamless pipe	1.00	...
A 381	...	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	(10)
	...	Electric fusion welded pipe, spot radiographed	0.90	(19)
	...	Electric fusion welded pipe, as manufactured	0.85	...
A 420	...	Welded fittings, 100% radiographed	1.00	(16)
A 514	...	Seamless pipe	1.00	...
A 567	...	Electric resistance welded pipe	0.85	...
A 671	12, 22	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	13, 23	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
A 672	12, 22	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	13, 23	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
A 691	12, 22	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	13, 23	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...



Table A-1B

ASME B31.1-1999 Edition

TABLE A-1B (CONT'D)

BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS, E_1
 These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

Spec. No.	Class or Type ¹	Description	E_1 (2)	Appendix A Notes
Low and Intermediate Alloy Steel				
A 182	...	Forgings and fittings	1.00	(9)
A 234	...	Seamless and welded fittings	1.00	(2b)
A 333	...	Seamless pipe	1.00	...
	...	Electric resistance welded pipe	0.85	...
A 334	...	Seamless like	1.00	...
A 335	...	Seamless pipe	1.00	...
A 350	...	Forgings and fittings	1.00	...
A 369	...	Seamless pipe	1.00	...
A 470	...	Welded fittings, 100% radiographed	1.00	(16)
A 671	12, 22	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	13, 23	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
A 672	12, 22	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	13, 23	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
A 691	12, 22	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	13, 23	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
Stainless Steel				
A 182	...	Forgings and fittings	1.00	...
A 268	...	Seamless tube	1.00	...
	...	Electric fusion welded tube, double butt seam	0.85	...
	...	Electric fusion welded tube, single butt seam	0.80	...
A 269	...	Seamless tube	1.00	...
	...	Electric fusion welded tube, double butt seam	0.85	...
	...	Electric fusion welded tube, single butt seam	0.80	...
A 312	...	Seamless tube	1.00	...
	...	Electric fusion welded tube, double butt seam	0.85	...
	...	Electric fusion welded tube, single butt seam	0.80	...
A 358	1, 3, 4	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	5	Electric fusion welded pipe, test radiographed	0.90	...
	2	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
A 376	...	Seamless pipe	1.00	...
A 403	...	Seamless fittings	1.00	...
	...	Welded fitting, 100% radiographed	1.00	(16)
	...	Welded fitting, double butt seam	0.85	...
	...	Welded fitting, single butt seam	0.80	...

TABLE A-1B (CONT'D)

BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS E_1 . These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

Spec. No.	Class (or Type)	Description	E_1 (2)	Appendix A Notes
Stainless Steel (Cont'd)				
A 409	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	.....
A 430	Electric fusion welded pipe, single butt seam	0.90	.....
A 430	Seamless pipe	1.00	.....
A 487	Steel castings	0.80	(9)(14)(1)
A 789	Seamless tube	1.00	.....
	Electric fusion welded, 100% radiographed	1.00	.....
	Electric fusion welded, double butt	0.85	.....
	Electric fusion welded, single butt	0.80	.....
A 790	Seamless pipe	1.00	.....
	Electric fusion welded, 100% radiographed	1.00	.....
	Electric fusion welded, double butt	0.85	.....
	Electric fusion welded, single butt	0.80	.....
A 815	Seamless fittings	1.00	.....
	Welded fittings, 100% radiographed	1.00	(16)
	Welded fittings, double butt seam	0.85	.....
	Welded fittings, single butt seam	0.80	.....
Copper and Copper Alloy				
B 42	Seamless pipe	1.00	.....
B 43	Seamless pipe	1.00	.....
B 68	Seamless tube	1.00	.....
B 75	Seamless tube	1.00	.....
B 88	Seamless water tube	1.00	.....
B 280	Seamless tube	1.00	.....
B 466	Seamless pipe and tube	1.00	.....
B 467	Electric resistance welded pipe	0.85	.....
	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	.....
	Electric fusion welded pipe, single butt seam	0.80	.....
Nickel and Nickel Alloy				
B 160	Forgings and fittings	1.00	(19)
B 161	Seamless pipe and tube	1.00	.....
B 164	Forgings and fittings	1.00	(19)
B 165	Seamless pipe and tube	1.00	.....
B 167	Seamless pipe and tube	1.00	.....
B 366	Seamless and welded fittings	1.00	(16)
B 407	Seamless pipe and tube	1.00	.....
B 444	Seamless pipe and tube	1.00	.....
B 454	Welded pipe	0.80	.....
B 514	Welded pipe	0.80	.....
B 517	Welded pipe	0.80	.....
B 564	Nickel alloy forgings	1.00	(19)

TABLE A-1B (CONT'D)

BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS E_1
 These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for
 increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

Spec. No.	Class (or Type)	Description	E_1 (2)	Appendix A Notes
Nickel and Nickel Alloy (Cont'd)				
B 619	...	Electric resistance welded pipe	0.85	...
	...	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
	...	Electric fusion welded pipe, single butt seam	0.80	...
B 622	...	Seamless pipe and tube	1.00	...
B 675	A-1	Welded pipe	0.80	...
B 690	...	Seamless pipe	1.00	...
B 702	...	Welded pipe	0.80	...
B 725	...	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
	...	Electric fusion welded pipe, single butt seam	0.80	...
B 729	...	Seamless pipe and tube	1.00	...
B 804	1, 3, 5	Welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
	2, 4	Welded pipe, double fusion welded	0.85	...
	6	Welded pipe, single fusion welded	0.80	...
Titanium and Titanium Alloy				
B 337	...	Seamless pipe	1.00	...
	...	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.95	...
Zirconium and Zirconium Alloy				
B 521	...	Seamless tube	1.00	...
	...	Electric fusion welded tube	0.80	...
B 650	...	Seamless pipe	1.00	...
	...	Electric fusion welded pipe	0.80	...
Aluminum Alloy				
B 210	...	Seamless tube	1.00	...
B 241	...	Seamless pipe and tube	1.00	...
B 247	...	Forgings and fittings	1.00	...
B 345	...	Seamless pipe and tube	1.00	...
B 361	...	Seamless fittings	1.00	...
	...	Welded fittings, 100% radiograph	1.00	(1B)(23)
	...	Welded fittings, double butt	0.85	(23)
	...	Welded fittings, single butt	0.80	(23)



APÉNDICE D



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

LIBRO VI ANEXO 4

0 INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

Los objetivos de calidad del aire ambiente.

Los métodos y procedimientos a la determinación de los contaminantes en el aire ambiente.

1 OBJETO

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.

2 DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación, y las que a continuación se indican:

2.1 Aire

O también aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

2.2 Chimenea

Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

2.3 Combustión

Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

2.4 Condiciones de referencia

Veinticinco grados centígrados (25 °C) y setecientos sesenta milímetros de mercurio de presión (760 mm Hg).

2.5 Contaminante del aire

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

2.6 Contaminantes comunes del aire

Cualquier contaminante del aire para los cuales, en esta norma, se especifica un valor máximo de concentración permitida a nivel del suelo en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo.

2.7 Contaminante peligroso del aire

Son aquellos contaminantes del aire no contemplados en esta norma pero que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente. Algunos de estos contaminantes, pero que no se limitan a los mismos, son asbesto, berilio, mercurio, benceno, cloruro de vinilo.

2.8 Contaminación del aire

La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

2.9 Diámetro aerodinámico

Para una partícula específica, es el diámetro de una esfera con densidad unitaria (densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión.

2.10 Emisión

La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de esta norma, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

2.11 Episodio crítico de contaminación del aire

Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos.

2.12 Fuente fija de combustión

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y



que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

2.13 ISO

Organización Internacional para la Normalización.

2.14 Línea base

Denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas.

2.15 Material particulado

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales. Se designa como $PM_{2,5}$ al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones. Se designa como PM_{10} al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones.

2.16 Micrón

Millonésima parte de un metro.

2.17 Monitoreo

Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente, a menudo con el fin de evaluar conformidad con objetivos específicos.

2.18 Nivel de fondo (background)

Denota las condiciones ambientales imperantes antes de cualquier perturbación originada en actividades humanas, esto es, sólo con los procesos naturales en actividad.

2.19 Norma de calidad de aire

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el

ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

2.20 Norma de emisión

Es el valor que señala la descarga máxima permisible de los contaminantes del aire definidos.

2.21 Olor ofensivo

Es el olor, generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce molestia aunque no cause daño a la salud humana.

2.22 Partículas Sedimentables

Material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 micrones, y que es capaz de permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

2.23 US EPA

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

3 CLASIFICACIÓN

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de contaminantes comunes, a nivel del suelo, en el aire ambiente. La norma establece la presente clasificación:

Norma de calidad de aire ambiente

- a. Contaminantes del aire ambiente.
- b. Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente.
- c. Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire.
- d. Métodos de medición de concentración de contaminantes comunes del aire ambiente.
- e. De las molestias o peligros inducidos por otros contaminantes del aire.

4 REQUISITOS

4.1 Norma de calidad de aire ambiente

4.1.1 De los contaminantes del aire ambiente

4.1.1.1 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes comunes del aire ambiente a los siguientes:

Partículas Sedimentables.

Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia PM_{10} .

Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia $PM_{2,5}$.

Óxidos de Nitrógeno: NO y NO_2 , y expresados como NO_2 .

Dióxido de Azufre SO_2 .

Monóxido de Carbono.

Oxidantes Fotoquímicos, expresados como Ozono.

4.1.1.2 La Entidad Ambiental de Control verificará, mediante sus respectivos programas de monitoreo, que las concentraciones a nivel de suelo en el aire ambiente de los contaminantes comunes no excedan los valores estipulados en esta norma. Dicha Entidad quedará facultada para establecer las acciones necesarias para, de ser el caso de que se excedan las concentraciones de contaminantes comunes del aire, hacer cumplir con la presente norma de calidad de aire. Caso contrario, las acciones estarán dirigidas a prevenir el deterioro a futuro de la calidad del aire.

4.1.1.3 La responsabilidad de la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente recaerá en la Entidad Ambiental de Control. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la determinación de la concentración de contaminantes, tendrán como referencia a aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations, Anexos 40 CFR 50).

4.1.1.4 La Entidad Ambiental de Control deberá demostrar, ante el Ministerio del Ambiente, que sus equipos, métodos y procedimientos responden a los requerimientos descritos en esta norma. De existir alguna desviación con respecto a la norma, se deberá efectuar la debida justificación técnica a fin de establecer la validez, en uso oficial, de los resultados a obtenerse en la medición de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente. La información que se recabe, como resultado de los programas públicos de

medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire, serán de carácter público.

4.1.1.5 La Entidad Ambiental de Control establecerá sus procedimientos internos de control de calidad y aseguramiento de calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire ambiente en la región bajo su autoridad. Así mismo, la Entidad Ambiental de Control deberá definir la frecuencia y alcance de los trabajos, tanto de auditoría interna como externa, para su respectivo sistema de monitoreo de calidad de aire ambiente.

4.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente

4.1.2.1 Para los contaminantes comunes del aire, definidos en 4.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. El Ministerio del Ambiente establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Entidad Ambiental de Control utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial. La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad.

Partículas sedimentables.- La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$).

Material particulado menor a 10 micrones (PM₁₀).- El promedio aritmético de la concentración de PM₁₀ de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ($150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

Material particulado menor a 2,5 micrones (PM_{2,5}).- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de PM_{2,5} de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ($15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por

metro cúbico ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

Dióxido de azufre (SO_2).- El promedio aritmético de la concentración de SO_2 determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$), más de una vez en un año.

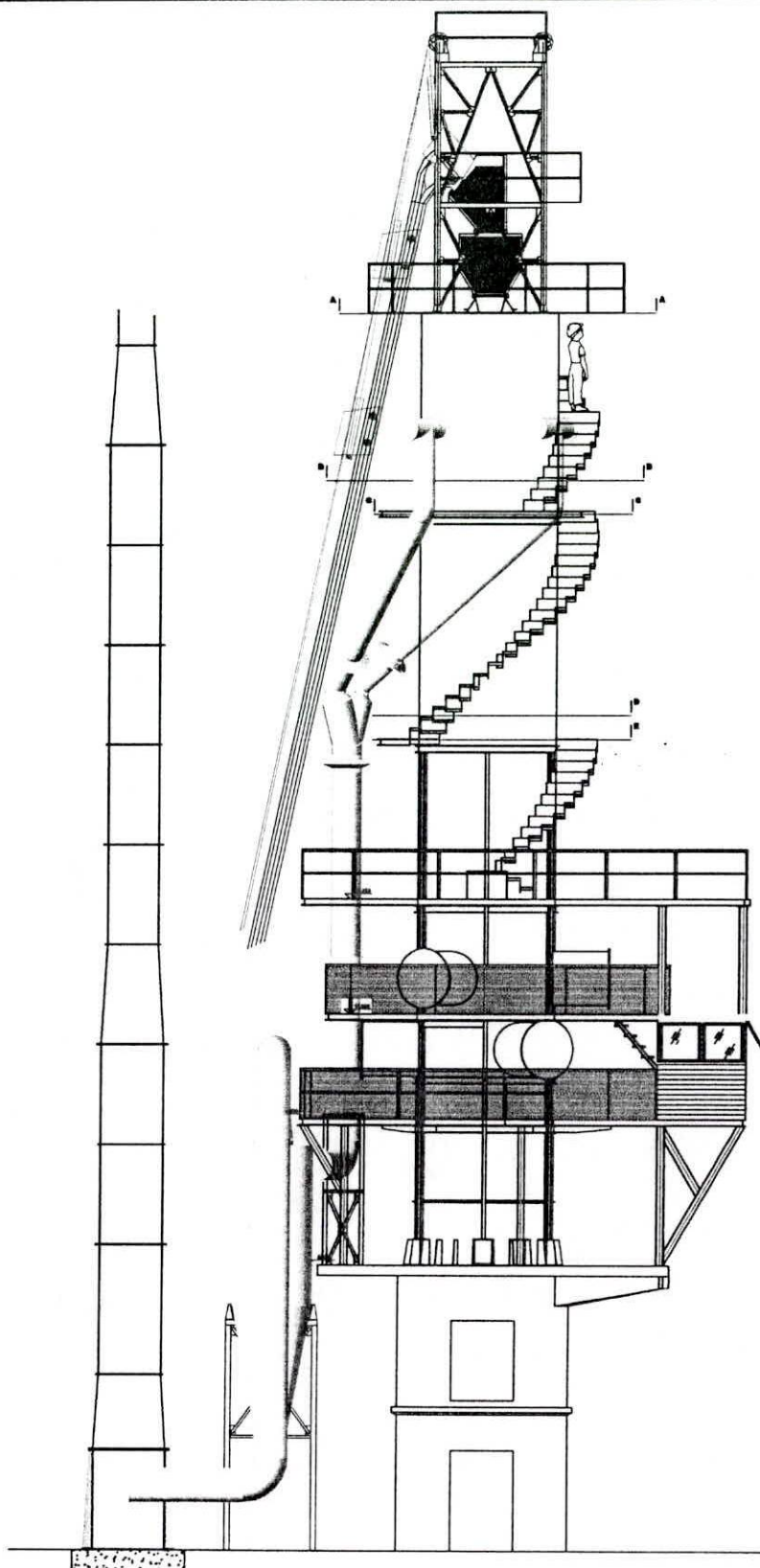
Monóxido de carbono (CO).- La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ($10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por metro cúbico ($40\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de una vez en un año.

Oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono.- La máxima concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de una hora, no deberá exceder de ciento sesenta microgramos por metro cúbico ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$), más de una vez en un año. La máxima concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de ocho horas, no deberá exceder de ciento veinte microgramos por metro cúbico ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$), más de una vez en un año.

Óxidos de nitrógeno, expresados como NO_2 .- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO_2 , y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de dos (2) veces en un año.

PLANOS

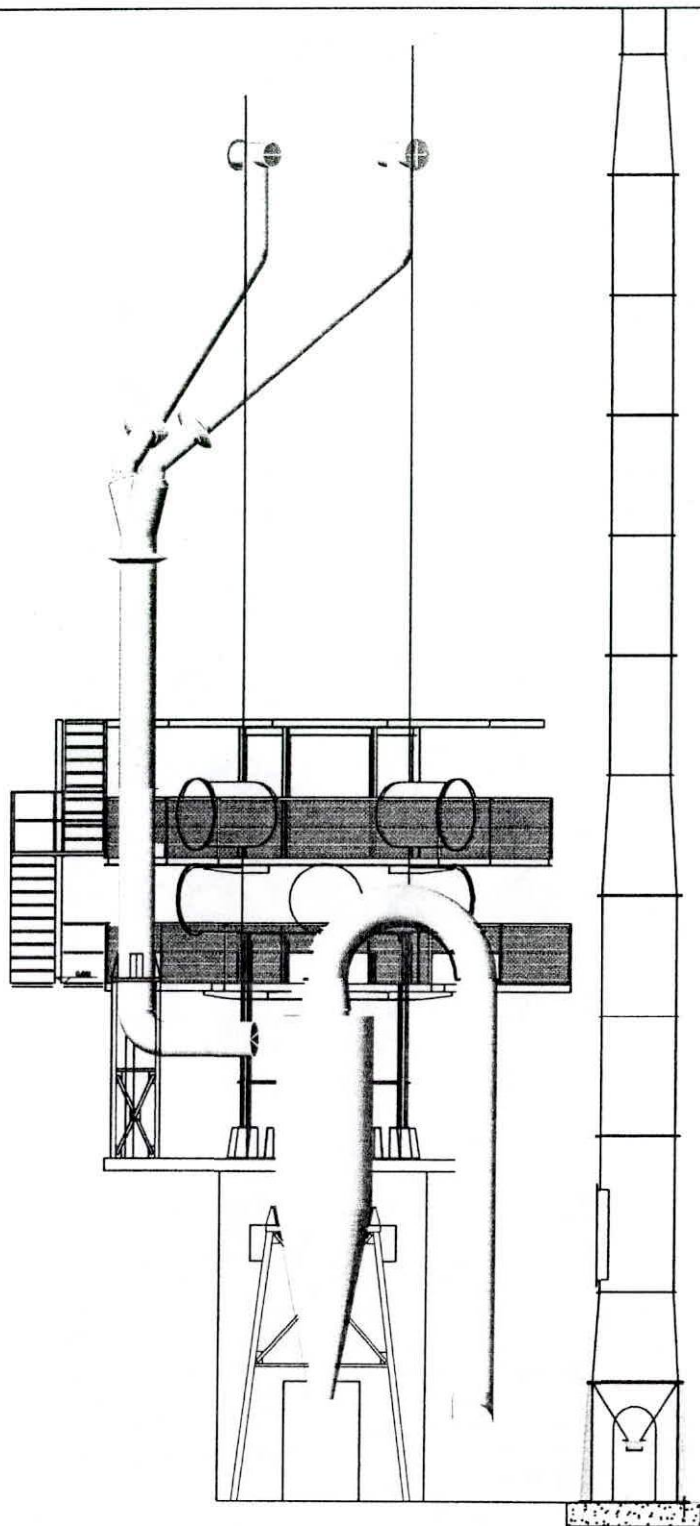




VISTA LATERAL FIMCP - ESPOL

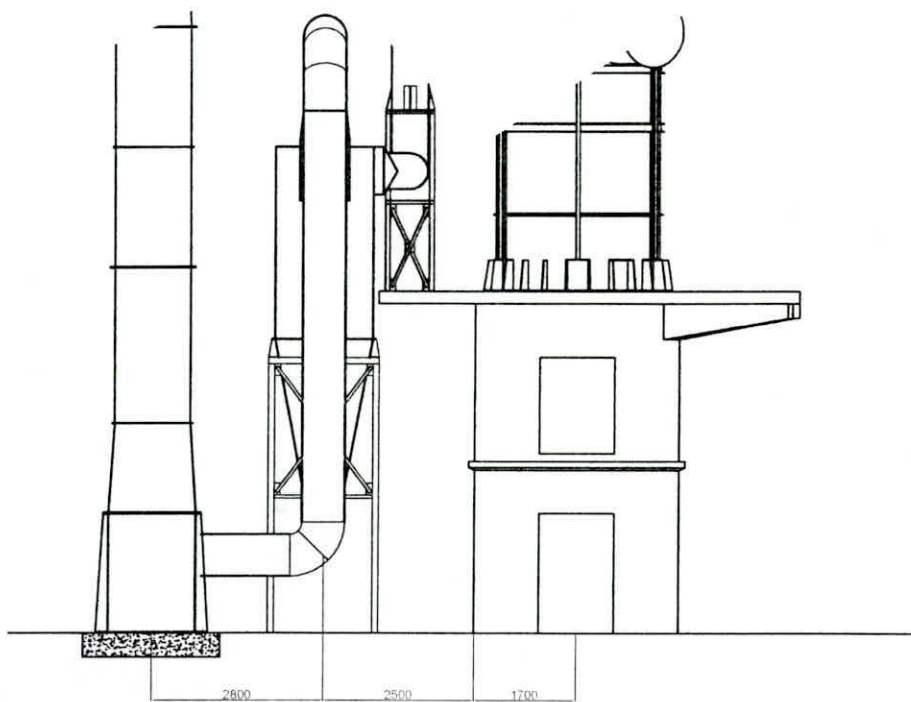
PROYECTO:		FECHA	NOMBRE
SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
		Revisó 01/11/05	Ing. Martinez
		PLANO N°:	
ESCALA: 1:144		CONTIENE: VISTA LATERAL DERECHA	
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36		MASA(kg):	

1

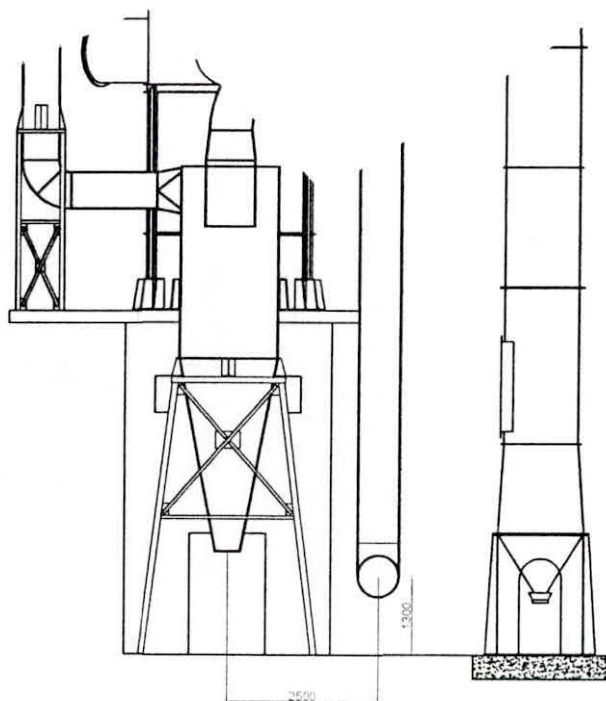


VISTA POSTERIOR

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
		Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
PROYECTO:		PLANO N°:	
SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		2	
	ESCALA:	CONTIENE:	
	1:125	VISTA PORTERIOR	
		MATERILAES:	
ACERO ESTRUCTURAL A-36		MASA(kg):	

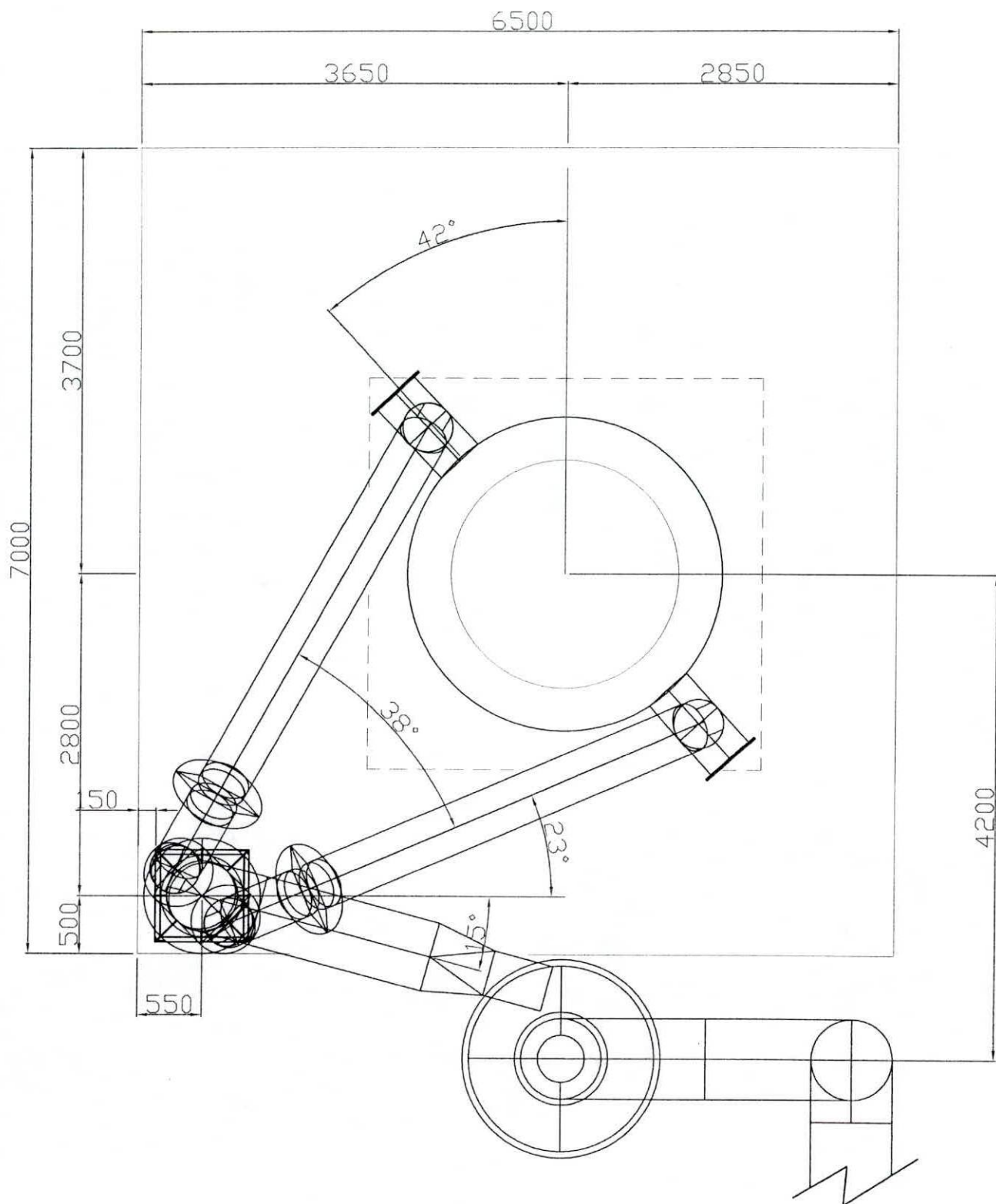


VISTA LATERAL



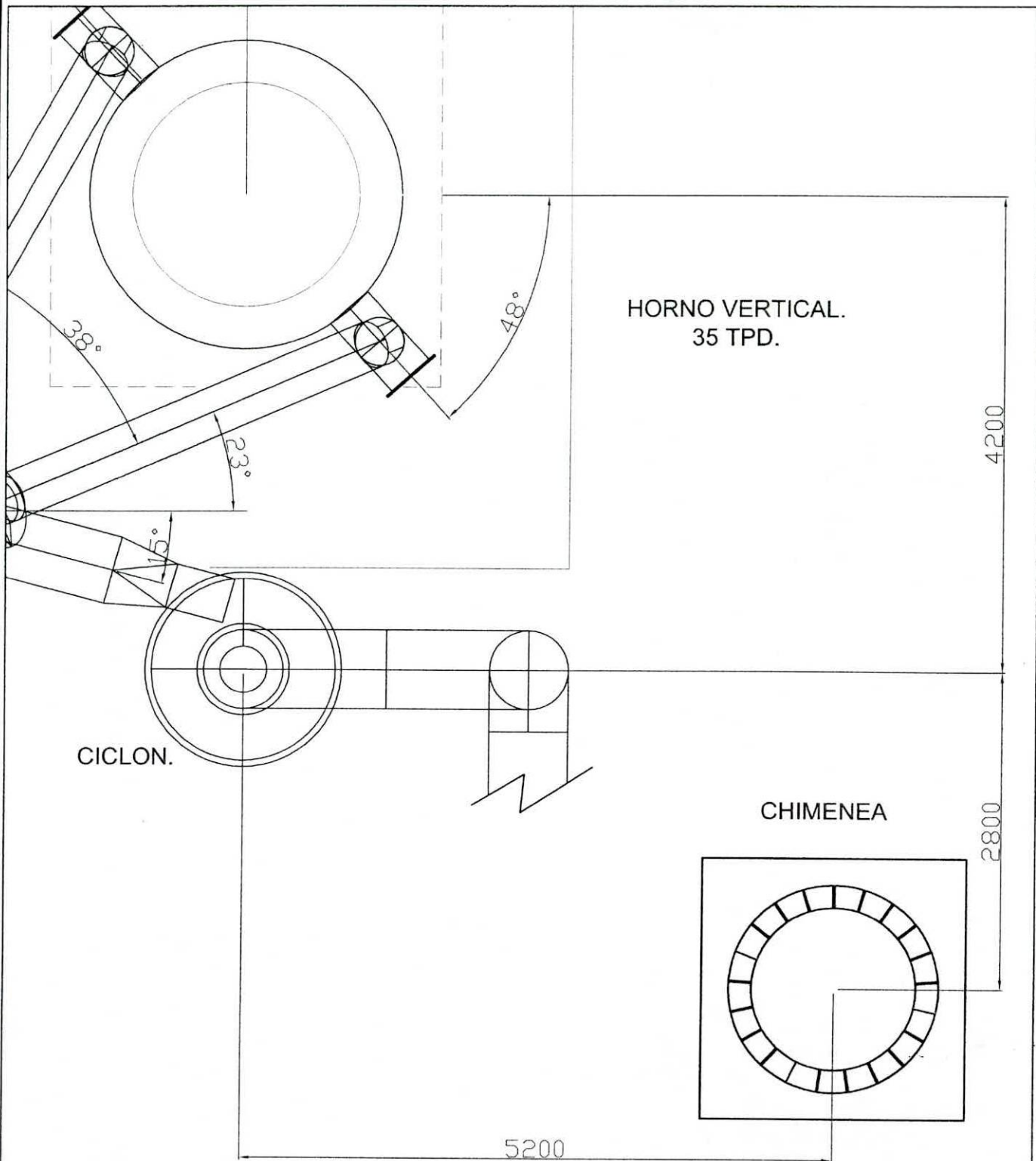
VISTA POSTERIOR

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
		Revisó 01/11/05	Ing. Martinez
	ESCALA:	PLANO N°: 3	
	CONTIENE: VISTA DE DETALLES		
	1:125	MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL	A-36
			MASA(kg):



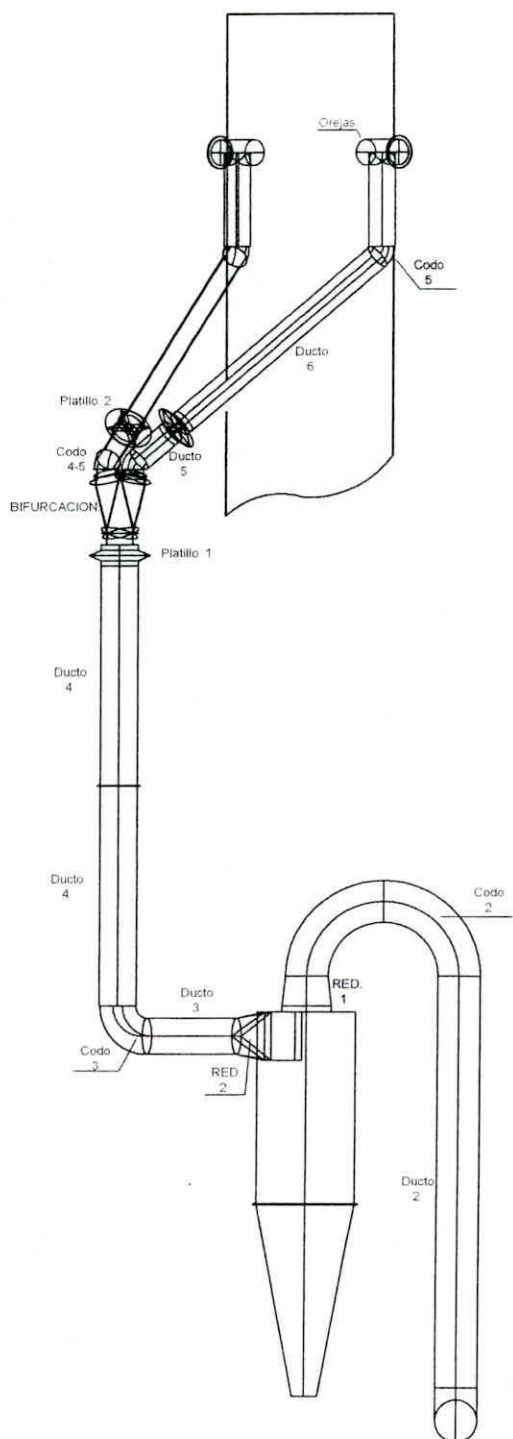
VISTA DE PLANTA

FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA: 1:50	CONTIENE: VISTA DE PLANTA 1		PLANO N°: 4
		MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36		MASA(kg):



VISTA DE PLANTA

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
		Revisó 01/11/05	Ing. Martinez
	ESCALA:	PLANO N°:	
	1:50	5	
CONTIENE:		MASA(kg):	
VISTA DE PLANTA 2			
MATERIALES:			
ACERO ESTRUCTURAL A-36			



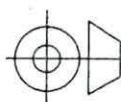
VISTA POSTERIOR

ITEM	Material	ESP. mm	Cant.	Den. (kg/m3)	Masa(kg)
DUCTO 1	ASTM A36	4	1	7850,00	193
DUCTO 2	ASTM A36	4	1	7850,00	586
DUCTO 3	ASTM A36	4	1	7850,00	113
DUCTO 4	ASTM A36	4	2	7850,00	546
DUCTO 5	ASTM A36	4	2	7850,00	70
DUCTO 6	ASTM A36	4	2	7850,00	458
BIFURCACION	ASTM A36	4	1	7850,00	157
CODO 1	ASTM A36	4	1	7850,00	134
CODO 2	ASTM A36	4	1	7850,00	268
CODO 3	ASTM A36	4	1	7850,00	117
CODO 4	ASTM A36	4	2	7850,00	34
CODO 5	ASTM A36	4	4	7850,00	187
PLATILLO 1	ASTM A36	4	1	7850,00	55
PLATILLO 2	ASTM A36	4	2	7850,00	157
OREJAS	ASTM A36	4	2	7850,00	270
RED 1	ASTM A36	4	2	7850,00	50
RED 2	ASTM A36	4	2	7850,00	70
PERNOS 1/2" X 2"	ASTM A36	-	96	-	-
TOTAL					3465

FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:

1:125

CONTIENE:

DENOMINACION DE DUCTOS

MATERIALES:

ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA NOMBRE

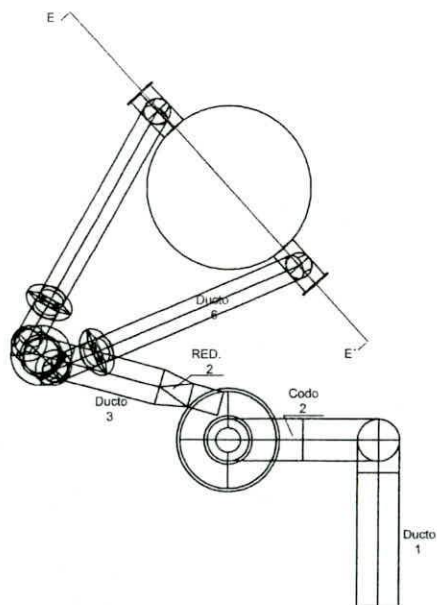
Dibujó 01/11/05 Carlos Vega

Revisó 01/11/05 Ing. Martinez

PLANO N°:

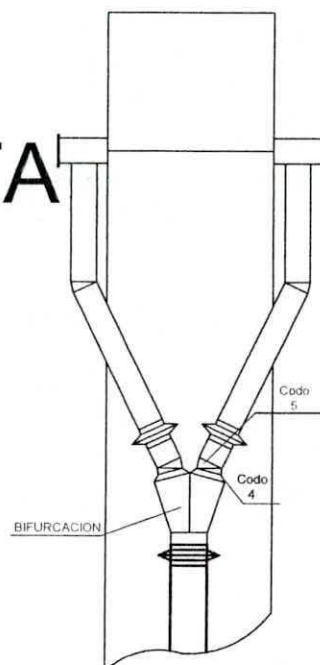
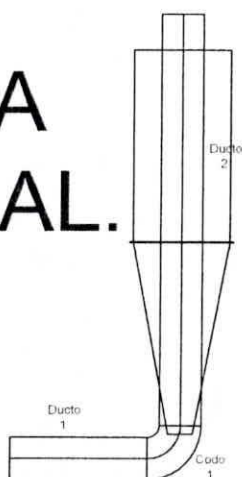
6

MASA(kg):



VISTA PLANTA

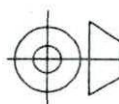
VISTA LATERAL.



VISTA E - E'

FIMCP - ESPOL

PROYECTO:
SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:
1:125

CONTIENE:
DENOMINACION DE DUCTOS

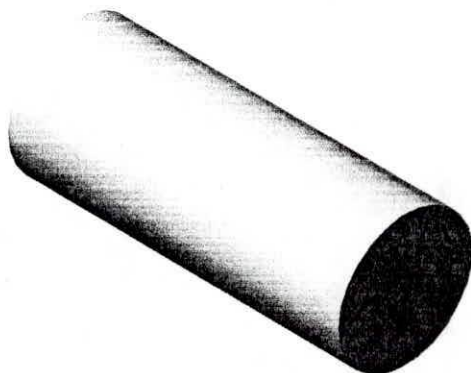
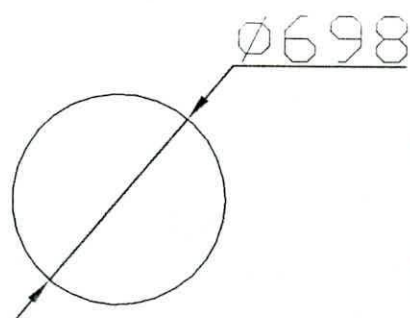
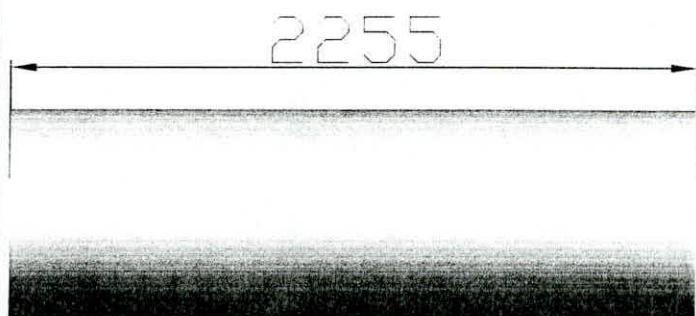
MATERIALES:
ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA	NOMBRE
Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
Revisó 01/11/05	Ing. Martinez

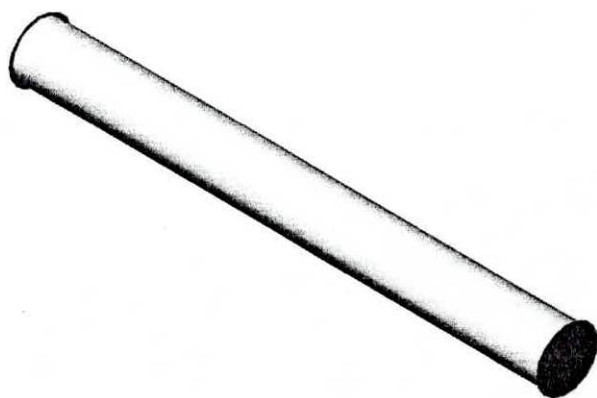
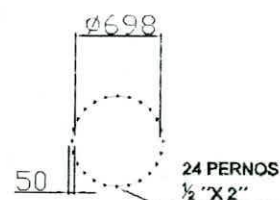
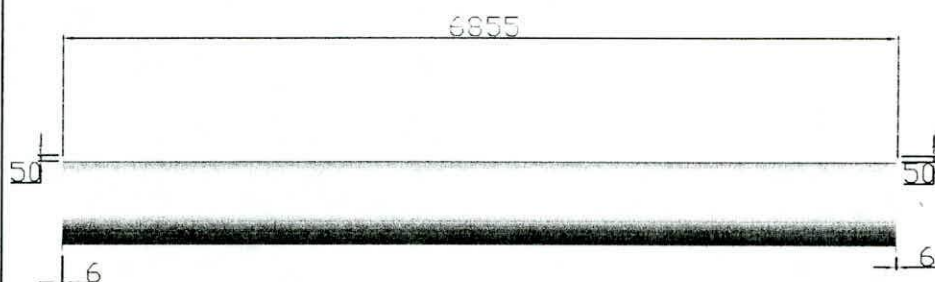
PLANO N°:

7

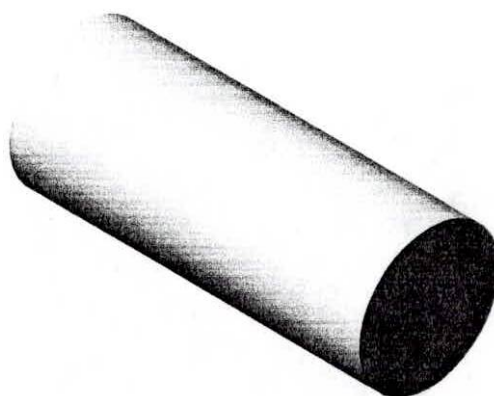
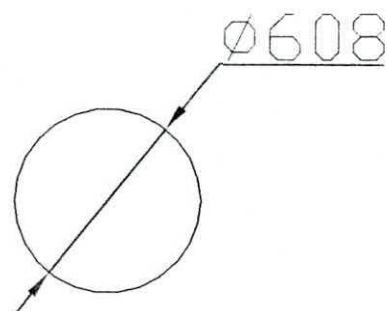
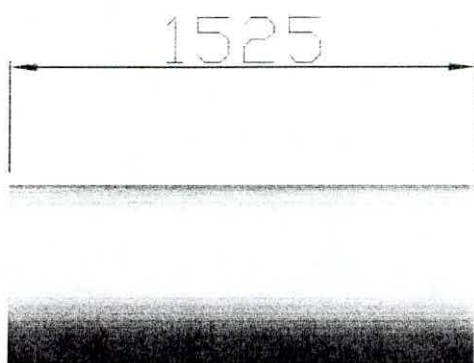
MASA(kg):



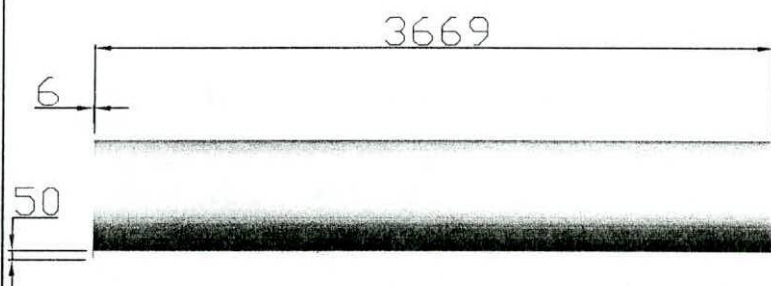
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujá	01/11/05 Carlos. Vega
			Revisá	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:		PLANO N°: 8
	1:25	DUCTO 1		
MATERIALES:		ACERO ESTRUCTURAL A-36		MASA(kg): 193



FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°:	
	1:62	DUCTO 2	9	
		MATERIALES:		
	ACERO ESTRUCTURAL	A-36	MASA(kg):	586

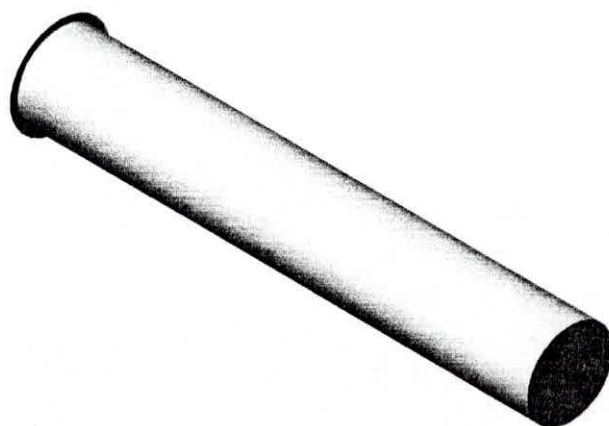
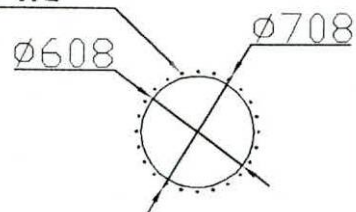


FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 10	
	1:25	DUCTO 3		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg): 113	

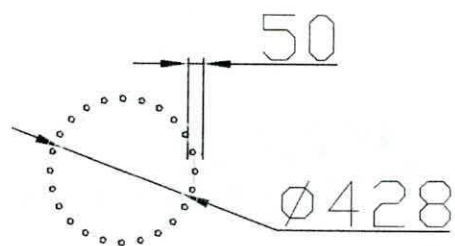
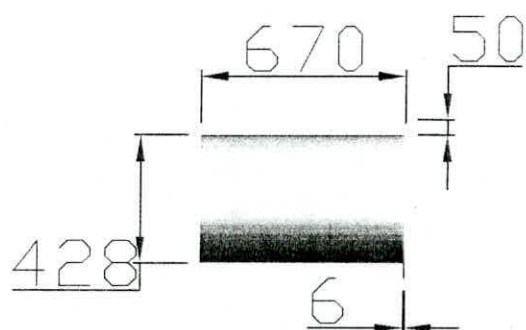


24 PERNOS

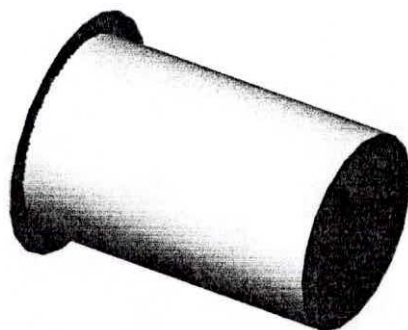
1/2" X 2"



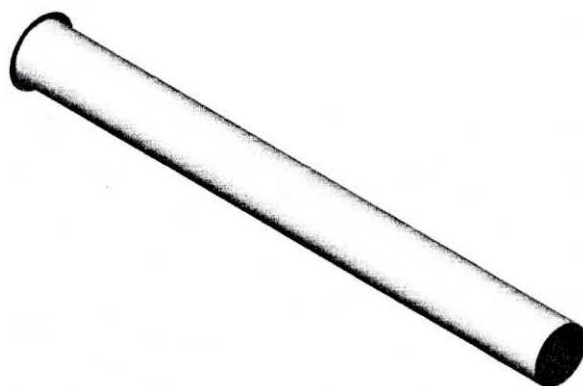
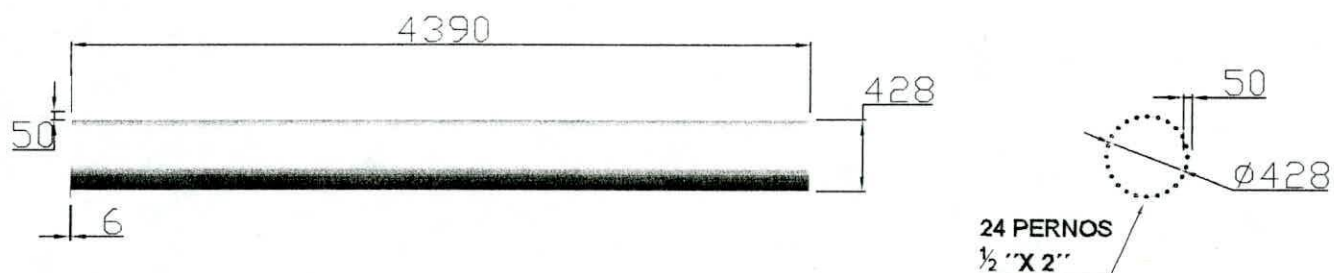
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 11	
	1:41	DUCTO 4		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg):	273



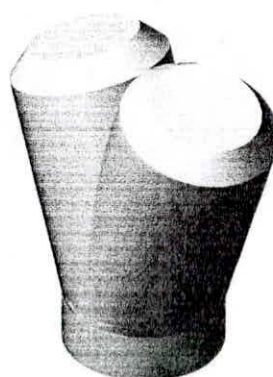
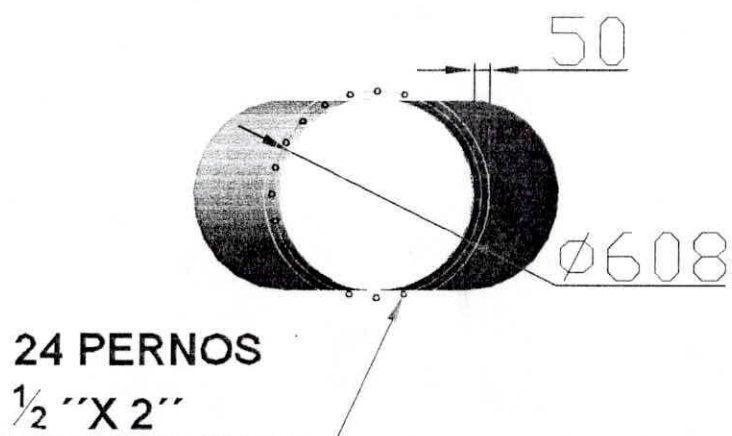
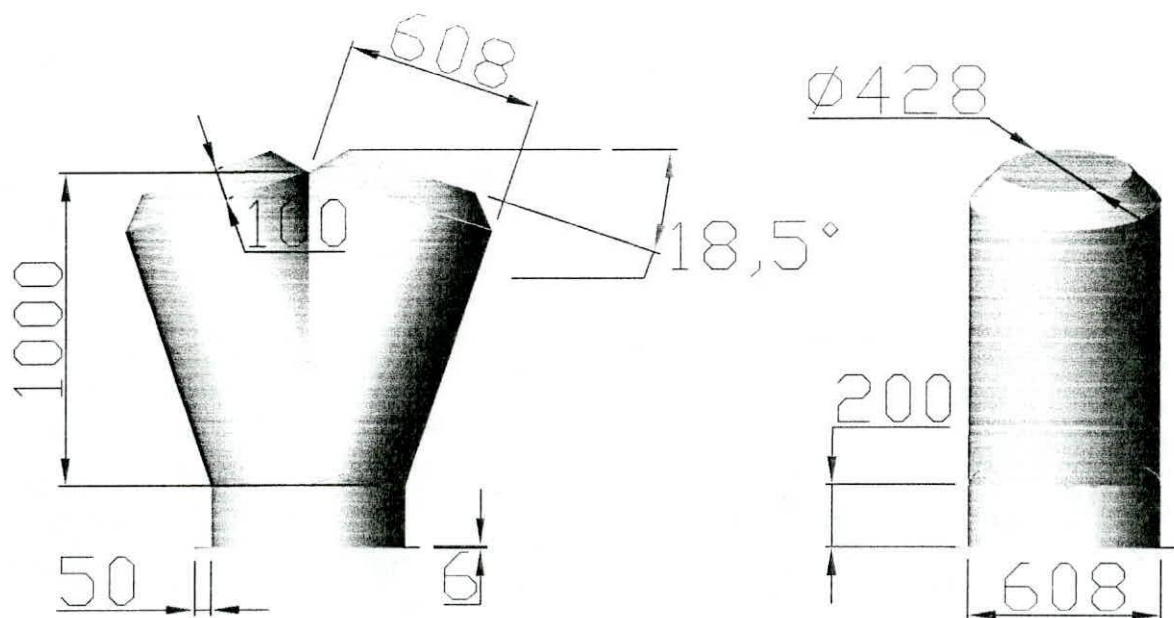
24 PERNOS
1/2 "X 2"



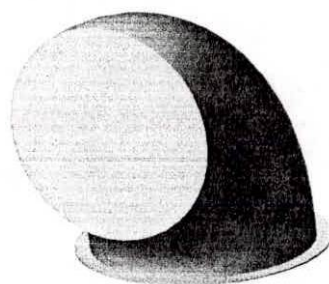
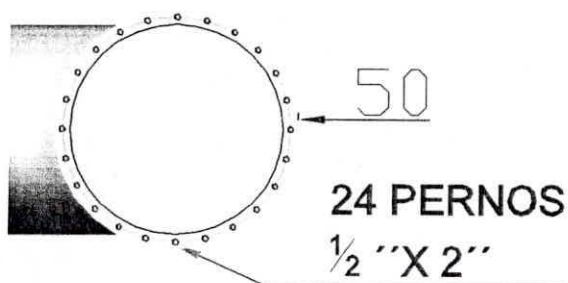
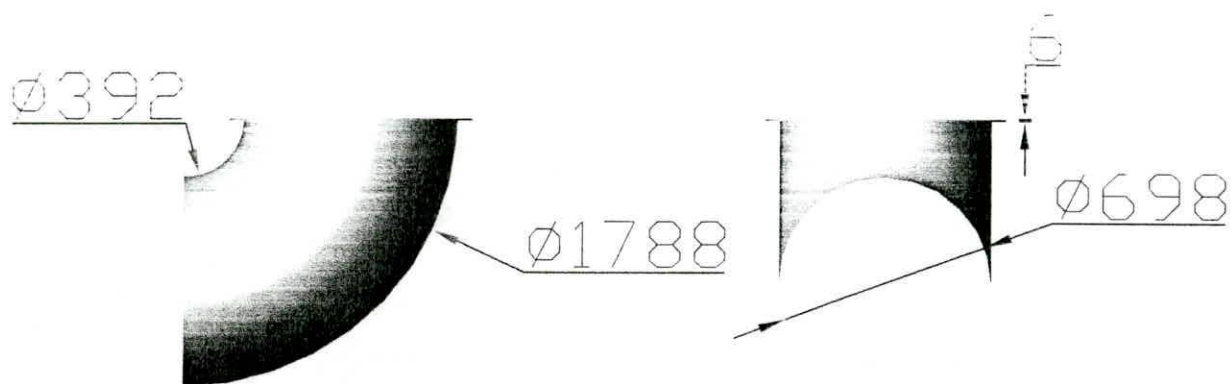
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°:	
	1:25	DUCTO 5	12	
		MATERIALES:		
	ACERO ESTRUCTURAL	A-36	MASA(kg):	35



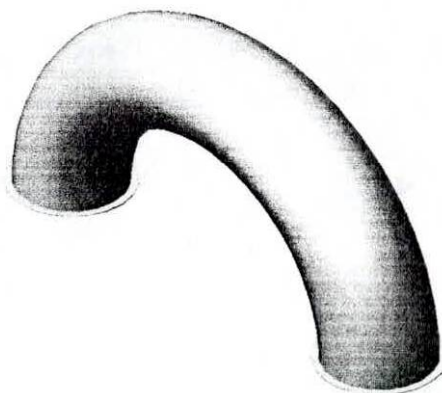
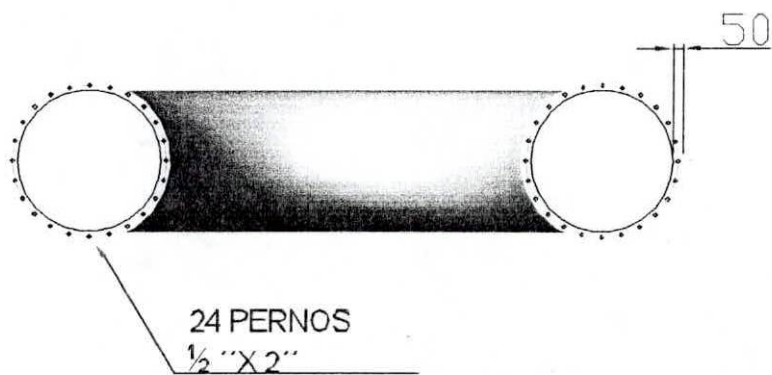
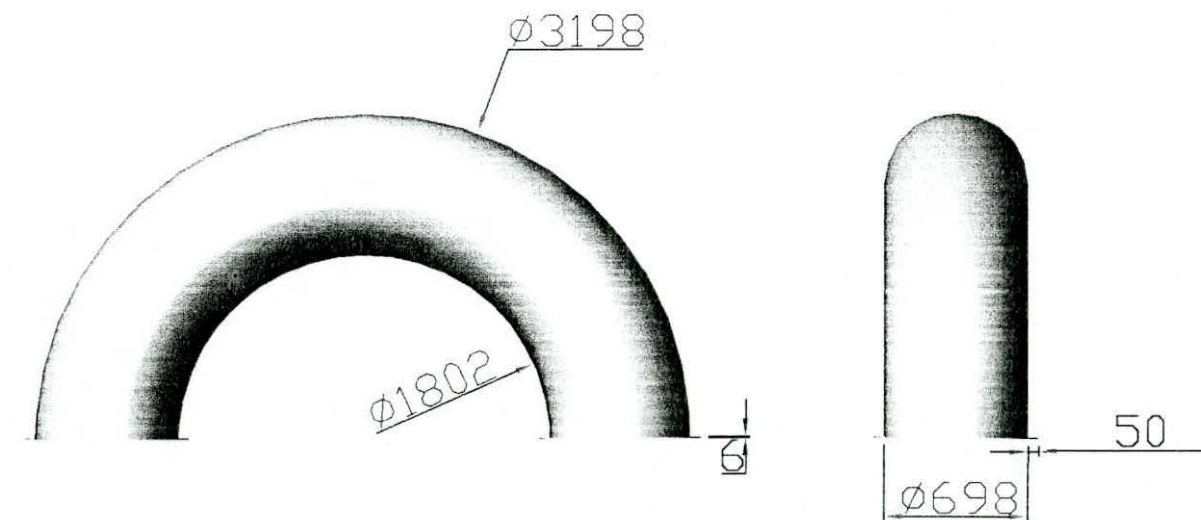
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
			Revisó 01/11/05	Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 13	
	1:45	DUCTO 6		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg):	229



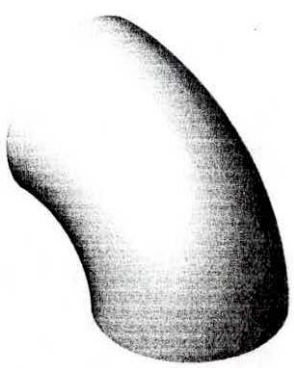
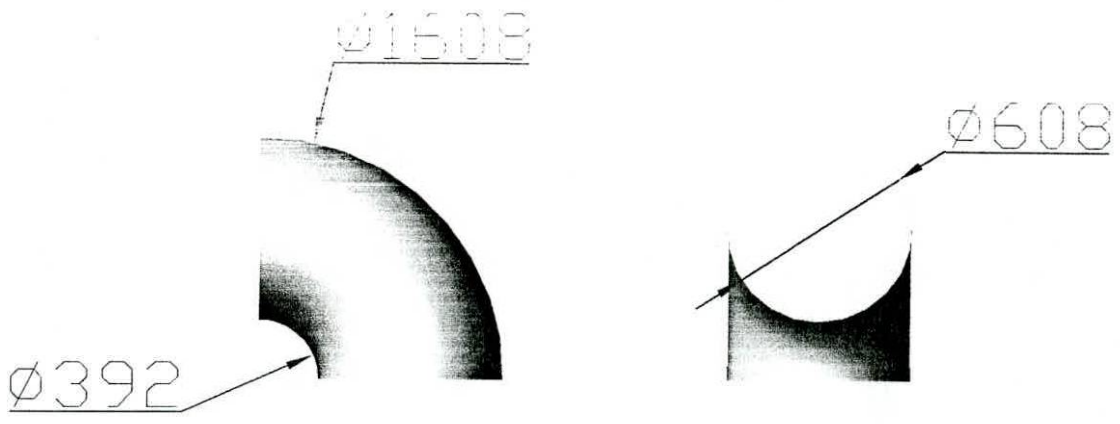
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujá	01/11/05 Carlos Vega
			Revisá	01/11/05 Ing. Martinez
			PLANO N°:	
			14	
ESCALA: 1:25			MATERIALES:	
CONTIENE: BIFURCACION			ACERO ESTRUCTURAL A-36	
			MASA(kg): 157	



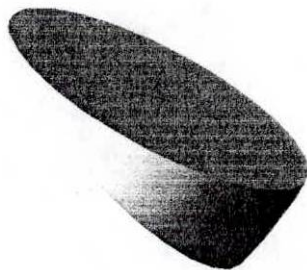
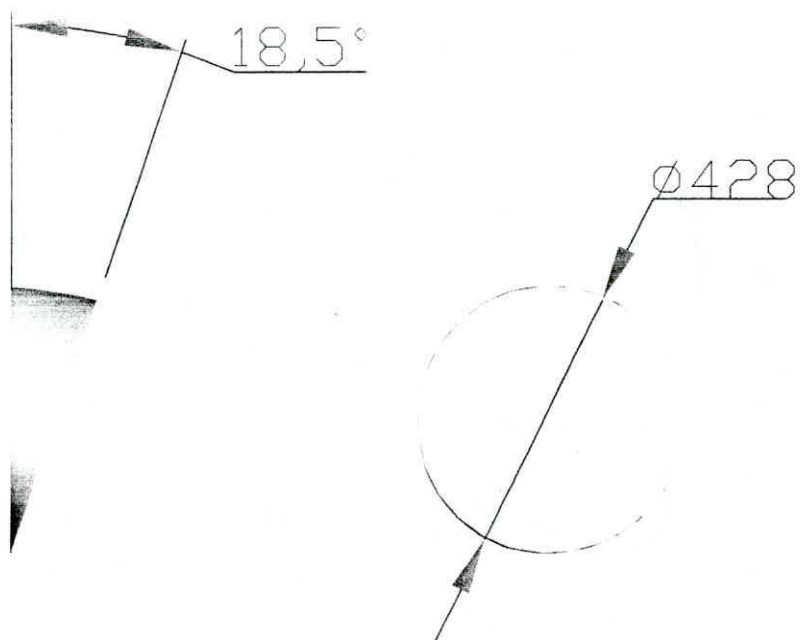
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 15	
	1:25	CODO 1		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg):	134



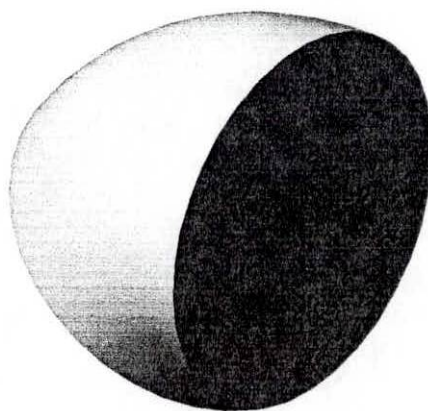
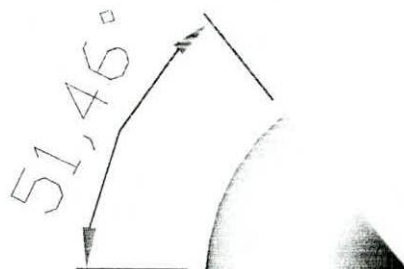
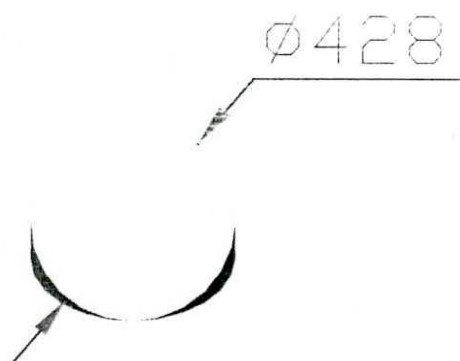
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 16	
	1:37	CODO 2		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg):	268



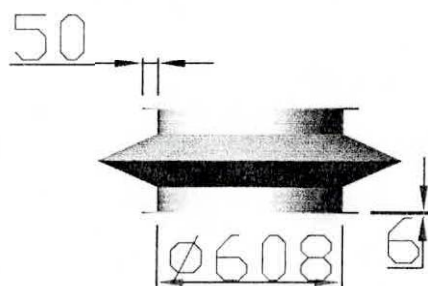
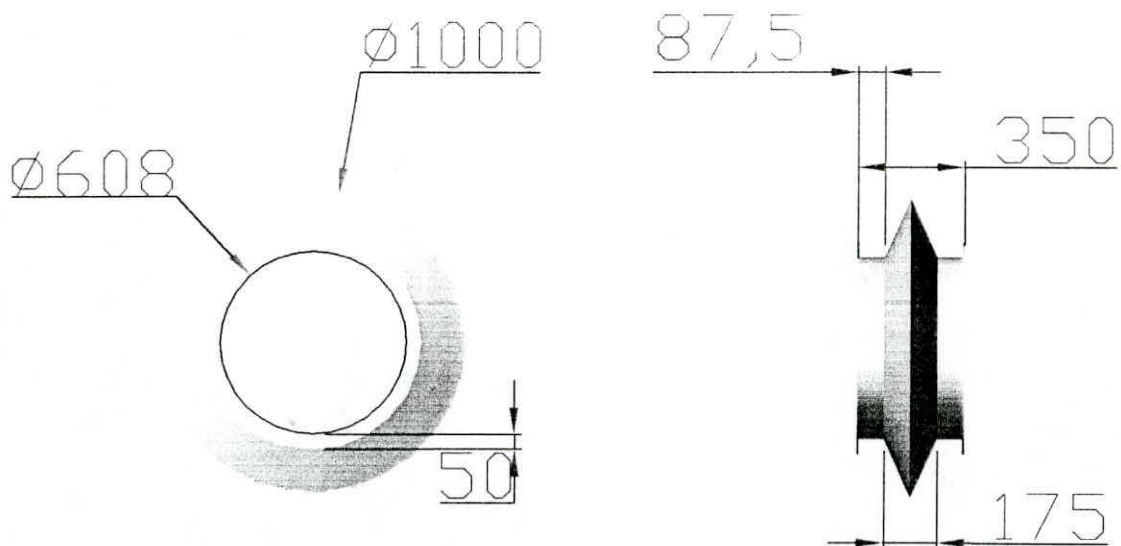
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
			Revisó 01/11/05	Ing. Martinez
			PLANO N°:	
			17	
ESCALA: 1:25	CONTIENE:		MASA(kg):	
	CODO 3 MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36		117	



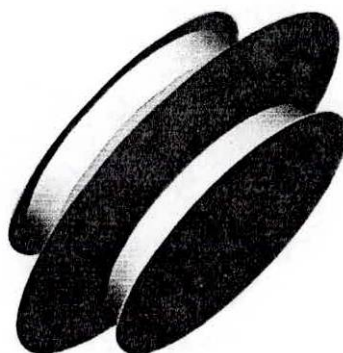
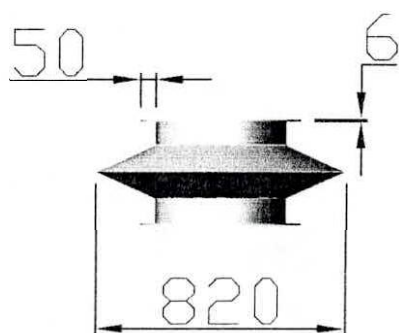
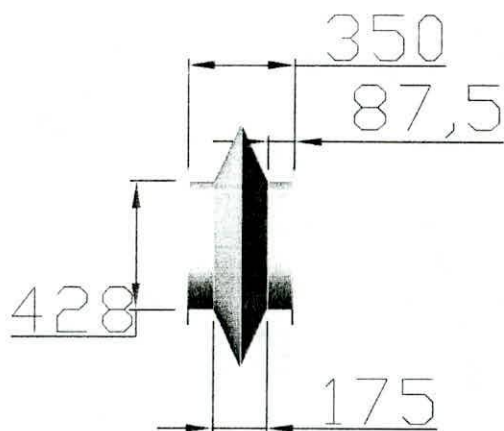
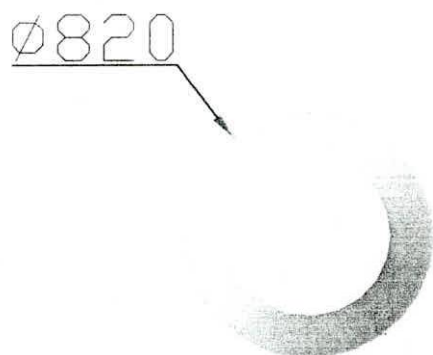
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
			PLANO N°:	
			18	
	ESCALA:	CONTIENE:		
	1:12	CODO 4		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg): 17	



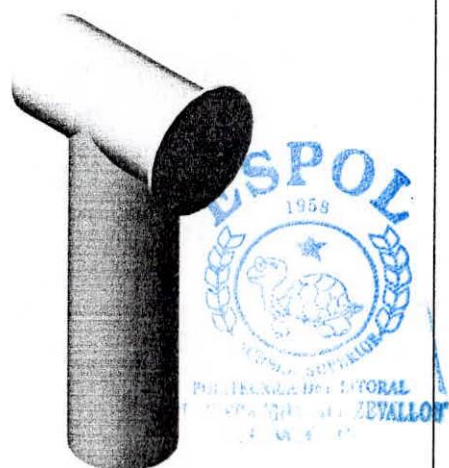
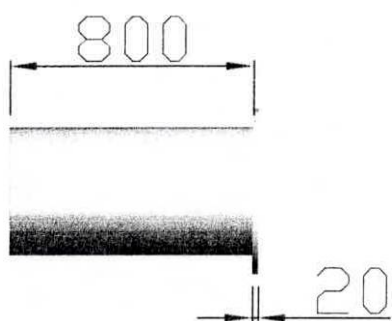
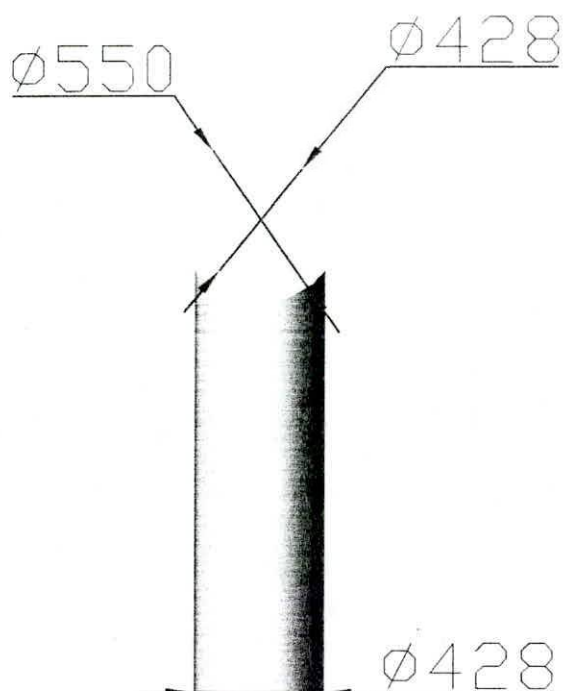
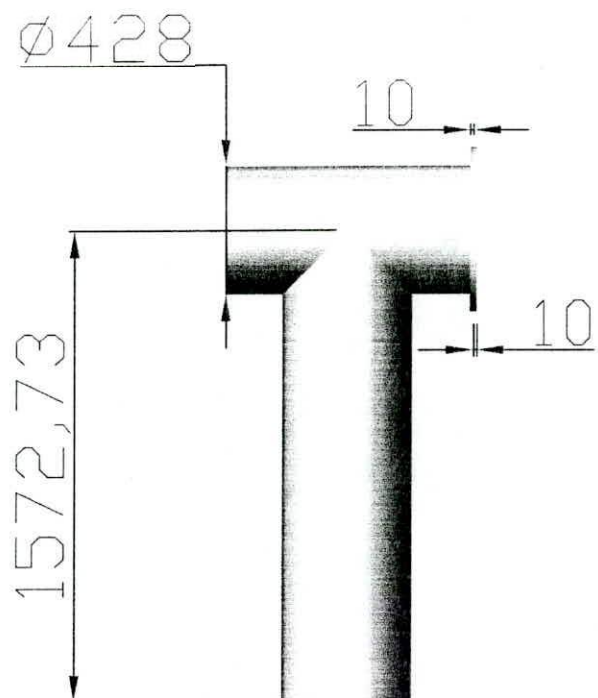
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 19	
	1:16	CODO 5		
		MATERIALES:		
	ACERO ESTRUCTURAL	A-36	MASA(kg):	46.75



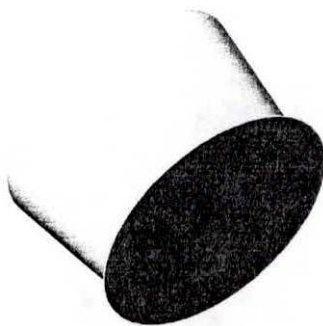
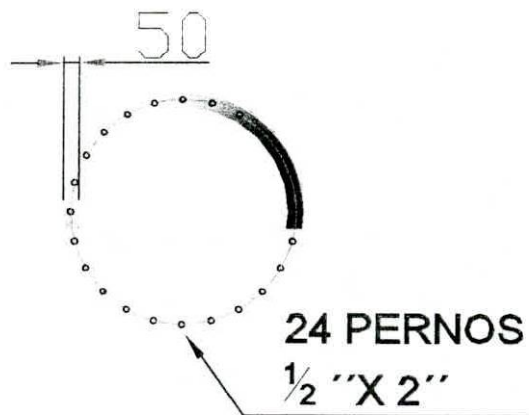
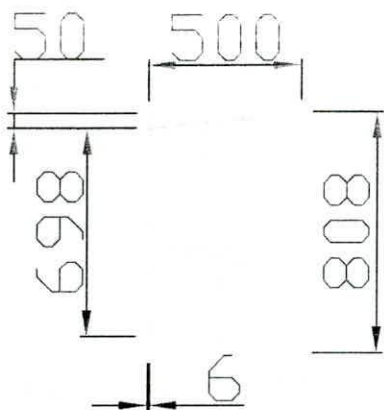
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
			PLANO N°:	20
			MASA(kg):	
	ESCALA: 1:25	CONTIENE: PLATILLO 1		
		MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36		



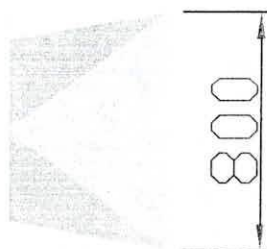
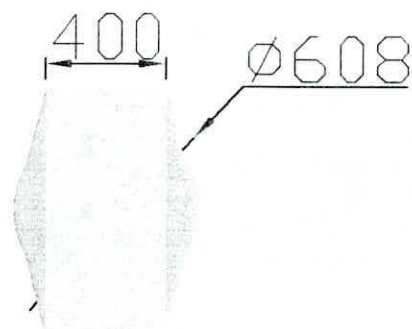
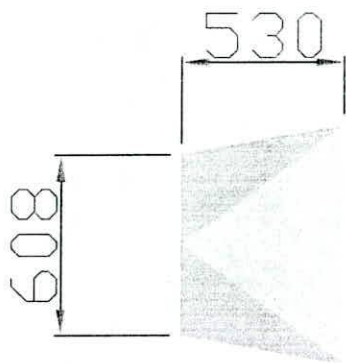
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
			Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 21	
	1:25	PLATILLO 2		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg):	78.5



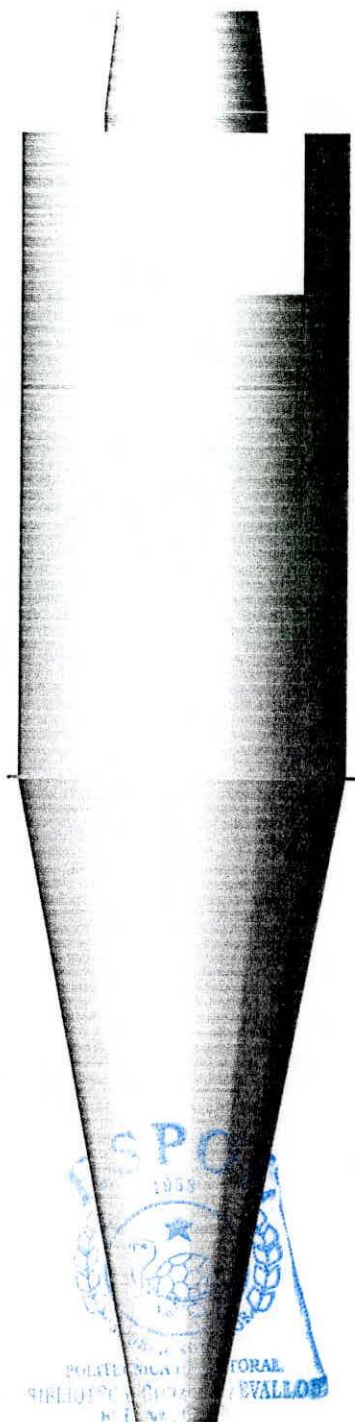
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
			Revisó 01/11/05	Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 22	
	1:25	OREJAS		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg):	135



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
		Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	PLANO N°:	
	1:25	23	
	CONTIENE:		
	REDUCTOR 1		
	MATERIALES:	MASA(kg):	
	ACERO ESTRUCTURAL A-36	50	

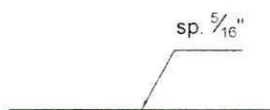


FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		Dibujó	01/11/05 Carlos Vega
		Revisó	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	PLANO N°: 24	
	CONTIENE:		
	1:25	MASA(kg): 70	
	MATERIALES:		
ACERO ESTRUCTURAL A-36			

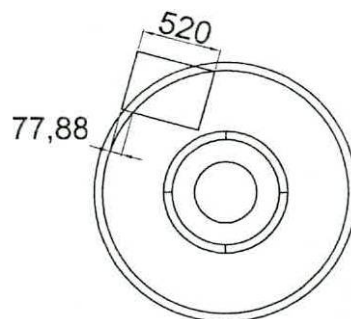
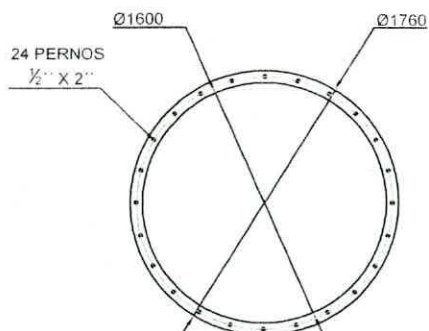
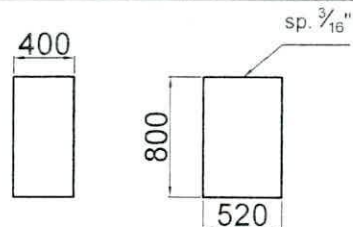


FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó 01/11/05	Carlos Vega
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		Revisó 01/11/05	Ing. Martinez
		PLANO N°: 25	
	ESCALA:	CONTIENE:	
	1:37	CICLON	
MATERIALES:		MASA(kg):	
ACERO ESTRUCTURAL A-36		1560	

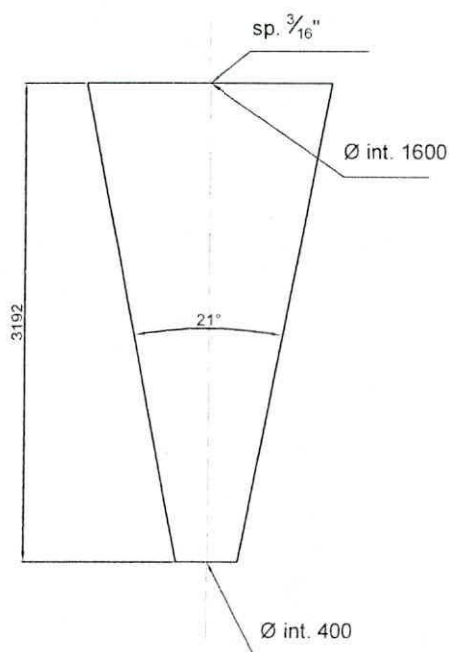
A



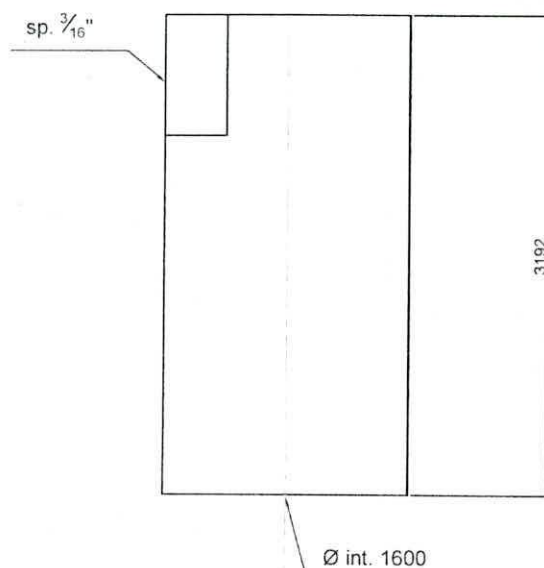
B



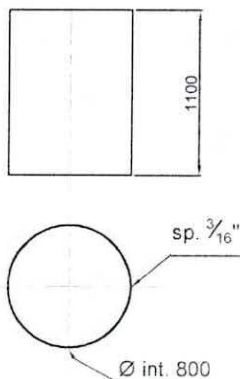
E



D



C

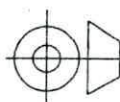


Pieza.	Descripcion	Cantidad.	Material.	Peso/u.(Kg)
A	Pestañas.	2	A 36	39*2
B	Union duc.-cicl.	1	A 36	44
C	Salida gases.	1	A 36	105
D	Cilindro ciclón.	1	A 36	603
E	Cono ciclón.	1	A 36	767
	PERNOS $\frac{1}{2}$ " X 2"	24	A 36	-
			TOTAL	1560

FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:

1:50

CONTIENE:

DETALLE DEL CICLON

MATERIALES:

ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA NOMBRE

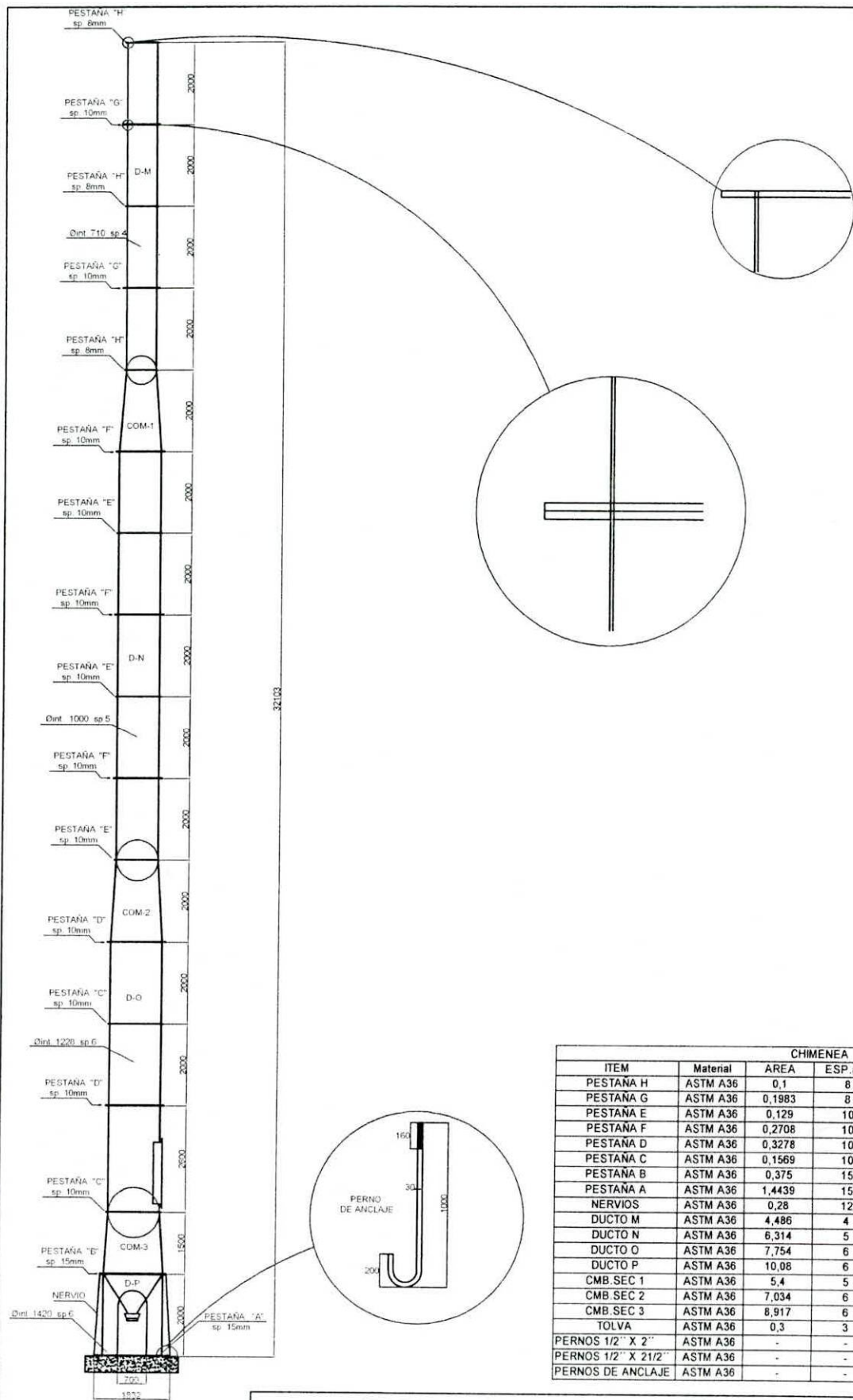
Dibujó 01/11/05 Carlos Vega

Revisó 01/11/05 Ing. Martinez

PLANO N°:

26

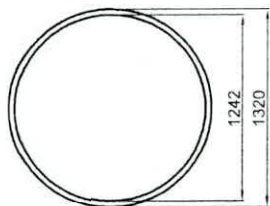
MASA(kg):



CHIMENEA						
ITEM	Material	AREA	ESP. mm	Cant.	Den. (kg/m2)	Masa(kg)
PESTAÑA H	ASTM A36	0,1	8	3	62,80	19
PESTAÑA G	ASTM A36	0,1983	8	2	62,80	25
PESTAÑA E	ASTM A36	0,129	10	3	78,68	30
PESTAÑA F	ASTM A36	0,2708	10	3	78,68	64
PESTAÑA D	ASTM A36	0,3278	10	2	78,68	52
PESTAÑA C	ASTM A36	0,1569	10	2	78,68	25
PESTAÑA B	ASTM A36	0,375	15	2	117,75	88
PESTAÑA A	ASTM A36	1,4439	15	1	117,75	170
NERVIOS	ASTM A36	0,28	12	21	94,20	554
DUCTO M	ASTM A36	4,486	4	4	31,40	563
DUCTO N	ASTM A36	6,314	5	5	39,25	1239
DUCTO O	ASTM A36	7,754	6	2	47,10	730
DUCTO P	ASTM A36	10,08	6	1	47,10	475
CMB. SEC 1	ASTM A36	5,4	5	1	39,25	212
CMB. SEC 2	ASTM A36	7,034	6	1	47,10	331
CMB. SEC 3	ASTM A36	8,917	6	1	47,10	420
TOLVA	ASTM A36	0,3	3	1	47,10	300
PERNOS 1/2" X 2"	ASTM A36	-	-	72	-	-
PERNOS 1/2" X 2 1/2"	ASTM A36	-	-	24	-	-
PERNOS DE ANCLAJE	ASTM A36	-	-	24	-	-
TOTAL						5298

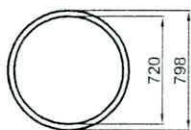
<h1 style="text-align: center;">FIMCP - ESPOL</h1>		FECHA NOMBRE	
		Dibujó 01/11/05 Carlos Vega Revisó 01/11/05 Ing. Martinez	
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		PLANO N°: <h1 style="text-align: center;">27</h1>	
	ESCALA: 1:143	CONTIENE: CHIMENEA	
	MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36		MASA(kg):

PESTAÑA "C"
sp. 10mm



2 PIEZAS
REQUERIDAS

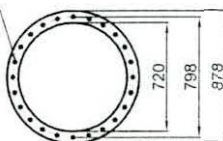
PESTAÑA "H"
sp. 8mm



3 PIEZAS
REQUERIDAS

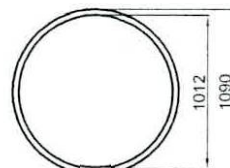
PESTAÑA "G"
sp. 8mm

24 PERNOS
 $\frac{1}{2}'' \times 2''$



2 PIEZAS
REQUERIDAS

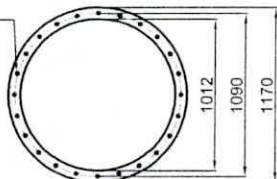
PESTAÑA "E"
sp. 10mm



3 PIEZAS
REQUERIDAS

PESTAÑA "F"
sp. 10mm

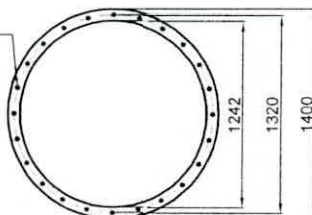
24 PERNOS
 $\frac{1}{2}'' \times 2''$



3 PIEZAS
REQUERIDAS

PESTAÑA "D"
sp. 10mm

24 PERNOS
 $\frac{1}{2}'' \times 2''$



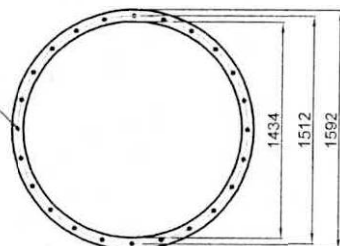
2 PIEZAS
REQUERIDAS



NERVIOS
21 PIEZAS
REQUERIDAS
sp 12 mm

PESTAÑA "B"
sp. 15mm

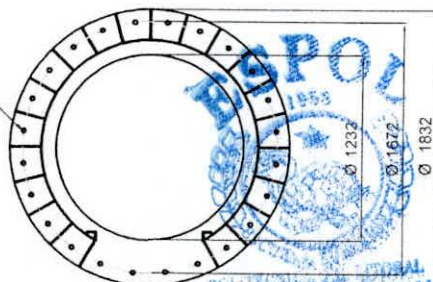
24 PERNOS
 $\frac{1}{2}'' \times 2\frac{1}{2}''$



2 PIEZAS
REQUERIDAS

PESTAÑA A
sp. 15mm

24 PERNOS
DE ANCLAJE

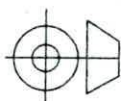


1 PIEZAS
REQUERIDAS

FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:

1:50

CONTIENE:

DETALLE DE LA CHIMENEA 1

MATERIALES:

ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA NOMBRE

Dibujó 01/11/05 Carlos Vega

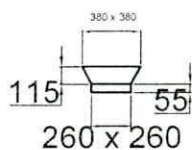
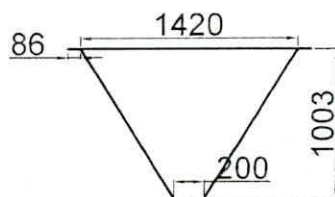
Revisó 01/11/05 Ing. Martinez

PLANO N°:

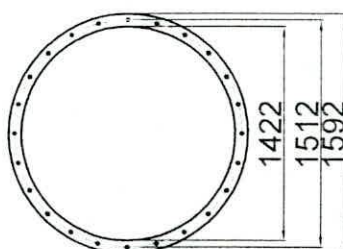
28

MASA(kg):

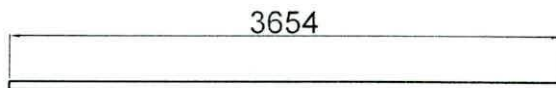
TOLVA
sp. 3mm



PESTAÑA
sp. 15mm

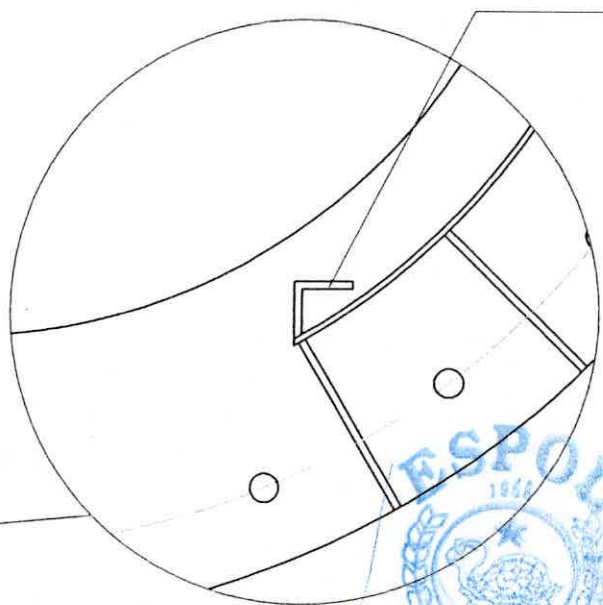
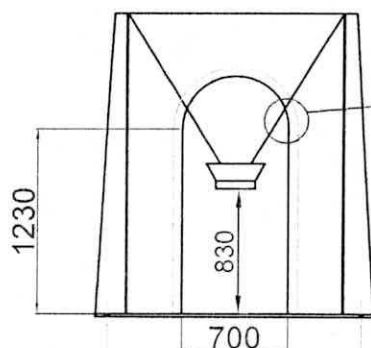


1 PIEZAS
REQUERIDAS



1 PIEZAS
REQUERIDAS

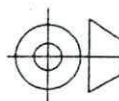
L: 2 x 2 x $\frac{1}{4}$



FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:

1:50

CONTIENE:

DETALLE DE LA CHIMENEA 2

MATERIALES:

ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA NOMBRE

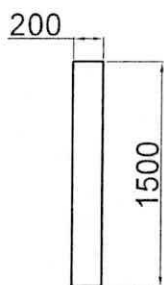
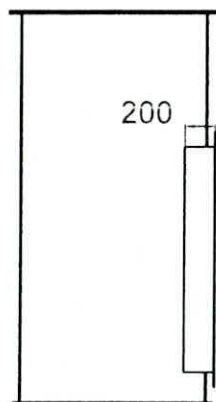
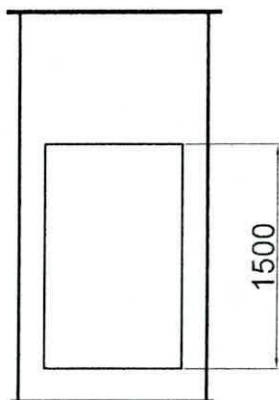
Dibujó 01/11/05 Carlos Vega

Revisó 01/11/05 Ing. Martinez

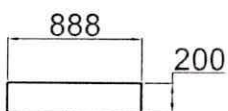
PLANO N°:

29

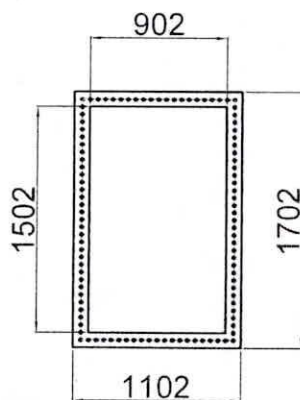
MASA(kg):



2 PIEZAS
REQUERIDAS
sp 6 mm

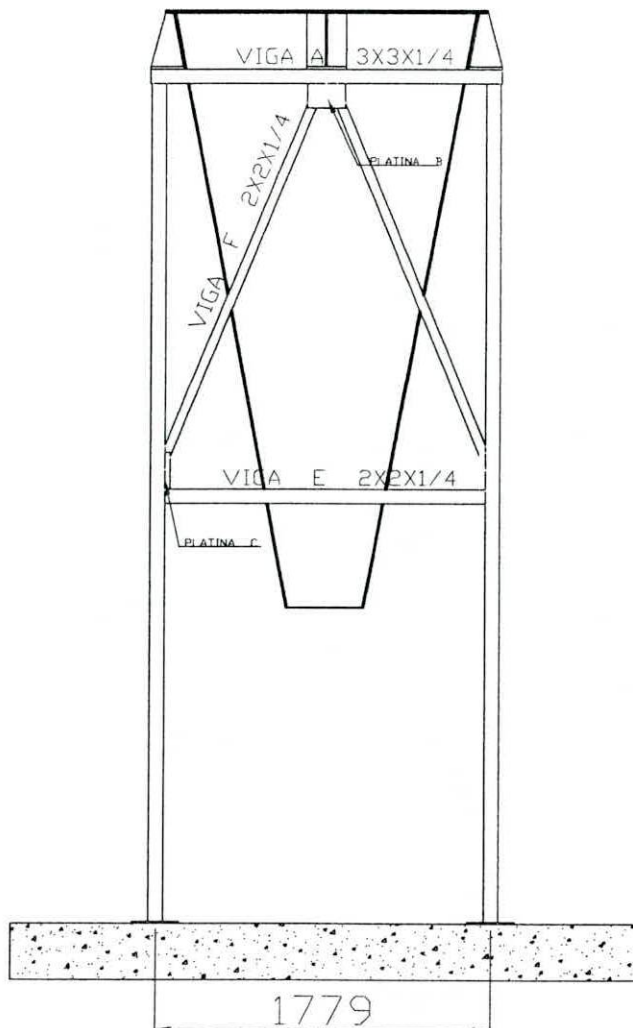
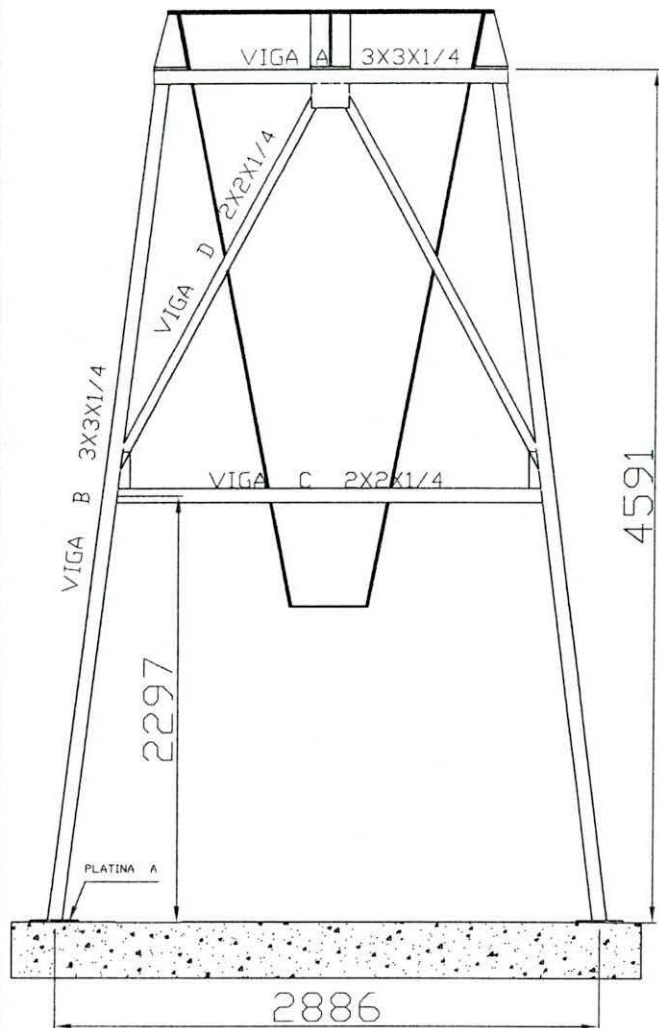


2 PIEZAS
REQUERIDAS
sp 6 mm

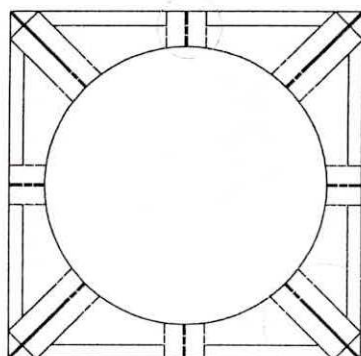


2 PIEZAS
REQUERIDAS
sp 6 mm

FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES			Dibujá	01/11/05 Carlos Vega
			Revisá	01/11/05 Ing. Martinez
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO N°: 30	
	1:50	DETALLE DE LA CHIMENEA 3		
MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36			MASA(kg):	



NERVIOS A



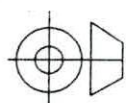
NERVIOS B

Descripción	Cantidad	Material	Peso (Kg/m)	Longitud (mm)	Peso/u.(Kg)
Viga A 3X3X1/4	4	A 36	7,28	1867	54,36704
Viga B 3X3X1/4	4	A 36	7,28	4610	134,2432
Viga C 2X2X1/4	2	A 36	4,75	2317	22,0115
Viga D 2X2X1/4	4	A 36	4,75	2373	45,087
Viga E 2X2X1/4	2	A 36	4,75	1772	16,834
Viga F 2X2X1/4	4	A 36	4,75	2247	42,693
Nervio A	4	A 36	-	-	44
Nervio B	4	A 36	-	-	52
Platina A	4	A 36	-	-	20
Platina B	4	A 36	-	-	8
Platina C	8	A 36	-	-	8
TOTAL					447

FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:

1:40

CONTIENE:

ESTRUCTURA 1

MATERIALES:

ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA NOMBRE

Dibujó 01/11/05 Carlos Vega

Revisó 01/11/05 Ing. Martinez

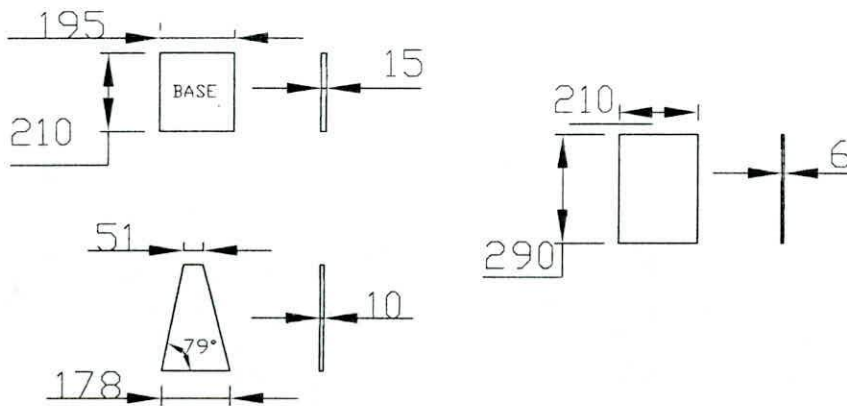
PLANO N°:

31

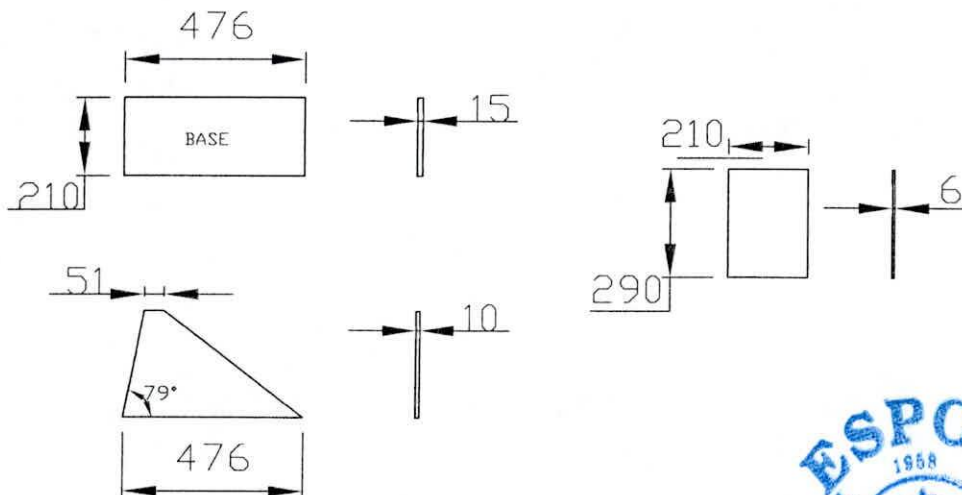
MASA(kg):

447

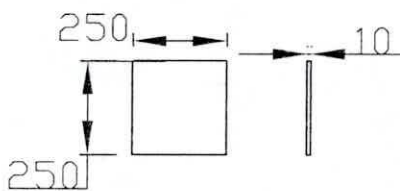
NERVIOS A



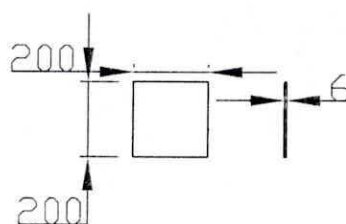
NERVIOS B



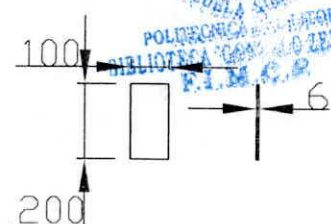
PLATINA A



PLATINA B



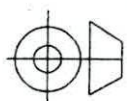
PLATINA C



FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:

1:20

CONTIENE:

DETALLES DE LA ESTRUCTURA 1

MATERIALES:

ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA NOMBRE

Dibujó 01/11/05 Carlos Vega

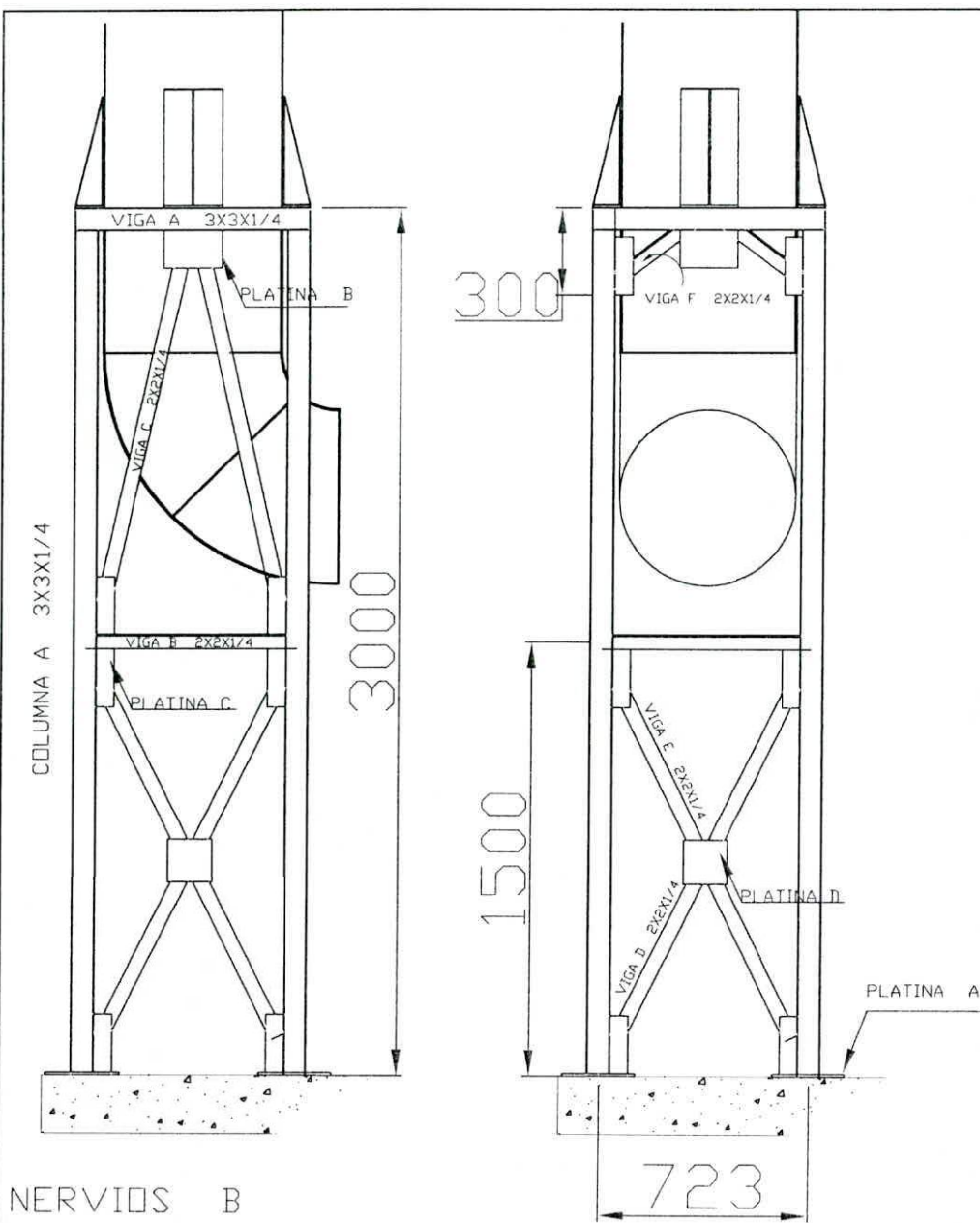
Revisó 01/11/05 Ing. Martinez

PLANO N°:

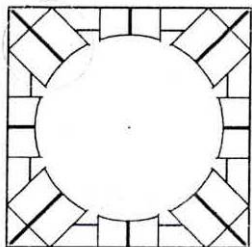
32

MASA(kg):

447



NERVIOS B

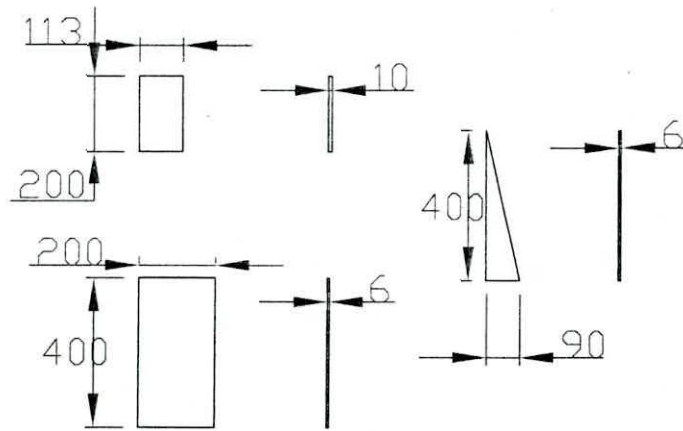


NERVIOS A

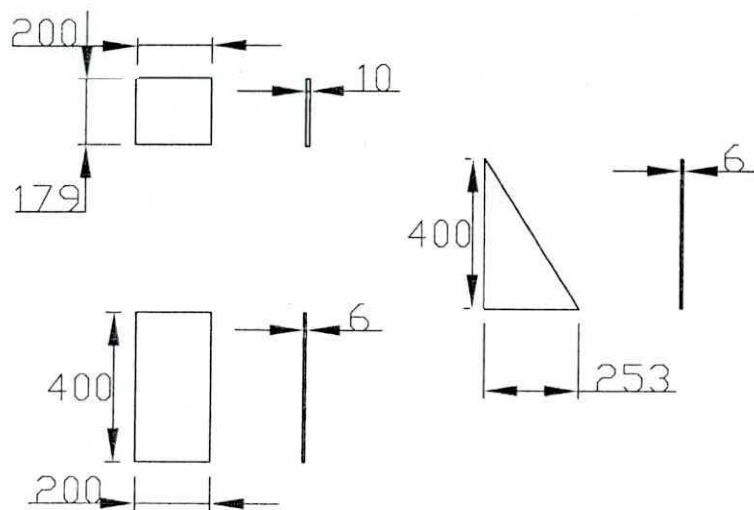
Descripción	Cantidad	Material	Peso (Kg/m)	Longitud (mm)	Peso/u. (Kg)
Viga A 3X3X1/4	4	A 36	7,28	800	23,296
Viga B 2X2X1/4	4	A 36	4,75	724	13,756
Viga C 2X2X1/4	4	A 36	4,75	1273	24,187
Viga D 2X2X1/4	8	A 36	4,75	629	23,902
Viga E 2X2X1/4	4	A 36	4,75	1359	25,821
Viga F 2X2X1/4	4	A 36	4,75	399	7,581
COL. 3X3X1/4	4	A 36	7,28	3000	87,36
Nervio A	4	A 36	-	-	24
Nervio B	4	A 36	-	-	36
Platina A	4	A 36	-	-	20
Platina B	2	A 36	-	-	4
Platina C	24	A 36	-	-	24
Platina D	4	A 36	-	-	4
TOTAL					318

FIMCP - ESPOL		FECHA		NOMBRE	
		01/11/05		Carlos Vega	
PROYECTO: SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES		Revisa		01/11/05 Ing. Martinez	
		ESCALA: 1:25		CONTIENE: ESTRUCTURA 2	
		MATERIALES: ACERO ESTRUCTURAL A-36		MASA(kg): 318	
				PLANO N°: 33	

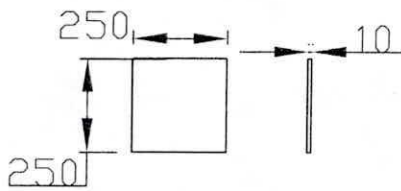
NERVIOS A



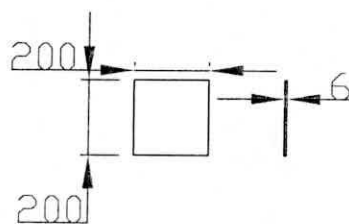
NERVIOS B



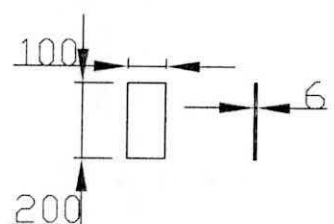
PLATINA A



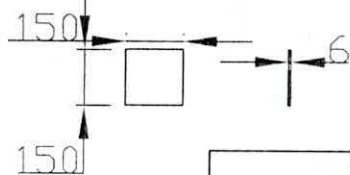
PLATINA B



PLATINA C



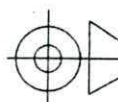
PLATINA D



FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

SISTEMA PARA EXTRACCION DE GASES



ESCALA:

1:20

CONTIENE:

DETALLES DE LA ESTRUCTURA 2

MATERIALES:

ACERO ESTRUCTURAL A-36

FECHA NOMBRE

Dibujó 01/11/05 Carlos Vega

Revisó 01/11/05 Ing. Martinez

PLANO N°:

34

MASA(kg):

318

BIBLIOGRAFIA

- Manual practico de ventilación. (2da edición – Salvador Escoda).
- INDUSTRIAL VENTILATION (A Manual of Recommended Practice)
22nd Edition 1995. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- The Chemical Senses. R.W. Moncrieff. Leonard Hill Book Company, 1967.
- Fan Engineering. Buffalo Forge Company. Eight Edition. 1983.
- Research on Chemical odors. Odor Treshold for 53 Commercial Chemicals (Research Report for the Manufacturing Chemist Association, October 1968).
- Guía Práctica de la Ventilación. Blume. Osbome y Tumer.
- Ventilation for Control of the Work Environment. Wiley Interscience. Burgess, Ellenbecker y Treitman.
- Air Pollution: Its Origen and Control. Kenneth Clark y Cecil Warner. Harper & Row.
- PERRY, S.G., BURNS D. J., CIMORELLI, A. J. , 1989. User's guide to CTDMPLUS: Volume 1. Model description and user instruction. EPA Publication N° EPA-600/8-89-041. Office of Research & Development, Research Triangle Park, NC.
- PERRY, S.G., BURNS D. J., CIMORELLI, A.J., 1990. User's guide to

CTDMPLUS: Volume 2. The screening mode (CTSCREEN). EPA
Publication N° EPA-600/8-90-087. Office of Research & Development,
Research Triangle Park, NC.

- BUSTOS, C. Dispersión de contaminantes atmosféricos Modelo de penacho gaussiano. [en línea].
<http://www.geocities.com/sgamsc/pub.htm>
- CONAMA. Sistema de Información Nacional Ambiental [en línea].
<<http://www.sinia.ci/>>
- CONAMA. Normas de calidad del aire. [en línea]
<http://www.conama.ci/portal/1255/propertyvalue-10316.html>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Informe de la European Environment Agency. [En línea] <<http://reports.eea.eu.int/92-9167-028-6/en>>
- SEINFELD, J. y PANDIS, S., 1998. Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change, J. Wiley and Sons, Inc.
- JACOBSON, M., 2002. Fundamentals of atmospheric modeling, Cambridge University Press, Cambridge.
- Apuntes personales de combustión 2005.
- Principles and prevention of corrosion. Second edition – Denny A. Jones.
- www.ambiente.gov.ec