



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y  
DEL MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DE  
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**MONITOREO DE LAS EMISIONES DE  
COMBUSTIÓN EN FUENTES FIJAS EN  
INDUSTRIAS DEL CANTÓN RUMIÑAHUI**

**REALIZADO POR:**

**Daniel Heredia Muñoz  
Diego Páez Monroy**

**Sangolquí - Ecuador**

**Abril - 2008**

## **CERTIFICACIÓN**

Las Ingeniera Oliva Atiaga, Directora, y la Ingeniera Paulina Guevara, Codirectora, certifican que los Señores Daniel Estuardo Heredia Muñoz y Diego Fernando Páez Monroy, elaboraron y culminaron exitosamente el proyecto de grado “MONITOREO DE LAS EMISIONES DE COMBUSTIÓN EN FUENTES FIJAS EN INDUSTRIAS DEL CANTÓN RUMIÑAHUI”, de acuerdo a los planes de tesis estipulados por el Honorable Consejo de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

**ING. OLIVA ATIAGA**

**DIRECTORA**

**ING. PAULINA GUEVARA**

**CODIRECTORA**

## RESUMEN

Este documento constituye una propuesta de metodología para el monitoreo de los gases y partículas contaminantes de fuentes fijas de combustión, y su posterior análisis, para determinar las tasas de emisión a la atmósfera.

Esta metodología está en función de los equipos disponibles y los métodos EPA (amparados en la legislación del Ecuador).

Para el análisis de gases de combustión ( $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ), se emplea el método de la celda electroquímica, mediante el equipo *Bacharach 300*.

Para el análisis de *material particulado*, se ha hecho una adaptación entre los métodos ISO 9096 y EPA 17, porque los equipos utilizados para esta medición (medidor de velocidades *Thermo Andersen*, *Tubo Pitot S*, medidor de flujo *Thermo Andersen M9096* y *Tubo Pitot STD*) están diseñados para el método ISO, pero han sido aprobados para cumplir el método EPA.

Para observar cuán eficiente es la combustión, se mide el *número de humo*, con el equipo *Testo Smoke Pump*.

Los cálculos de las emisiones de estos contaminantes se lo realiza mediante una serie de ecuaciones físico-químicas, basadas en la ley de los gases ideales y la ecuación de Bernoulli, que han sido integradas en un programa de Excel. Este programa genera los resultados ingresando información básica obtenida en los muestreos.

El objetivo final es comparar los resultados con la normativa ambiental, y observar qué parámetro causa contaminación. Existen varios métodos de tratamiento que se pueden instalar en una fuente fija de combustión defectuosa, lo cual representa una inversión, pero contribuye a mantener un ambiente sano y limpio, y evitar sanciones.

## SUMMARY

This document constitutes a methodology proposal for gas and polluting particle monitoring produced by combustion fixed sources and its subsequent analysis to determine the emission rates to the atmosphere.

This methodology depends on the available equipment and the EPA methods (supported in the Ecuadorian legislation).

To analyze combustion gases ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , and  $\text{SO}_2$ ); we use the electrochemical cell through the *Bacharach 300* equipment.

To analyze the *particulate matter*, we have made an adaptation between the ISO 9096 and EPA 17 methods because the equipment used for this measuring (*Thermo Andersen* speedometer, *Pilot Tube S*, *Thermo Andersen M9096* flow meter, and *Pilot Tube STD*) is designed for the ISO method, but it has been approved to fulfill the EPA method as well.

To observe how efficient the combustion is, we have to measure the *smoke number* with the *Testo Smoke Pump* equipment.

The emission calculation of these pollutants is done through a serial of physical – chemical equations, based on the ideal gas law and the Bernoulli equation that have been added to the Excel program. This program figures out the results through basic input data gotten from the sampling.

The final objective is to compare the results with the environmental regulations and observe which parameter causes pollution. There are several treatment methods that can be installed in a defective combustion fixed source, this represents an investment, but it contributes to keep a healthy and clean environment as well as prevent penalties.

## **DEDICATORIA**

**Dedicamos este trabajo,  
y todo nuestro esfuerzo  
a nuestras familias.**

## **AGRADECIMIENTO**

*Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Dios, a nuestras familias, sobretodo a nuestros padres, y a nuestros amigos, por todo el apoyo brindado durante la realización de este trabajo y durante nuestra vida.*

*Agradecemos especialmente a la Ing. Oliva Atiaga y a la Ing. Paulina Guevara, por su constante interés en la consecución de este documento y por su acertada guía a lo largo de su desarrollo, y también a la Lic. Germania Gualpa por hacernos parte de su grupo de trabajo en la Dirección de Medio Ambiente del I. Municipio de Rumiñahui.*

*Por último agradecemos al Ing. Manuel Valenzuela de la consultora VGM&S por su colaboración al iniciar el proyecto, y las empresas LEANSA, PRONACA, DANEC y PINDATEX por permitirnos realizar la fase de campo en sus instalaciones.*

## **PRÓLOGO**

Con un control adecuado de las emisiones de combustión fijas se podrá minimizar los impactos al ambiente, tales como la contaminación del aire y contaminación visual, que pueden repercutir en afecciones a la salud de la población de Rumiñahui y del ecosistema en general.

Este documento incluye un análisis de las legislaciones nacional y locales que rigen el monitoreo de las emisiones en fuentes fijas de combustión, las metodologías para realizar el muestreo y un plan de control de emisiones que brinda sugerencias técnicas que pueden resolver problemas de contaminación del aire en las actividades industriales de las empresas en estudio.

Además este proyecto le permitirá al Laboratorio de Medio Ambiente y Contaminación tener un manual de metodologías, procedimientos y uso de los equipamientos y materiales de medición de emisiones en fuentes de combustión fijas, lo que servirá de apoyo educativo para los alumnos de la ESPE.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>GLOSARIO.....</b>	<b>14</b>
----------------------	-----------

## **CAPÍTULO 1**

<b>DESCRIPCIÓN DE LAS EMPRESAS.....</b>	<b>29</b>
---	-----------

<b>1.1 LECHERA ANDINA S.A. – LEANSA.....</b>	<b>29</b>
--	-----------

1.1.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	29
1.1.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.....	29
1.1.3 ANTECEDENTES.....	30
1.1.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA LEANSA.....	31
1.1.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.....	33
1.1.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	33
1.1.7 GESTIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA.....	34

<b>1.2 PRONACA.....</b>	<b>34</b>
-------------------------	-----------

1.2.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	34
1.2.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.....	35
1.2.3 ANTECEDENTES.....	35
1.2.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA PRONACA.....	35
1.2.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.....	36
1.2.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	37
1.2.7 TRATAMIENTO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.....	37

<b>1.3 DANEC S.A. ....</b>	<b>38</b>
----------------------------	-----------

1.3.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	38
1.3.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.....	38
1.3.3 ANTECEDENTES.....	38
1.3.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA DANEC.....	39
1.3.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.....	41
1.3.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	41
1.3.7 TRATAMIENTO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.....	42

<b>1.4 PINDATEX S.A.....</b>	<b>42</b>
------------------------------	-----------

1.4.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	42
1.4.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.....	42
1.4.3 ANTECEDENTES.....	43
1.4.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA PINDATEX S.A.....	44
1.4.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.....	46
1.4.6 GENERACIÓN DE VAPOR.....	46
1.4.7 TRATAMIENTO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.....	47

## **CAPÍTULO 2**

<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>48</b>
---------------------------	-----------

<b>2.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....</b>	<b>48</b>
---	-----------

2.1.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN ANTROPOGÉNICA.....	48
2.1.2 CONCEPTO DE EMISIÓN.....	49
2.1.3 EXPRESIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTAMINACIÓN.....	49

2.1.4 TIPOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	50
<b>2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS EMISIONES DE GASES Y PARTICULADO EN FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS. ....</b>	<b>51</b>
2.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	51
2.2.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO.....	53
2.2.3 ÓXIDOS DE AZUFRE.....	56
2.2.4 PARTÍCULAS.....	58
<b>2.3 PRINCIPIOS PARA UN MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO EN FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.....</b>	<b>62</b>
2.3.1 CARGA CONTAMINANTE Y EMISIÓN.....	62
2.3.2 VELOCIDAD DEL GAS Y FLUJO VOLUMÉTRICO.....	63
2.3.3 LEY IDEAL DE LOS GASES.....	64
2.3.4 CONDICIONES ESTÁNDAR.....	65
2.3.5 HUMEDAD EN EL FLUJO DE GAS.....	66
<b>2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO. ....</b>	<b>68</b>
2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE GASES BACHARACH 300.....	68
2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE MEDIDOR DE NÚMERO DE HUMO TESTO.....	70
2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE PARTICULADO MINITREN DE MUESTREO M9096 THERMOANDERSEN.....	72
<b>2.5 MÉTODOS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN. ....</b>	<b>78</b>
2.5.1 INTRODUCCIÓN.....	78
2.5.2 VALORACIÓN DE LAS POSIBLES MEDIDAS CORRECTIVAS.....	78
2.5.3 CONTROL DE EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.....	83
2.5.4 CONTROL DE EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.....	85
2.5.5 CONTROL DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.....	90
2.5.6 CONTROL DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.....	98

### ***CAPÍTULO 3***

<b><i>MARCO REGULATORIO.....</i></b>	<b><i>106</i></b>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	106
3.2 LEGISLACIÓN NACIONAL.....	107
3.3 LEGISLACIÓN LOCAL.....	112

### ***CAPÍTULO 4***

<b><i>METODOLOGÍA.....</i></b>	<b><i>115</i></b>
<b>4.1 PROCEDIMIENTO Y EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE EMISIONES GASEOSAS. ....</b>	<b>115</b>
4.1.1 EQUIPO DE MUESTREO.....	115
4.1.2 MEDICIÓN.....	115
<b>4.2 PROCEDIMIENTO Y EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO. ....</b>	<b>116</b>
4.2.1 EQUIPO DE MUESTREO.....	116
4.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE TRAVESÍA EN LA CHIMENEA.....	117

4.2.3 DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE PRESIÓN Y LA VELOCIDAD DEL GAS.....	124
4.2.4 MEDICIÓN.....	127
<b>4.3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO.....</b>	<b>128</b>

## ***CAPÍTULO 5***

<b><i>CÁLCULOS.....</i></b>	<b><i>130</i></b>
5.1 CÁLCULO DE LA PRESIÓN ABSOLUTA DE LA CHIMENEA <sup>□</sup> .....	130
5.2 CÁLCULO DEL PESO MOLECULAR DEL GAS SECO DE LA CHIMENEA. MÉTODO EPA 3.....	131
5.3 CÁLCULO DEL PESO MOLECULAR DEL GAS HÚMEDO DE LA CHIMENEA. MÉTODO EPA 3.....	132
5.4 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO IDEAL DE LA BOQUILLA SEGÚN EL VOLUMEN DESEADO. MÉTODO EPA 5.....	133
5.5 DETERMINACIÓN DEL FACTOR K. MÉTODO EPA 5.....	134
5.6 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA DE GAS REQUERIDO ESTIMADO.....	135
5.7 DETERMINACIÓN DEL RANGO DE ISOCINETISMO PROVISIONAL.....	136
5.8 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE VAPOR DE AGUA COLECTADO A CONDICIONES ESTÁNDAR. MÉTODO EPA 4.....	137
5.9 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE GAS MEDIDO A CONDICIONES ESTÁNDAR. MÉTODO EPA 4.....	138
5.10 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD. MÉTODO EPA 4.....	139
5.11 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL GAS EN LA CHIMENEA.....	139
5.12 CÁLCULO DEL FLUJO ACTUAL DEL GAS EN LA CHIMENEA.....	140
5.13 CÁLCULO DEL FLUJO TOTAL DE GAS SECO EN LA CHIMENEA EN CONDICIONES ESTÁNDAR.....	141
5.14 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ISOCINETISMO.....	141
5.15 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE PARTICULADO.....	142
5.16 CONCENTRACIÓN DE PARTICULADO CORREGIDO A UN PORCENTAJE DE OXÍGENO.....	143
5.17 CÁLCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE DE MATERIAL PARTICULADO.....	143
5.18 EJEMPLO DE CÁLCULO CON DATOS TOMADOS EN LA EMPRESA DANEC.....	144
5.18.1 CÁLCULOS CON LOS DATOS DEL ANÁLISIS DE GASES.....	146
5.18.2 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE TRAVESÍA.....	153
5.18.3 CÁLCULOS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO.....	156

## **CAPÍTULO 6**

### **RESULTADOS Y PLAN DE CONTROL DE EMISIONES DE LAS FUENTES**

#### **MUESTREADAS..... 166**

##### **6.1 RESULTADOS DE LAS FUENTES MUESTREADAS. .... 166**

6.1.1 LEANSA..... 167

6.1.2 PRONACA..... 169

6.1.3 DANEC..... 171

6.1.4 PINDATEX..... 173

##### **6.2 PLAN DE CONTROL DE EMISIONES DE LAS FUENTES MUESTREADAS.**

..... 175

6.2.1 LEANSA..... 175

6.2.2 PRONACA..... 176

6.2.3 DANEC..... 177

6.2.4 PINDATEX..... 178

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES..... 179**

Respecto a las Industrias y Autoridades..... 179

Respecto a la Legislación..... 179

Respecto a la Metodología..... 180

Respecto a los equipos para las mediciones..... 182

Respecto a los Sistemas de Control de Contaminantes..... 182

#### **RECOMENDACIONES..... 183**

Respecto a las Industrias y Autoridades..... 183

Respecto a la Legislación..... 183

Respecto a la Metodología..... 184

Respecto a los Sistemas de Control de Contaminantes..... 184

#### **ANEXOS..... 185**

##### **ANEXO 1.**

##### **TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA, LIBRO VI, ANEXO 3.**

##### **NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTION ..... 186**

##### **ANEXO 2**

##### **MÉTODO UNE-ISO 9096 (EMISIÓN DE FUENTES ESTACIONARIAS)..... 217**

##### **ANEXO 3**

##### **NANOGRAMA DE DETERMINACIÓN DE LA BOQUILLA EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL GAS..... 220**

##### **ANEXO 4**

##### **HOJAS TÉCNICAS ..... 222**

##### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 227**

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1. Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de LEANSA.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 1.2. Tipo y Consumo de Combustible.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 1.3. Equipos de Generación de Energía.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 1.4. Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de PRONACA.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 1.5. Tipo y Consumo de Combustible.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 1.6. Equipo de Generación de Energía.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 1.7. Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de DANEC.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 1.8. Tipo y Consumo de Combustible.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 1.9. Equipo de Generación de Energía.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 1.10 Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de Pindatex.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 1.11. Tipo y Consumo de Combustible.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 1.12. Equipos de Generación de Energía.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 2.1. Niveles de CO en el aire ambiental y % de COHb en la sangre.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 2.2. Especificaciones técnicas del Bacharach 300.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 2.3. Especificaciones técnicas del Testo Smoke Pump.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 2.4. Especificaciones técnicas del M9096.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 2.5. Especificaciones técnicas del Thermo Andersen Air Velocity Data Logger.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 3.1. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación antes de Enero de 2003.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 3.2. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación a partir de Enero de 2003.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 3.3. Niveles máximos permisibles, Cantón Rumiñahui.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 3.4. Valores máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 5.1. Humedad estimada por combustible.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 5.2. Factores de conversión de NO, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 5.3. Densidades de gases en control a condiciones estándar (1 atm, 273.15° K). ....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 5.4. Ubicación de puntos de medición en chimeneas o conductos de sección circular. .....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 5.5. Distancia de los puntos de travesía dentro de la chimenea.....</i>	<i>156</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1. Ciclo Fitolítico de los óxidos de nitrógeno.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 2.2. Cantidad total del gas dentro de la chimenea.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 2.3. Cono de influencia en relación con la boquilla o tobera.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 2.4. Pasos para la instalación de un sistema de control de la contaminación del aire. .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 2.5. Esquema de un incinerador térmico simple.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 2.6. Esquema de un incinerador térmico con precalentamiento.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 2.7. Esquema de un incinerador catalítico.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 2.8. Concentración = f (Relación aire / combustible en peso).....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 2.9. Torre de absorción típica.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 2.10. Sistema de Depuración con piedra caliza/cal.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 2.11. Proceso de álcali dual.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 2.12. Sistema de Depuración con agua de mar.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 2.13. Proceso Dowa.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 2.14. Secado por aspersion de cal.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 2.15. Proceso Wellman - Lord.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 2.16. Cámara de sedimentación.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 2.17. Colector de recirculación con desviación de flujo.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 2.18. Ciclón de alta eficiencia.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 2.19. Cámara con filtro de tela.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 2.20. Cámara lavadora de sedimentación por gravedad.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 2.21. Lavador de choque con placas desviadoras.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 2.22. Lavador de gas Venturi.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 2.23. Esquema de precipitador electrostático.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 4.1. Perfil de velocidades a lo largo de una chimenea.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4.2. Distancias del puerto de muestreo en relación a las perturbaciones en una chimenea.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.3. Puntos de Recorrido Isocinético.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4.4. Ubicación de puntos de travesía en chimenea rectangular.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 4.5. Ubicación de los puntos de travesía en chimenea circular.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 4.6. Relación de la profundidad del puerto de muestreo con la sonda y los puntos de travesía.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 4.7. Esquema de Tubo Pitot tipo S y medidor de velocidades.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 4.8. Esquema de medición de Presión Estática.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 5.1. Número de puntos de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 5.2. Determinación del tamaño de la boquilla.....</i>	<i>159</i>

## **GLOSARIO**

### **Aceites esenciales vegetales.**

Los aceites esenciales son mezclas de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas, que dan el aroma característico a algunas flores, árboles, semillas y a ciertos extractos de origen animal (almizcle, civeta, ámbargris).

### **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.

### **Bagazo.**

Se denomina bagazo al residuo de materia después de extraído su jugo.

### **Benzofuranos.**

Hidrocarburo aromático.

**Bioseguridad.**

Término que engloba el aseguramiento de hábitat naturales, parajes, actividades empresariales (en especial la agricultura) y asuntos como, peligros de guerra bacteriológica o epidemias.

**Bronco constricción.**

Estrechamiento de la abertura de los bronquios.

**Bronco espasmos en asmáticos.**

Estrechamientos esporádicos de la abertura de los bronquios.

**Bronquitis crónica.**

Inflamación de los bronquios en un tiempo considerablemente largo.

**Bruma.**

La bruma es un fenómeno meteorológico consistente en la suspensión de partículas muy pequeñas de suelo, etc.

**Búnker (Combustible).**

Cualquier diesel o aceite combustible que se abastece a las máquinas de los barcos o calderos en industrias para su funcionamiento.

### **Caldero.**

Dispositivos empleados para calentar agua o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica; las calderas industriales cuentan con un compartimiento en donde el combustible se consume, mientras que en otro compartimiento se coloca el agua que luego se convertirá en vapor.

### **Capa de ozono.**

Zona de la atmósfera que abarca entre los 19 y 48 Km por encima de la superficie de la Tierra, en la que se producen concentraciones de ozono de hasta 10 ppm.

### **Carbón.**

Combustible fósil, muy rico en carbono, de color negro, utilizado generalmente para la obtención de energía a través de su combustión.

### **Carboxihemoglobina.**

La Carboxihemoglobina es la hemoglobina resultante de la unión con el Monóxido de carbono.

Es letal en concentraciones mayores al cuarenta por ciento. El Monóxido de Carbono presenta una afinidad doscientas veces mayor que el Oxígeno por la Hemoglobina desplazándolo a este fácilmente, produciéndose hipoxia tisular, pero con una coloración cutánea normal y sanguínea fuertemente roja.

**Celda electroquímica.**

Parte del sistema de medición de emisiones, mediante analizador portátil de gases, que mide el gas de interés y genera una salida proporcional a la concentración de dicho gas.

**Chimenea.**

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

**Coagulación de partículas**

Cuando dos o más partículas se combinan para formar una mayor.

**Comburente.**

Se define como comburente a toda mezcla de gases en la cual el oxígeno está en proporción suficiente para que se produzca la combustión.

El comburente normal es el aire que contiene aproximadamente un 21% de oxígeno. Para que se produzca la combustión es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno, que por regla general va de un 15% hasta en casos extremos de un 5%.

**Combustible.**

Sustancia que, al combinarse con oxígeno u otro oxidante, arde fácilmente, produciendo calor.

### **Combustibles fósiles.**

Son aquellos hidrocarburos encontrados en estado natural, ejemplos, petróleo, carbón, gas natural, y sus derivados.

### **Combustibles fósiles sólidos.**

Se refiere a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% a 90% en peso, y al coque de petróleo.

### **Combustibles fósiles líquidos.**

Son aquellos derivados del petróleo, tales como petróleo crudo, diesel, búnker, kerosén, naftas.

### **Combustibles fósiles gaseosos.**

Son aquellos derivados del petróleo o del gas natural, tales como butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

### **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

### **Condiciones normales.**

Cero grados centígrados (0° C) y mil trece milibares de presión (1013 mbar).

**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.

**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.

**Corrosión.**

Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

**Diámetro equivalente.**

Para un conducto o chimenea de sección cuadrada, se define con la siguiente expresión:

$$D_e = \frac{2LW}{(L + W)}$$

Donde L es la longitud y W el ancho de la sección interior del conducto o chimenea, en contacto efectivo con la corriente de gases.

**Diesel.**

Gasóleo. Líquido compuesto principalmente por parafinas, derivado del petróleo, cuya densidad es superior a  $800 \text{ Kg/m}^3$ , de color blanco verdoso.

**Dioxinas.**

Compuestos químicos obtenidos a partir de procesos de combustión que implican al cloro.

**Edemas pulmonares.**

Acumulación anormal de líquido en los pulmones, sobretodo en los espacios entre los capilares sanguíneos y el alveolo, que lleva a que se presente hinchazón.

**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.

**EsIA.**

Estudio de impacto ambiental.

**Estratosfera.**

Capa superior de la atmósfera, que se empieza entre los 12.9 y 19.3 km, y se extiende 50 Km hacia arriba. Carece casi por completo de formaciones meteorológicas.

### **Flujo laminar.**

Flujo en el cuál las partículas siguen trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas dando la impresión de que se tratara de laminas o capas mas o menos paralelas entre si, las cuales se deslizan suavemente unas sobre otras, sin que exista intercambio transversal entre ellas.

### **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

### **Gas natural.**

Mezcla de gases entre los cuales se encuentra en mayor proporción al metano. Es utilizado como combustible y por lo general se lo encuentra en yacimientos petrolíferos.

### **Hemoglobina.**

Es una heteroproteína de la sangre, de color rojo característico, que transporta el oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos, en mamíferos, ovíparos y otros animales

### **Hidrocarburos alifáticos, aromáticos.**

Se consideran hidrocarburos alifáticos al grupo de sustancias con un comportamiento químico tipo grasa.

**Horno.**

Equipos o dispositivos utilizados en la industria en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente con distintos fines.

**Humo de Combustión/Industrial.**

Partículas en suspensión, de tamaño inferior a una micra de diámetro, procedentes de la condensación de vapores, de reacciones químicas (humos industriales) o de procesos de combustión (humos de combustión).

**Inocuidad alimentaria.**

Es la condición de los alimentos que garantiza que no causaran daño al consumidor cuando se preparen y /o consuman de acuerdo con el uso al que se destinan.

**Insecticidas.**

Compuesto químico utilizado para matar insectos normalmente, mediante la inhibición de enzimas vitales.

**Inversión térmica.**

La inversión térmica consiste en el aumento de la temperatura con la altitud.

**ISO.**

Organización Internacional para la Normalización

**Isocinetismo.**

Relación existente entre el valor de la velocidad promedio de succión en el muestreo de emisiones por un ducto o chimenea y el valor de la velocidad promedio del gas en el ducto o chimenea durante el tiempo de muestreo.

**Lluvia ácida.**

Precipitación en forma de lluvia, nieve o niebla, cuyo pH del agua es inferior a 5.65.

**LPCCA.**

Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

**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.

**Mitigar.**

Es el resultado de la aplicación de un conjunto de medidas tendientes a reducir el riesgo y a eliminar la vulnerabilidad física, social y económica

**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.

**Muestreo.**

Técnica empleada en el análisis parcial de un grupo de casos o eventos, a efecto de obtener cierta probabilidad o certidumbre en relación a las características del universo analizado.

**Muestreo isocinético.**

Es el muestreo en el cual la velocidad y dirección del gas que entra en la zona del muestreo es la misma que la del gas en el conducto o chimenea.

**Nanograma.**

Modelamiento gráfico en el que se representa el comportamiento de una variable en función de otra.

**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 máximos permisibles se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

**Norma de emisión.**

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

**Niebla.**

Fenómeno meteorológico consistente en nubes muy bajas, a nivel del suelo y formadas por partículas de agua muy pequeñas en suspensión

**Oxidación.**

La oxidación es una reacción química donde un metal o un no metal cede electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación.

**Nitrato de peroxiacetilo (PAN).**

Sustancia que se genera a partir de los gases de los escapes fuentes de combustión en presencia de oxígeno y luz. Se forma junto con el ozono.

**Paletizado.**

Es la aglomeración de ingredientes en comprimidos densos que produce muchas características deseables para los productores pecuarios

**Perturbación en chimenea.**

Entiéndase por perturbación a cualquier parte de la chimenea donde exista un cambio de dirección del flujo de gas, ya sea al final del ducto o por interconexiones del sistema con otros ductos.

**PMA.**

Plan de manejo ambiental

**Polvo.**

Nombre genérico para las partículas sólidas con un diámetro menor a los 500 micrómetros.

**Ppb.**

Partes por billón.

**Ppm.**

Partes por millón.

**Procesos de naturaleza catalítica.**

Procesos en los que se utilizan distintos tipos de sustancias con el fin de modificar la velocidad de las reacciones químicas, tanto para que la reacción ocurra más rápido o más despacio; cada reacción tiene un catalizador específico. Los catalizadores son sustancias que dependiendo de la naturaleza del proceso se pueden recuperar una vez finalizada la reacción química.

**Procesos fotoquímicos.**

Serie de reacciones fotoquímicas originadas por la absorción de un fotón de radiación atmosférica por parte de los diferentes compuestos emitidos por las distintas fuentes.

**Puerto de muestreo.**

Son los orificios circulares que se hacen en las chimeneas o conductos para facilitar la introducción de los elementos necesarios para mediciones y toma de muestras.

**Puntos de medición.**

Son puntos específicos, localizados en las líneas de muestreo, en los cuales se realizan las mediciones y se extrae la muestra respectiva.

**Reducción.**

Es el proceso electroquímico por el cual un átomo o ion gana uno o varios electrones. Implica la disminución de su estado de oxidación. Este proceso es contrario al de oxidación

**Smog Húmedo.**

Tipo de smog que se forma debido a la elevada concentración de SO<sub>2</sub> en núcleos urbanos y su combinación con nieblas. Esto da lugar a una neblina de color pardo-gris sobre la ciudad que produce alteraciones respiratorias.

**Smog Seco.**

También llamado smog fotoquímico. Es la contaminación del aire, principalmente en áreas urbanas, por ozono, originado por reacciones fotoquímicas, y otros compuestos

**Troposfera.**

Capa inferior de la atmósfera y escenario de todos los fenómenos meteorológicos. Se extiende hasta altitudes entre los 11 y 16 Km, y contienen el 80% de los gases de la atmósfera y el 99% de vapor de agua.

**TULAS.**

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

**Unidades absolutas.**

Son unidades completas, ya que sus valores reales no se calculan a partir de otro valor de referencia, sino que son directamente los valores indicados.

**US EPA**

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

## **CAPÍTULO 1**

### **DESCRIPCIÓN DE LAS EMPRESAS**

#### **1.1 LECHERA ANDINA S.A. – LEANSA.**

##### **1.1.1 INFORMACIÓN GENERAL.**

Industria fundada en 1984 que opera en Sangolquí, dedicada a la elaboración de leche y sus derivados. Tiene un proceso productivo caracterizado en los siguientes pasos: acopio y traslado de la leche cruda, caracterización de calidad de materia prima, pasteurización, elaboración de los distintos productos, embodegado, carga y distribución de los productos terminados.

LEANSA produce leche pasteurizada, leche pasteurizada larga vida UHT, yogures, helados y crema de leche con las marcas Andina, Andina Gold, Andino, Encantada, Clara, Frostifruit y Nevelatto.

##### **1.1.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.**

La Industria Lechera Andina S.A., LEANSA, opera en el Km. 17 ½ de la vía a Santa Clara en el Cantón Rumiñahui, con los debidos permisos municipales.

### **1.1.3 ANTECEDENTES.**

LEANSA desarrolla sus labores en un sector urbanizado del Cantón Rumiñahui. Inició su funcionamiento con los permisos ambientales municipales, sin embargo no posee un estudio de impacto ambiental, por lo cual el Municipio solicitó la ejecución de al menos un inventario ambiental.

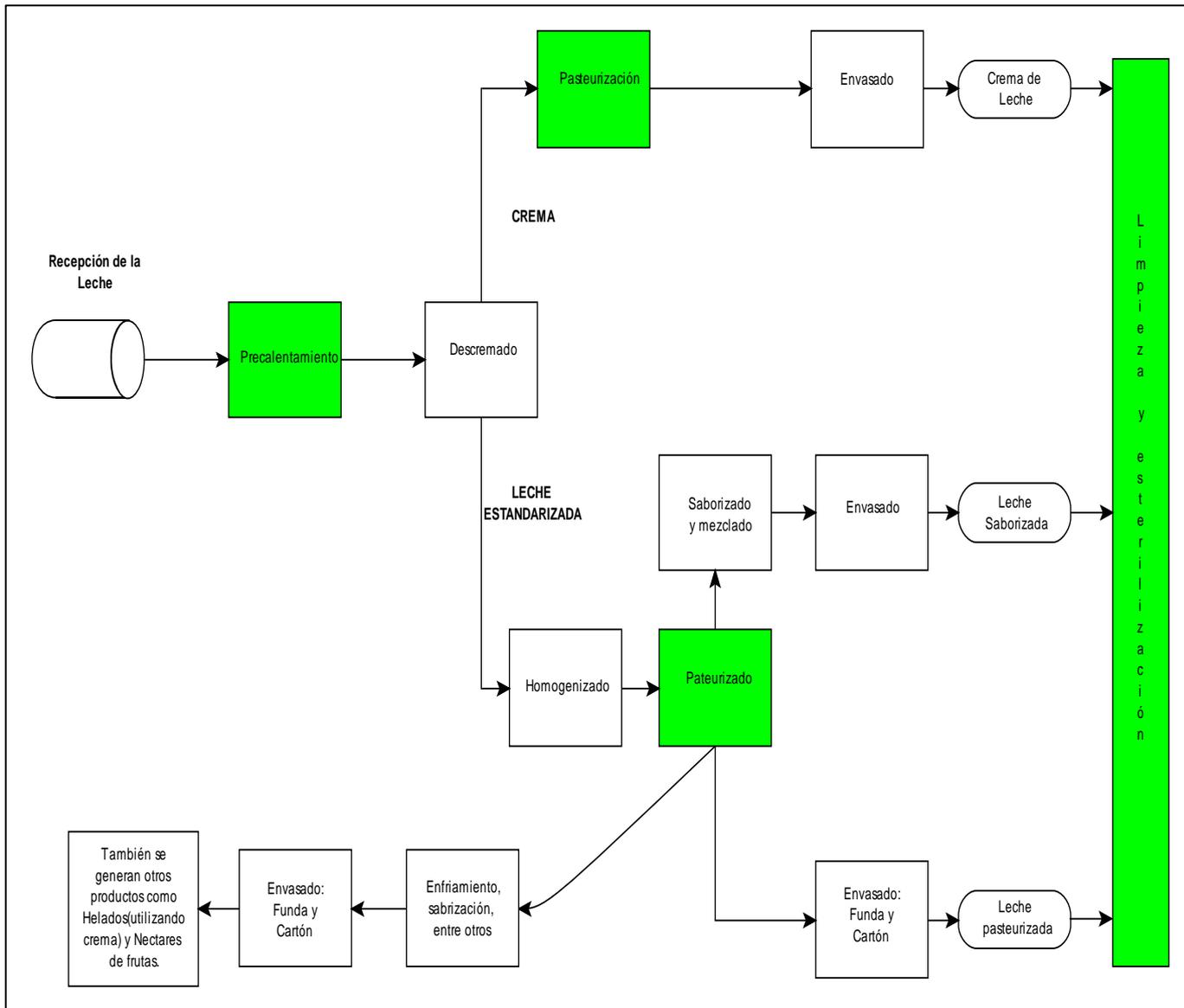
El inventario fue realizado por la Consultora Chemeng, la cual reportó que no existen parámetros que sobrepasan los límites permisibles de gases de combustión y material particulado para la normativa del Municipio de Quito, por esto el Municipio de Rumiñahui dictaminó la realización de un control de emisiones basados en su normativa.

**1.1.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA LEANSA.****Tabla 1.1. Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de LEANSA.**

<b>Entradas</b>	<b>Procesos</b>	<b>Residuos o Emisiones</b>	<b>Productos principales</b>
Leche “cruda”, materia prima	Pasteurización, elaboración de los distintos productos, tratamiento de productos, producción de vapor y agua caliente, generación de electricidad de asistencia, generación de frío	Plástico, cartón, residuos comunes.	Leche UHT en funda, leche UHT en cartón, leche UHT saborizada, leche pasteurizada, crema de leche, néctares de frutas, helados.
Agua.		Efluentes de agua de elaboración de productos, efluentes domésticos.	
Energía eléctrica, energía térmica (combustibles).		Gases de combustión, ruido, vapor, polvo, partículas de combustión.	

Fuente: I. Municipio de Rumiñahui

**Diagrama de flujo de los procesos de la empresa <sup>[1]</sup>.**



<sup>[1]</sup> Nota: Las casillas de color verde representan el proceso que implica emisiones gaseosas a la atmósfera.

### 1.1.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.

#### Nave Industrial de Pasteurización.

Se halla en un hangar adyacente a otro que cuenta con tres generadores de electricidad utilizados solo en caso de emergencia. Esta nave tiene dos calderos, que son los principales productores de emisiones gaseosas y particulado, debido a su continuo uso. El vapor generado por los dos calderos, cuya caracterización se describe más adelante, se lo utiliza principalmente en la pasteurización y esterilización de la leche, y el excedente se lo utiliza en la limpieza de la maquinaria.

Para el almacenamiento del combustible la empresa dispone de un tanque hermético de 5000 galones, ubicado sobre piso de cemento en un área cubierta.

### 1.1.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA.

**Tabla 1.2. Tipo y Consumo de Combustible.**

<b>Combustible</b>	<b>Equipo</b>	<b>Función</b>	<b>Cantidad consumida (año)</b>
Diesel	Caldero Mistral	Generación de vapor	144000 gal aprox.

Fuente: Ing. Hernando Useche. Jefe de mantenimiento de LEANSA.

**Tabla 1.3. Equipos de Generación de Energía.**

<b>Equipo</b>	<b>Proceso</b>	<b>Combustible</b>	<b>Tipo de emisión</b>	<b>Tiempo de emisión</b>
Caldero Mistral 200 HP	Producción de vapor.	Diesel 33 gal/h	CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM.	24 horas/día

Fuente: Ing. Hernando Useche. Jefe de mantenimiento de LEANSA.

### **1.1.7 GESTIÓN AMBIENTAL DE LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA.**

La empresa LEANSA ha adecuado sus instalaciones, mediante la construcción de plataformas de seguridad y ubicación de puertos de muestreo en las chimeneas, de tal forma que se puedan llevar a cabo los controles de las emisiones gaseosas y de material particulado del caldero Mistral, de acuerdo a la petición del Municipio de Rumiñahui.

## **1.2 PRONACA.**

### **1.2.1 INFORMACIÓN GENERAL.**

Empresa fundada en 1957 bajo el nombre de India, el cual en 1979 se cambio por Procesadora Nacional de Alimentos C.A. (PRONACA). Esta empresa ofrece una gama variada de productos. La empresa cuenta con diferentes plantas a lo largo del país; entre las principales se encuentra la planta de Puenbo en la cual se realizó el estudio de emisiones, y que tiene como principal proceso productivo el peletizado y expandido de alimentos para animales.

PRONACA produce y procesa los siguientes alimentos: carne de pollo, chanco, pavo, gallina, pescado, además produce jamones, huevos, arroz y balanceado para animales.

### 1.2.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.

Se encuentra ubicada en la vía Interoceánica, a 5 Km. del desvío a Baeza, en el sector de Puenbo del Cantón Quito.

### 1.2.3 ANTECEDENTES.

La empresa no ha tenido problemas en cuanto a emisiones atmosféricas, tanto en gases como en material particulado.

PRONACA sí posee un plan de manejo ambiental y ha realizado todos los estudios ambientales.

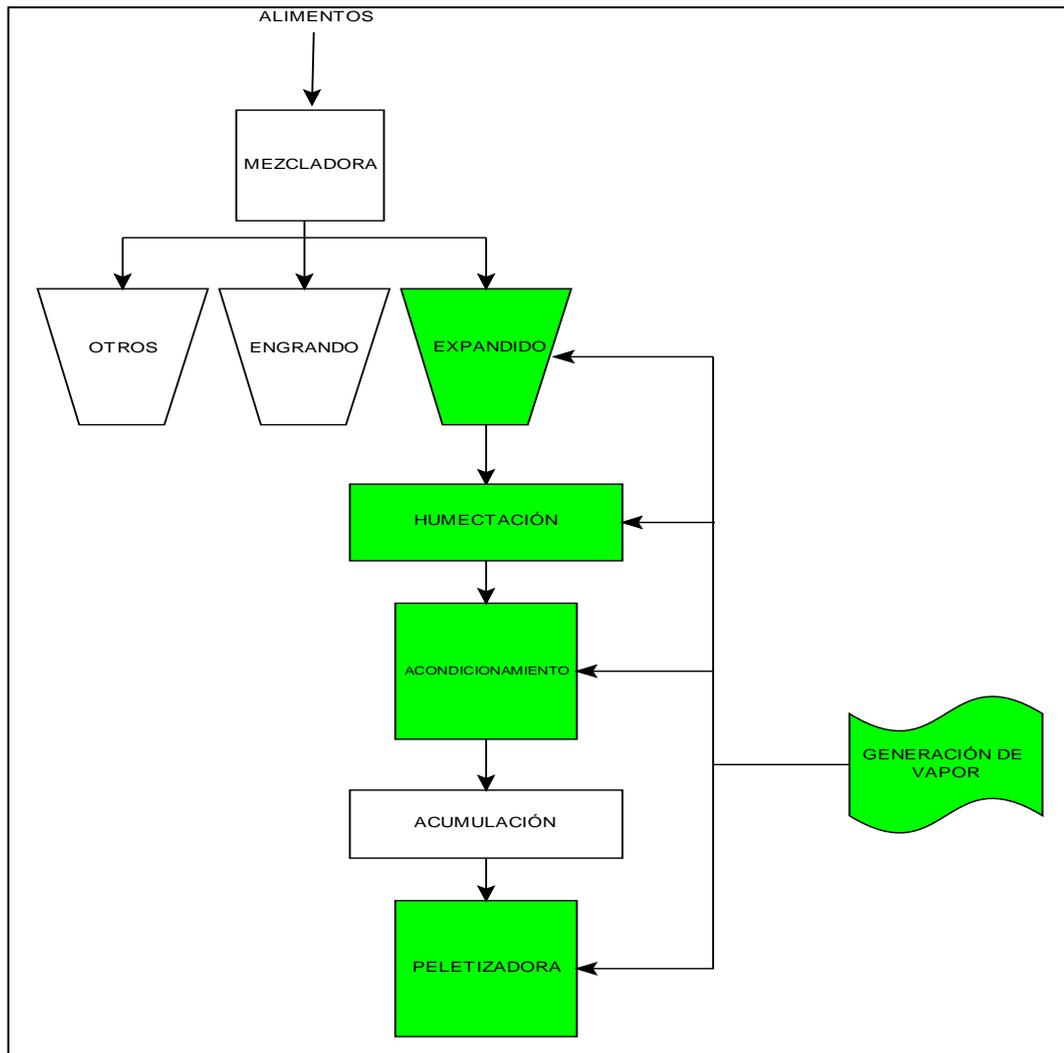
### 1.2.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA PRONACA.

**Tabla 1.4. Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de PRONACA.**

<b>Entradas</b>	<b>Procesos</b>	<b>Residuos o Emisiones</b>	<b>Productos principales</b>
Materia prima, alimentos.	Mezclado, engranado, expandido, humectación, acondicionamiento, acumulación y paletizado. Generación de Vapor	Residuos sólidos comunes. Residuos orgánicos	Alimento balanceado para aves y animales domésticos.
Agua.		Efluentes de agua de elaboración de productos, efluentes domésticos.	
Energía eléctrica, energía térmica (combustibles).		Gases de combustión, vapor, partículas de combustión, ruido, polvo, de	

Fuente: Departamento de producción de la planta PRONACA - Puenbo.

### Diagrama de flujo de los procesos de la empresa <sup>[1]</sup>.



### 1.2.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.

#### Nave Industrial de Expandido y Peletizado.

La empresa tiene un caldero que se encuentra en el sector de mantenimiento, dentro de un hangar de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>, cercano a los tanques de

<sup>[1]</sup> Nota: Las casillas de color verde representan el proceso que implica emisiones gaseosas a la atmósfera.

almacenamiento de combustible. Este caldero es el principal productor de emisiones gaseosas y particulado.

Se dispone para el almacenamiento de combustible de un tanque hermético contenedor de 2500 galones de Búnker, ubicado sobre piso de cemento en un área cubierta, la misma donde se encuentra el caldero.

Esta fuente de energía tiene como fin principal la generación de vapor.

### 1.2.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA

**Tabla 1.5. Tipo y Consumo de Combustible.**

<b>Combustible</b>	<b>Equipo</b>	<b>Función</b>	<b>Cantidad consumida (año)</b>
Búnker	Caldero Cleaver Brooks	Generación de vapor	302400 gal aprox.

Fuente: Sr. Manuel Chérrez, Subjefe del departamento de Mantenimiento de PRONACA.

**Tabla 1.6. Equipo de Generación de Energía.**

<b>Equipo</b>	<b>Proceso</b>	<b>Combustible</b>	<b>Tipo de emisión</b>	<b>Tiempo de emisión</b>
Caldero Cleaver Brooks	Producción de vapor.	Diesel 35 gal/h	CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM.	24 horas/día

Fuente: Sr. Manuel Chérrez, Subjefe del departamento de Mantenimiento de PRONACA.

### 1.2.7 TRATAMIENTO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.

PRONACA realiza inversiones periódicas para mitigar el impacto de sus instalaciones en el entorno natural, los recursos y las poblaciones cercanas a sus centros productivos.

La empresa ha desarrollado sus actividades con un programa de bioseguridad que maneja estrictas normas de inocuidad alimentaria.

En la actualidad, la empresa cumple con las leyes y ordenanzas ambientales, y periódicamente investiga y desarrolla proyectos en esta área, los que acompañan otras acciones de salud ocupacional y seguridad industrial. Entre estos proyectos encontramos el monitoreo periódico de las emisiones gaseosas y particulado.

### **1.3 DANEC S.A.**

#### **1.3.1 INFORMACIÓN GENERAL.**

Grupo empresarial del Ecuador creado en 1971 para atender las necesidades del mercado nacional en los sectores de grasas, aceites comestibles y jabones en barra; encargado del procesamiento y transformación de materias primas en productos como: aceites, margarinas, grasas para uso domestico e industrial y elementos fundamentales para nutrición de animales.

Su principal materia prima es el aceite de palma y el palmiste, el cual después de ser extraído es enviado directamente a la planta industrial para su procesamiento y refinación.

#### **1.3.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.**

La empresa DANEC se encuentra ubicada en Sangolquí Km 1.5, vía a Tambillo en las intersecciones de la av. Gral. Enríquez y Av. Shyris.

#### **1.3.3 ANTECEDENTES.**

La empresa ha sido catalogada por el I. Municipio de Rumiñahui como un establecimiento en el que se desarrollan actividades que implican alto riesgo ambiental, debido a la emanación de gases y partículas, y por la naturaleza de los productos y sustancias utilizadas, por lo que deben darse las respectivas soluciones

técnicas especializadas y de alto nivel para la prevención y control de la contaminación del aire.

Para ello, este organismo indica que se debe realizar el respectivo estudio de impacto ambiental (EsIA) y presentarlo a la Dirección de Control Ambiental.

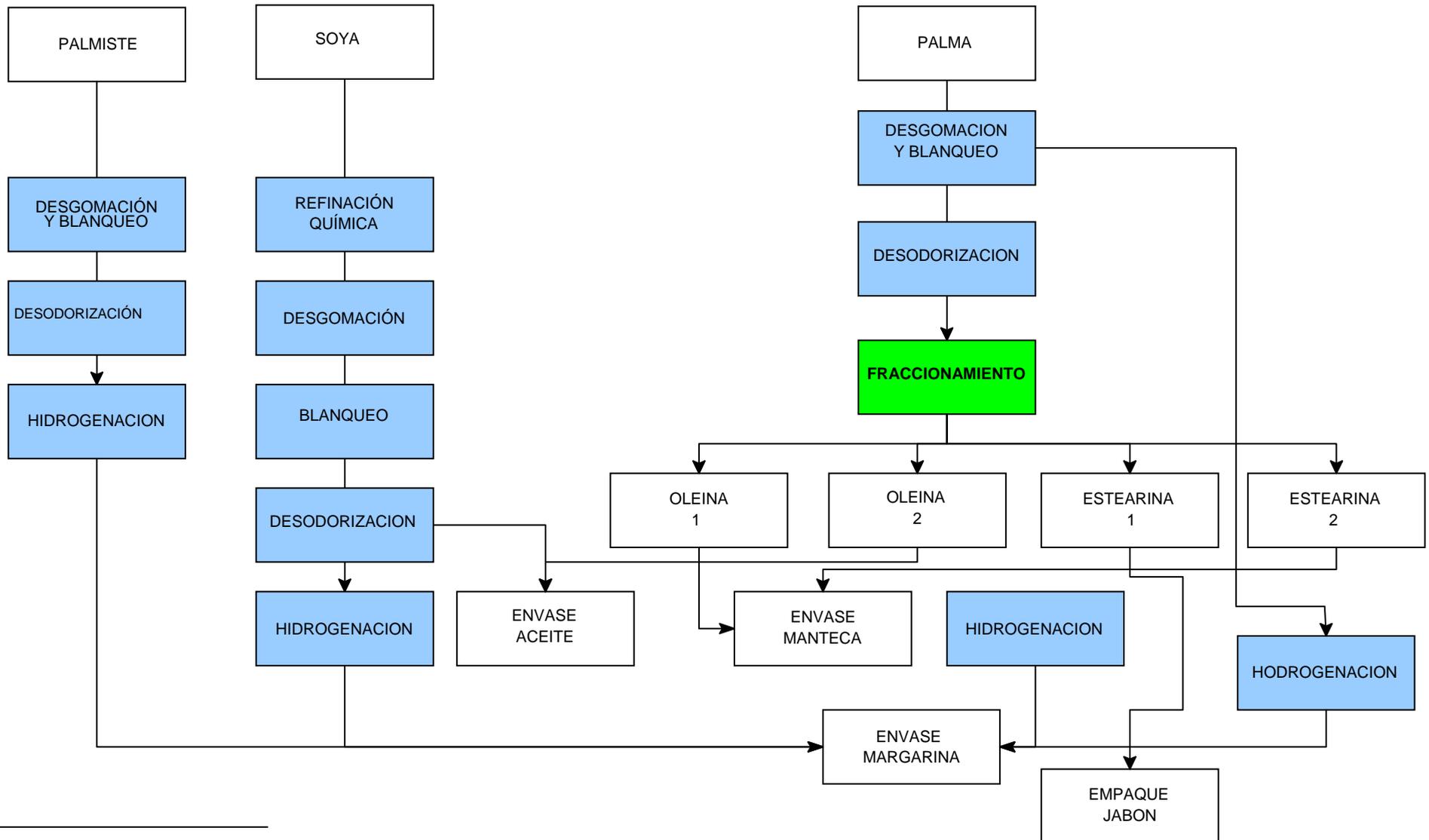
### 1.3.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA DANEC.

**Tabla 1.7. Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de DANEC.**

<b>Entradas</b>	<b>Procesos</b>	<b>Residuos o Emisiones</b>	<b>Productos principales</b>
Materia prima, alimentos.	Palmiste: Desgomación, desodorización,	Residuos sólidos comunes. Tierras filtrantes.	Grasas, aceites comestibles y jabones.
Agua.	hidrogenación. Soya: Refinación, desgomación,	Efluentes de agua de enfriamiento, efluentes domésticos.	
Energía eléctrica, energía térmica (combustibles).	blanqueo, desodorización e hidrogenación. Palma: Desgomación, blanqueo, desodorización y fraccionamiento.	Gases de combustión, vapor, partículas de combustión, ruido, polvo, de	

Fuente: I. Municipio de Rumiñahui.

**Diagrama de flujo de los procesos de la empresa <sup>[1]</sup>.**



<sup>[1]</sup> Nota: Las casillas de color celeste representan los procesos que implican emisiones gaseosas a la atmósfera. La casilla de color verde indica el principal proceso que implica emisiones gaseosas a la atmósfera.

### 1.3.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.

#### Nave Industrial de generación de vapor.

La empresa cuenta con ocho calderos, los cuales son utilizados en la mayoría de procesos, principalmente para la generación de vapor. Estos calderos utilizan como combustible búnker y diesel.

El caldero principal, se encuentra ubicado en un hangar de aproximadamente 1200 m<sup>2</sup>. En este hangar sobresalen dos chimeneas principales, y una más de un hangar adyacente, constituyéndose estos en los principales focos de emisión de gases y material particulado de la empresa.

### 1.3.6 GENERACIÓN DE ENERGÍA.

**Tabla 1.8. Tipo y Consumo de Combustible.**

<b>Combustible</b>	<b>Equipo</b>	<b>Función</b>	<b>Cantidad consumida (año)</b>
Búnker	Caldero Distral	Generación de vapor	622000 gal aprox.

Fuente: Ing. Aguirre, Jefe de Mantenimiento Industrial de DANEC.

**Tabla 1.9. Equipo de Generación de Energía.**

<b>Equipo</b>	<b>Proceso</b>	<b>Combustible</b>	<b>Tipo de emisión</b>	<b>Tiempo de emisión</b>
Caldero Distral	Producción de vapor.	Diesel 142 gal/h	CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM.	8 horas/día

Fuente: Ing. Aguirre, Jefe de Mantenimiento Industrial de DANEC.

### **1.3.7 TRATAMIENTO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.**

Esta industria no cuenta con un plan específico para tratar las emisiones a la atmósfera, sin embargo realiza todos los controles y muestreos periódicos que han sido dispuestos por el I. Municipio de Rumiñahui, y muestra interés por continuar con muestreos por cuenta propia, que permitan mejorar los sistemas de tratamiento ya existentes.

Estos sistemas de tratamiento con que cuenta la empresa son algunos ciclones, los cuales ayudan a corregir el grado de emanación del material particulado hacia la atmósfera.

### **1.4 PINDATEX S.A.**

#### **1.4.1 INFORMACIÓN GENERAL.**

PINDATEX es una empresa que basa su trabajo en la fabricación y acabados textiles. Se especializa en los acabados de todo tipo de textiles.

La empresa funciona en un galpón gigante de 2800 m<sup>2</sup>, en el cual se halla la planta industrial completa, a excepción de la nave de generación de energía que funciona en un galpón aparte, más las oficinas de administración.

#### **1.4.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.**

Se ubica en el kilómetro 26 de la vía Sangolquí – Amaguaña, en la calle Recalex, en el sector de la Gasolinera “El Oso”.

### **1.4.3 ANTECEDENTES.**

PINDATEX, aún bajo normas de control, producen efectos nocivos por emisiones de combustión, además de riesgos inherentes a sus labores. El Municipio de Rumiñahui considera que las instalaciones de esta empresa requieren soluciones técnicas de alto nivel para la prevención y control de todo tipo de contaminación y riesgo. Se exige que esta industria deba presentar a la Dirección de Control Ambiental, el EsIA y el Plan de Manejo Ambiental.

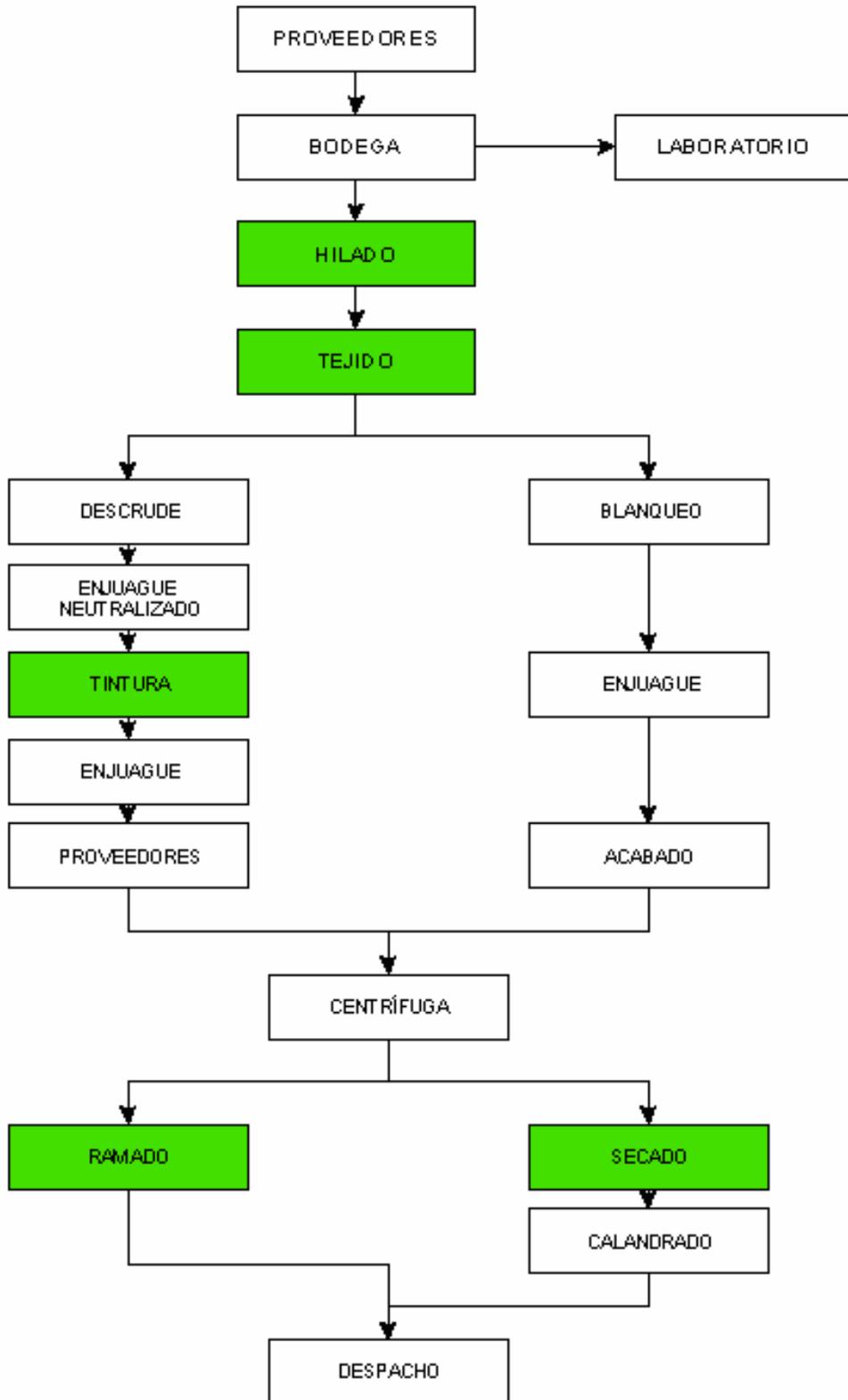
La industria en cuestión ha querido emprender la instalación de un ciclón en la fuente de emisión, ya que es considerada como una de las empresas con alto riesgo de impacto ambiental, según el Municipio de Rumiñahui. Se le han impuesto sanciones por el mal manejo ambiental de sus actividades, pero hasta el momento la empresa no ha realizado ninguna adecuación para una producción más limpia.

**1.4.4 PROCESO GLOBAL DE LA EMPRESA PINDATEX S.A.****Tabla 1.10 Entradas, proceso, Residuos o Emisiones y Productos de Pindatex.**

<b>Entradas</b>	<b>Proceso</b>	<b>Residuos o Emisiones</b>	<b>Productos</b>
Algodón, poliéster – algodón, hilo rayón, hilo para costura, etiquetas.	Elaboración de tejidos planos y de rizo.	Hilachas, guaipe, pelusas, plástico, cartón, tambores de lata.	Toallas, manteles, lonas, gabardinas, franelas, sesgo.
Agua, químicos, colorantes, auxiliares.		Efluentes de agua de climatización, efluentes de tintura, efluentes domésticos.	
Energía eléctrica, energía térmica (combustibles), energía neumática (aire comprimido).		Gases de combustión, ruido, vapor, polvo, pelusa.	

Fuente: I. Municipio de Rumiñahui.

**Diagrama de Flujo de los procesos de la empresa <sup>[1]</sup>.**



<sup>[1]</sup> Nota: Las casillas de color verde representan el proceso que implica emisiones gaseosas a la atmósfera.

### 1.4.5 DESCRIPCIÓN DE NAVES INDUSTRIALES CON FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.

#### Nave industrial de generación de vapor.

PINDATEX cuenta con tres calderos interconectados hacia una sola chimenea. Este sistema se halla en un galpón con techo de zinc y no existen plataformas ni escaleras de acceso.

El galpón tiene aproximadamente 500 m<sup>2</sup> de superficie, y en el se guarda el combustible en canecas.

### 1.4.6 GENERACIÓN DE VAPOR.

**Tabla 1.11. Tipo y Consumo de Combustible.**

<b>Combustible</b>	<b>Equipo</b>	<b>Función</b>	<b>Cantidad consumida (2006)</b>
Búnker	Caldero	Generación de vapor	79902 gal

Fuente: Pindatex

**Tabla 1.12. Equipos de Generación de Emergía.**

<b>Equipo</b>	<b>Proceso</b>	<b>Combustible</b>	<b>Tipo de emisión</b>	<b>Tiempo de emisión</b>
Caldero Kewanne	Producción de vapor.	Búnker, 23.3 gal/h	CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM.	24 horas/día

Fuente: Pindatex.

#### **1.4.7 TRATAMIENTO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.**

La empresa no tiene un plan de manejo ambiental, ni ningún proceso de mejora de la contaminación en su fuente de emisiones gaseosas.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

De entre las muchas definiciones de contaminación atmosférica citamos dos de ellas:

1. “Contaminación atmosférica es la impurificación de la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas o radiaciones ajenas a su composición natural o en proporción superior a aquella” (Orozco, 2003).
2. “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” (TULAS, 2003).

##### 2.1.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN ANTROPOGÉNICA.

La contaminación antropogénica es la causada por actividades humanas, tales como el transporte, combustiones y procesos industriales.

Estas fuentes de contaminación se clasifican en:

**Fuentes Móviles.-** Incluyen los diversos tipos de vehículos de motor utilizados en el transporte.

**Fuentes Fijas.-** Se localizan en un punto determinado llamado foco de combustión estacionario. Estos focos pueden ser domésticos e industriales.

Dentro del inventario de las actividades potencialmente contaminantes de la atmósfera, existen 11 tipos de fuentes <sup>[1]</sup>, de las cuales interesa la clasificación número tres, denominada *Combustión industrial y otros procesos industriales con combustión*.

Esta categoría contempla:

- Calderos de combustión industrial, turbinas de gas y motores estacionarios.
- Hornos de procesos sin contacto.
- Procesos con contacto.

### **2.1.2 CONCEPTO DE EMISIÓN.**

Es la descarga de sustancias en la atmósfera que vierte un foco o fuente determinado<sup>[2]</sup>.

Las mediciones de las cargas contaminantes emitidas por los focos se realizan a la salida del foco emisor.

### **2.1.3 EXPRESIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTAMINACIÓN.**

Existen dos formas de expresar las concentraciones de los diversos agentes contaminantes:

- Unidades de volumen / volumen:  $\text{cm}^3/\text{m}^3$  (ppm) o  $\text{mm}^3/\text{m}^3$  (ppb).
- Unidades de masa / volumen:  $\text{mg}/\text{m}^3$  (ppm) o  $\text{ug}/\text{m}^3$  (ppb).

Para realizar las conversiones entre unidades se recurre a la ecuación de estado de los gases ideales.

En ocasiones se puede encontrar una unidad de volumen gaseosa precedida por la letra N, lo que significa que el volumen señalado se mide en condiciones normales de presión y temperatura (1 atmósfera y 273 grados Kelvin respectivamente).

---

[1] Programa de Coordinación de la Información sobre Medio Ambiente (CORINE), Comunidad Europea, 1985.

[2] TULAS, Libro VI, Anexo 4, Quito, 2003.

#### **2.1.4 TIPOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.**

La contaminación atmosférica puede ser de naturaleza física, química o microbiológica. La que corresponde a las fuentes de combustión fijas es la contaminación de naturaleza química.

##### **Contaminación de naturaleza química.**

Una vez emitidos los contaminantes a la atmósfera pueden sufrir transformaciones químicas que alteren su naturaleza, por ello a estos agentes se los clasifica en primarios y secundarios.

*Contaminantes Primarios.*- Son los que se emiten directamente a la atmósfera. Constituyen más del 90% del problema, y los más perjudiciales son precisamente el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, partículas e hidrocarburos.

*Contaminantes Secundarios.*- Son las especies que se forman en la atmósfera por interacciones entre contaminantes primarios, componentes naturales de la atmósfera y radiaciones. En cierta medida, estos contaminantes pueden ser muy perjudiciales, al atacar condiciones específicas de la atmósfera. Los principales agentes secundarios son el ozono, oxidantes fotoquímicos, sulfatos, nitratos.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS EMISIONES DE GASES Y PARTICULADO EN FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.

### 2.2.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO).

Es un gas incoloro, inodoro e insípido; su densidad es del 96.5% de la del aire y es muy poco soluble en agua. En términos de masa es el contaminante más abundante y ampliamente distribuido.

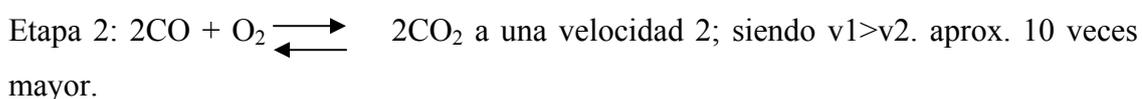
#### Fuentes y Formación <sup>[1]</sup>.

Más del 90% del CO que encontramos en la atmósfera proviene de fuentes naturales. Respecto a CO producido en forma antropogénica, tenemos como mayor productor al transporte, seguido de diversas actividades industriales.

En lo que respecta a su formación tenemos tres principales procesos de CO:

1. Combustión incompleta de compuestos con carbono.

Este tipo de combustión es la principal causa de emisión de CO a la atmósfera, su formación se divide en dos etapas:

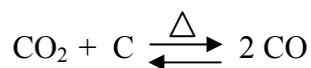


Estas velocidades de reacción implican que, si no hay una eficaz mezcla entre combustible y oxígeno, el CO sea emitido de manera elevada.

---

[1] Orozco C., Pérez A., González M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 342.

2. Reacción entre el dióxido de carbono formado en la combustión y el carbono del combustible aún no quemado.



Esta reacción se da principalmente a temperaturas elevadas, es decir son frecuentes en muchos procesos industriales.

3. Disociación del dióxido de carbono a altas temperaturas

Aunque exista una buena relación entre oxígeno y combustible, cuando se trabaja a altas temperaturas se desprende monóxido de carbono, debido a que el proceso de descomposición de dióxido de carbono aumenta con la temperatura.



### **Efectos.**

El principal efecto del CO es sobre la hemoglobina de la sangre, esto debido a que la molécula de CO es 200 veces más afín que la molécula de O<sub>2</sub> en la sangre, lo que implica que, incluso a concentraciones bajas, se forme carboxihemoglobina en cantidades importantes, lo que se traduce en una baja aportación de oxígeno a los tejidos <sup>[1]</sup>. Algunos de los principales efectos del CO en diferentes concentraciones en la hemoglobina de la sangre están representados en la Tabla 2.1.

Sobre la vegetación y microorganismos asociados parece improbable un impacto significativo de este contaminante.

---

[1] Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos, [www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002804.htm](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002804.htm), 2007, 2007.

**Tabla 2.1. Niveles de CO en el aire ambiental y % de COHb en la sangre.**

Concentración de CO en el aire ambiental (mg/Nm <sup>3</sup> ).	Concentración equilibrio de COHb en sangre (%).	Efectos
< 4	< 1	No hay efecto aparente
4 - 12	1 - 2	Alguna evidencia de efectos sobre la conducta
12 - 35	2 - 5	Efectos en el sistema nervioso central. Efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discernimiento de la luminosidad y algunas otras funciones psicomotoras
35 - 74	5 - 10	Alteraciones cardiacas y pulmonares
74 - 625	10 - 80	Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallos respiratorios, muerte.

Fuente: Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1ª Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003.

## 2.2.2 ÓXIDOS DE NITRÓGENO.

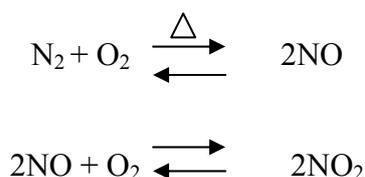
Dentro de este término se engloba todos los posibles óxidos que puede formar el nitrógeno. En la atmósfera únicamente se detectan: N<sub>2</sub>O, NO y NO<sub>2</sub>, pues el resto son inestables y se disocian. Los más importantes por sus características y propiedades son el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

- Monóxido de nitrógeno.- Es un gas incoloro, tóxico e interviene en procesos fotoquímicos troposféricos, produciendo un equilibrio de interconversión entre NO y NO<sub>2</sub>.
- Dióxido de nitrógeno.- Es un gas pardo rojizo, tóxico y que interviene también en procesos fotoquímicos troposféricos.

**Fuentes y Formación** <sup>[1]</sup>.

El monóxido y el dióxido de nitrógeno deben su origen principalmente a fuentes antropogénicas, principalmente el transporte y procesos donde tengan lugar reacciones de combustión a altas temperaturas.

Su formación se debe principalmente a procesos de combustión, en donde pueden producirse diferentes reacciones. Estas reacciones son causadas en su gran mayoría gracias al nitrógeno que se encuentra en el aire, que se emplea como comburente.



La primera reacción es altamente endotérmica (1300° C o más) <sup>[2]</sup>.

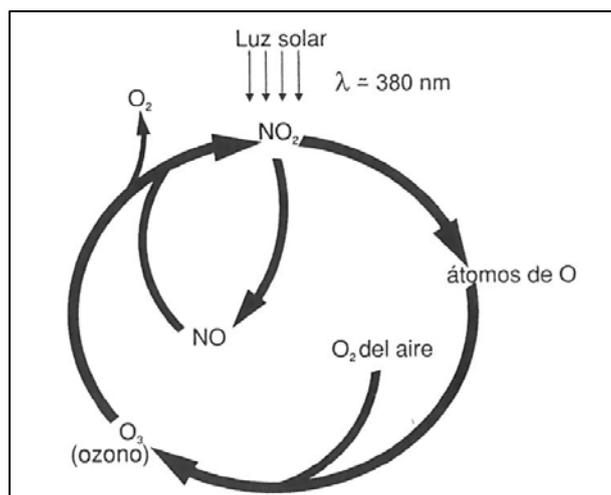
Respecto a la segunda reacción, no es importante en las condiciones de combustión ordinarias, debido a la inestabilidad del NO<sub>2</sub>, ya que a temperaturas elevadas, mayores a 150° C, empieza a descomponerse <sup>[3]</sup>. En lo que respecta a temperaturas bajas, la velocidad de esta reacción es muy pequeña, tardando en oxidarse dependiendo de la concentración.

Cabe recalcar que los óxidos de nitrógeno son gases que tienen un origen común, participan en forma decisiva en los fenómenos de lluvia ácida e intervienen en los ciclos fotolíticos del nitrógeno (Figura 2.1), originando contaminantes secundarios cuyos efectos pueden llegar a ser más nocivos.

[1] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1° Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 346.

[2] Consultora Estructplan, Gases Contaminantes, [www.estructplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=618](http://www.estructplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=618), 2007, 2007.

[3] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1° Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 346.

**Figura 2.1. Ciclo Fotolítico de los óxidos de nitrógeno.**

Fuente: Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1ª Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003.

Además los  $\text{NO}_x$  sufren ciertas evoluciones en la atmósfera, principalmente en la noche, donde al reaccionar con agentes oxidantes como el ozono, se conduce a la formación de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ).

### Efectos.

La toxicidad en si mismo de los  $\text{NO}_x$  no es elevada, siendo el  $\text{NO}_2$  más problemático. El problema se da al existir un incremento de la concentración respecto a la normal ambiental, especialmente en ambientes cerrados, produciendo principalmente irritaciones oculares y nasales, problemas respiratorios, edemas pulmonares y en caso extremo la muerte a concentraciones de 100ppm de  $\text{NO}_2$  <sup>[1]</sup>.

Otros efectos son la lluvia ácida causada por la presencia del ácido nítrico, pero que en nuestro país no tiene consecuencias graves, y el smog fotoquímico troposférico o seco. Por último tenemos como efecto la contribución de los óxidos de nitrógeno emitidos directamente a la estratosfera a la destrucción de la capa de ozono.

[1] Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos, [www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002804.htm](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002804.htm), 2007, 2007.

### ***Smog Fotoquímico***

Se denomina smog fotoquímico a la contaminación del aire por ozono, originado por reacciones fotoquímicas, y otros compuestos. Como resultado se observa una atmósfera de un color marrón rojiza, lo cual es común en áreas urbanas, donde es frecuente el fenómeno de inversión térmica, que impide la dispersión de los contaminantes.

Las reacciones fotoquímicas que originan este fenómeno suceden cuando la mezcla de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles, emitida por varias fuentes de combustión, y el oxígeno atmosférico reaccionan, inducidos por la luz solar, en un complejo sistema de reacciones que acaba formando ozono.

El ozono es una molécula muy reactiva que sigue reaccionando con otros contaminantes presentes en el aire, y acaba formando un conjunto de varias decenas de sustancias distintas como nitratos de peroxiacilo (PAN), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), radicales hidroxilo (OH), formaldehído, etc. Estas sustancias, en conjunto, pueden producir importantes daños en las plantas, irritación ocular, problemas respiratorios, etc. <sup>[1]</sup>.

#### **2.2.3 ÓXIDOS DE AZUFRE**

Con el nombre de óxidos de azufre se engloban los términos  $SO_2$  y  $SO_3$ . El que se emite en mayor proporción a la atmósfera es el dióxido de azufre ( $SO_2$ ), al que acompaña por lo general una pequeña proporción de trióxido de azufre ( $SO_3$ ); este último reacciona rápidamente con la humedad, convirtiéndose en ácido sulfúrico.

---

[1] Biblioteca de la Universidad de Navarra (UNAV), Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, [www.esi.unav.es/ASIGNATURAS/ECOLOGIA/hIPERTEXTO/10CAtm1/330Smog.htm](http://www.esi.unav.es/ASIGNATURAS/ECOLOGIA/hIPERTEXTO/10CAtm1/330Smog.htm), 2003, 2007.

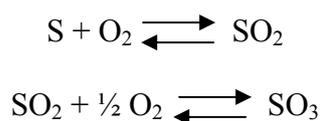
## Fuentes y Formación <sup>[1]</sup>.

Las emisiones naturales corresponden un poco más del 50% de las emisiones totales de SO<sub>2</sub>.

En cuanto a las fuentes de tipo antropogénico debemos señalar que están originadas, fundamentalmente, por la combustión de carburantes que contienen azufre (diesel, carbón, búnker, etc.), siendo los principales puntos emisores los focos de combustión estacionaria.

Cualquier sustancia que posea azufre producirá SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>. Siempre existirá mayor cantidad de SO<sub>2</sub>, sea cual sea la cantidad de oxígeno presente, pero su porcentaje puede variar según las condiciones de temperatura y combustión <sup>[2]</sup>.

El mecanismo simplificado de la formación de óxidos de azufre es el siguiente:



Una vez emitido el SO<sub>2</sub> a la atmósfera sufre una lenta oxidación a SO<sub>3</sub>, debida a procesos de naturaleza catalítica o fotoquímica. El resultado final es la aparición de ácido sulfúrico, debido a la reacción del SO<sub>3</sub> con el vapor de agua.

## Efectos

Los principales efectos de los óxidos de azufre serán los derivados de su transformación en agentes causantes de lluvia ácida, sin embargo estos también ocasionan problemas por si solos en los ecosistemas en elevadas concentraciones, originando la muerte de plantas.

Se reconoce al azufre como un contaminante capaz de causar daño severo a la salud de las personas, en especial entre los infantes, los ancianos y los asmáticos.

---

[1] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 356.

[2] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 356.

Ante altas concentraciones de SO<sub>2</sub> se pueden producir efectos severos como bronco constricción, bronquitis crónica, bronco espasmos en asmáticos, etc.

Las exposiciones de la población a una media diaria mayor a 500 mg/m<sup>3</sup> produce un exceso de mortalidad, en tanto que para exposiciones entre 500 mg/m<sup>3</sup> y 250 mg/m<sup>3</sup> se observa un aumento de las enfermedades respiratorias agudas. Por último, para exposiciones de la población a una media anual mayor de 100 mg/m<sup>3</sup> se produce un aumento de los síntomas de enfermedades respiratorias <sup>[1]</sup>.

#### **2.2.4 PARTÍCULAS**

Se engloba bajo este nombre el conjunto de gotitas sólidas (polvo y humos) o líquidas (niebla y bruma) que se encuentran presentes en el aire, derivadas de alguna actividad industrial, y que son causa en muchas ocasiones de grandes problemas de contaminación <sup>[2]</sup>.

Para fines más prácticos respecto a este estudio, las partículas son cualquier cosa retenida sobre un filtro de papel.

El parámetro indicador de este tipo de contaminación es independiente de la naturaleza química de la partícula, por ello al hablar de concentraciones decimos: ug o mg de partículas / m<sup>3</sup> de aire, no pudiendo hacerse en este caso equivalencia a ppm o ppb, ya que los métodos de medición permiten determinar el peso de partículas, que comparados con el peso molecular del gas, es muy superior.

---

[1] Organización Mundial de la Salud (OMS), *El Dióxido de Azufre y sus efectos sobre las plantas*, Santiago de Chile, 2000, pág. 6.

[2] Alley Robert and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Tomo 2, Capítulo 19, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 19.1.

## Fuentes

Más del 80% de partículas son de origen natural. En cuanto al origen antropogénico, las fuentes emisoras son diversas, en las cuales resaltan los procesos de combustión y las pérdidas en los procesos industriales <sup>[1]</sup>.

## Composición Química y Tamaño

La contaminación por partículas va a depender de dos tipos de factores: su tamaño y la composición química.

*Composición Química.*- Las partículas en el aire pueden tener una composición muy diversa. Las especies de carácter no biológico son:

- Metales: Entre los más abundantes están el calcio y aluminio provenientes de procesos de erosión y algunos procesos industriales, el plomo liberado de las pinturas y de algunas gasolinas, el hierro, sodio, vanadio originados en otros procesos industriales o naturales y otros como el magnesio, cobre, cromo, manganeso; entre otros que se encuentran como metales traza en la composición del carbono y otros combustibles.
- Especies inorgánicas: Caben destacar los sulfatos y nitratos como contaminantes secundarios, cloruros, amonio, partículas carbonadas y silicio.

Por otro lado existen las partículas de carácter biológico:

- De origen natural: Dentro de estos tenemos aceites terpénicos, y aceites esenciales provenientes de la vegetación.
- De origen antropogénico: Tenemos principalmente hidrocarburos alifáticos, aromáticos, insecticidas, dioxinas y benzofuranos.

*Tamaño.*- El tamaño de las partículas es de gran importancia para conocer cuál va a ser su comportamiento y cómo van a incidir éste en su peligrosidad.

---

[1] Orozco C., Pérez A., González M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 364.

Este tamaño oscila entre límites muy amplios, que van desde radios menores a los  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  a radios mayores a  $10^3$   $\mu\text{m}$ . En función de este rango, las partículas se clasifican en tres grupos <sup>[1]</sup>:

- Partículas finas: De tamaño inferior a 0,1  $\mu\text{m}$  de de diámetro.
- Partículas medias: Son aquellas que se encuentran dentro del rango 0,1 y 10  $\mu\text{m}$ .
- Partículas sedimentables o gruesas: Con diámetros superiores a 10  $\mu\text{m}$ . Estas partículas permanecen en el aire tiempos relativamente cortos, por lo tanto provoca que las partículas que permanecen en suspensión sean en su gran mayoría partículas medias y finas.

Para denotar el tamaño de las partículas se utiliza la siguiente nomenclatura:

$\text{PM}_x$ , donde PM significa material particulado, y el subíndice indica el tamaño de la partícula, generalmente en micras ( $\mu\text{m}$ ).

Entre todas estas partículas se tiende a distinguir las  $\text{PM}_{2,5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , siendo las de diámetro 2,5 de mucho más peligrosas para la salud <sup>[2]</sup>, mientras que las de diámetro 10 son sedimentables.

## **Evolución en la atmósfera**

Todas las partículas en la atmósfera acaban depositándose. Las más pequeñas sufren en primer lugar un proceso de coagulación. Hay dos maneras de producirse este fenómeno:

- Deposición seca, que es una deposición gravitacional por impacto contra posibles obstáculos en movimiento, o por migración hacia una superficie con la que las partículas chocan y permanecen finalmente. Alrededor del 20% de las partículas se depositan de esta manera.
- Deposición húmeda, en la que las partículas son arrastradas a la superficie por acción de la lluvia o nieve.

---

[1] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 367.

[2] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 368.

## **Efectos**

La contaminación por partículas origina importantes efectos sobre los seres vivos y los materiales, siendo también importante los efectos ópticos por los problemas que este hecho ocasiona.

Dependiendo su naturaleza química, las partículas pueden tener un variado y extenso grado de afectación, por lo cual es importante comentar los efectos derivados del estado físico y del tamaño de las partículas:

- Sobre las plantas recubren las hojas e impiden un desarrollo normal de la misma.
- Sobre los animales y el hombre, los efectos nocivos que estas partículas ocasionan son principalmente sobre el aparato respiratorio, teniendo sobre éste, mayor impacto las partículas de tamaño medio.
- En lo que se refiere a materiales, el mayor impacto es causado por la corrosión que las partículas originan dependiendo de su naturaleza química; otro impacto de menor importancia es la suciedad.
- Por último causan una disminución de la visibilidad, al formar junto con la humedad fenómenos de condensación, con la consiguiente aparición de nieblas o brumas.

## **2.3 PRINCIPIOS PARA UN MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO EN FUENTES DE COMBUSTIÓN FIJAS.**

### **2.3.1 CARGA CONTAMINANTE Y EMISIÓN.**

En la mayoría de las situaciones, el objetivo principal de muestrear en chimeneas de fuentes de combustión fijas es determinar la carga contaminante (CC) o también llamado flujo másico de los diferentes tipos de contaminantes. En este estudio la CC ha sido designada como F, y se define como la masa de contaminante emitida por unidad de tiempo, generalmente expresado como kilogramos por hora (kg/h) para unidades del Sistema Internacional. Una vez calculada la CC podremos obtener la Emisión (E) fácilmente, para así comparar este parámetro con los límites impuestos por la ley nacional y local respectivamente.

La CC no es medida directamente. En lugar de eso, dos cantidades relacionadas directamente con ésta son medidas. Estas son la concentración de contaminante (C) y el flujo total de gas (Q) que se definen de la siguiente manera:

- Concentración.- Cantidad medida de contaminante contenida en un flujo de gas dado.
- Flujo de gas.- Volumen de gas fluyendo en la chimenea por unidad de tiempo. Ej.  $m^3/min$ .

La concentración es expresada normalmente de dos formas diferentes:

- Concentración en masa.- Masa del contaminante por volumen de gas. Ej.  $mg/m^3$ , usado en este estudio para la concentración de material particulado.
- Concentración en volumen.- Volumen del contaminante por volumen del gas. Ej. partes por millón (ppm), usado en este estudio para la concentración de gases.

Con respecto a este estudio, la concentración del contaminante es determinado mediante un muestreo específico y procesos analíticos designados para cada contaminante, como por ejemplo, el método EPA 17 para material particulado. En el caso del flujo de

gas, éste es determinado usando una combinación de métodos de la EPA, desde el EPA 1 al EPA 4.

La relación entre la CC, la concentración del contaminante y el flujo de gas puede ser descrita como en la Ecuación 2.1:

$$F = k \times C \times Q \qquad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde k equivale a una constante usada para convertir unidades. Por ejemplo si C esta en  $\text{kg/m}^3$ , y Q esta  $\text{m}^3/\text{min}$ , entonces k con valor de 60 min que tiene una hora dará como resultado un F calculado en kg/h.

A través de las explicaciones anteriores, un muestreo de chimenea puede ser dividido en dos operaciones clave:

1. Determinación de la concentración del contaminante (C).
2. Determinación del flujo volumétrico del gas (Q).

### **2.3.2 VELOCIDAD DEL GAS Y FLUJO VOLUMÉTRICO.**

La velocidad del gas, designada como  $V_s$ , representa el promedio de la velocidad lineal a la cual se mueve el gas dentro de la chimenea, expresada en metros por segundo (m/s).

Típicamente, la velocidad del gas dentro del ducto varía en un rango entre 6 m/s a 27 m/s. Los ductos comúnmente son diseñados para velocidades de 18 m/s <sup>[1]</sup>.

La velocidad del gas usualmente es medida usando tubos Pitot, los cuales son los instrumentos designados por el método EPA 2.

El flujo volumétrico del gas se define como el volumen de gas que se mueve a través de la chimenea o ducto en un período de tiempo determinado. El flujo volumétrico es afectado por condiciones de temperatura y presión de la chimenea.

---

<sup>[1]</sup> Clean Air, Express, *Isokinetic Metering Console Manual*, pág. 25.

Estas condiciones en las que se encuentra el gas se definen como *flujo actual del gas*, designado con la variable  $Q_a$ . El flujo actual del gas es igual al producto de la velocidad del gas y el área de la sección transversal de la chimenea, definida como  $A_s$ . Esto se representa en la Ecuación 2.2.

$$Q_a = V_s \times A_s \qquad \text{Ecuación 2.2}$$

### 2.3.3 LEY IDEAL DE LOS GASES.

Como se indica anteriormente, el flujo volumétrico de los gases es dependiente de la temperatura y presión del gas en la chimenea. Esta relación es válida tanto para volúmenes de gas estáticos como para volúmenes de aire contenidos en un frasco, así como también para flujos volumétricos de gases en chimeneas.

Esta relación entre la temperatura y presión a la que es sometido un gas, es conocida como Ley Ideal de los Gases. De una manera sencilla, esta ley indica que el volumen de gas es directamente proporcional con su temperatura, e indirectamente proporcional con su presión. En otras palabras, si la temperatura del gas es incrementada, el gas aumentará en volumen, es decir se expande. De forma similar, si la presión del gas aumenta, el gas disminuirá en volumen. A manera de ecuación, la Ley Ideal de los Gases puede ser escrita como en la Ecuación 2.3.

$$Q = k \frac{T}{P} \qquad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde  $Q$  es el volumen de gas o flujo volumétrico de gas,  $T$  es la temperatura del gas,  $P$  es la presión del gas y  $k$  es una constante. Una forma más útil de escribir esta relación es mediante la Ecuación 2.4.

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{P_1}{T_1} \times \frac{T_2}{P_2} \qquad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

T1 = Temperatura de gas en condiciones 1

T2 = Temperatura del gas en condiciones 2

P1 = Presión del gas en condiciones 1

P2 = Presión del gas en condiciones 2

Q1 = Volumen o flujo volumétrico a condiciones T1 y P1

Q2 = Volumen o flujo volumétrico a condiciones T2 y P2

Es importante recalcar que la temperatura y la presión de la ecuación anterior se encuentran en unidades absolutas.

### 2.3.4 CONDICIONES ESTÁNDAR.

Es necesario especificar la temperatura y presión de gas al momento de medir el flujo volumétrico de gas. Con el fin de convertir volúmenes dados en diferentes tipos de condiciones a una sola base común, un grupo de condiciones estándar de temperatura y presión han sido definidas:

- Temperatura estándar (Tstd): 0° C o 273,15° K.
- Presión estándar (Pstd): 760 mmHg

Un flujo de gas volumétrico a condiciones estándar de temperatura y presión es designado como Qstd, y se expresa en unidades metros cúbicos por minuto (m<sup>3</sup>/min).

Usando la ecuación ideal de los gases, un flujo de gas volumétrico medido a condiciones de temperatura (Ts) y presión (Ps) absolutas dentro de la chimenea, puede ser convertido a condiciones estándar de acuerdo a la Ecuación 2.5.

$$Q_{std} = Q_a \times \frac{P_s}{T_s + 273} \times \frac{T_{std}}{P_{std}} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Cabe señalar que la proporción de la temperatura estándar con la presión estándar es aproximadamente 0.3592, término que aparecerá ocasionalmente en las ecuaciones relacionadas al monitoreo de chimeneas.

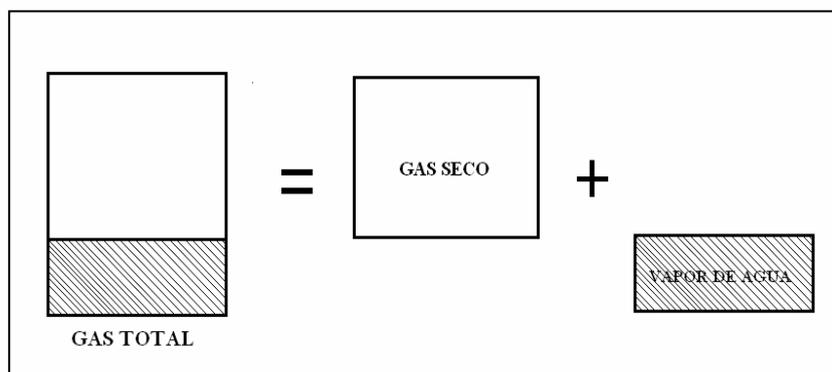
### 2.3.5 HUMEDAD EN EL FLUJO DE GAS.

Siempre y cuando un combustible sea quemado se producirá vapor de agua como derivado de la combustión. Consecuentemente, el vapor de agua podría representar una cantidad significativa del total de la corriente de gas que existe en el flujo de la chimenea. Sin embargo, debido a la naturaleza de las técnicas de medición de contaminantes, las concentraciones de contaminante son medidas bajo principios volumétricos secos. Por ejemplo, las concentraciones de material particulado son expresadas normalmente en unidades en términos secos, donde seco indica que cualquier contenido de agua presente en la chimenea fue removido después de que la medición de flujo de gas sea hecha.

Por consiguiente, si la concentración de los contaminantes es expresada en base seca, es importante conocer el flujo actual de gas seco en la chimenea el cual nos permitirá mantener una base consistente de las medidas que estamos realizando.

La Figura 2.2 muestra que la cantidad total de gas dentro de la chimenea es igual a la cantidad de gas seco más la cantidad de vapor de agua.

**Figura 2.2. Cantidad total del gas dentro de la chimenea.**



Fuente: Clean Air, Express Isokinetic Metering Console Manual

La Figura 2.2 puede ser expresada en forma matemática (Ecuación 2.6).

$$Q_{std} = Q_s + Q_{agua} \qquad \textbf{Ecuación 2.6}$$

Donde todo el flujo está expresado en condiciones estándar.

La fracción de volumen del total del gas que se encuentra como vapor de agua es designada con el término  $B_{wo}$ . De este modo, si un metro cúbico de muestra de gas contiene  $0,2 \text{ m}^3$  de vapor de agua, entonces  $B_{wo}$  sería igual a 0.2, o expresado de otra manera, 20%. Usando esta definición de  $B_{wo}$ , la relación descrita en este párrafo puede ser escrita como en la Ecuación 2.7.

$$Q_{std} = Q_s + (B_{wo} \times Q_s) \qquad \textbf{Ecuación 2.7}$$

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO.**

### **2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE GASES BACHARACH 300.**

El Bacharach 300 es un equipo portátil, cuyo objetivo principal es determinar cuán eficiente está siendo realizada la combustión al interior del quemador de un horno o caldero, mediante el análisis de los gases eliminados.

El Modelo 300, el cual mide tanto oxígeno ( $O_2$ ), monóxido de carbono (CO) y temperatura de los gases para calcular la eficiencia de la combustión (de acuerdo al combustible que se este utilizando), también calcula el exceso de aire, la pérdida en chimenea y la cantidad de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y ofrece sensores para la medición de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ).

#### **Componentes del Equipo.**

El Modelo 300 se encuentra dentro de una caja de polietileno, la cual guarda las siguientes partes principales:

- Procesador de datos.
- Celdas electroquímicas ( $O_2$ , CO,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ).
- Batería.
- Bomba de succión.
- Impresora y dispensador de papel.
- Pantallas de despliegue de datos.
- Cargador de batería.
- Cable umbilical.
- Sonda de acero inoxidable con termocupla tipo K.

## Especificaciones del Equipo.

**Tabla 2.2. Especificaciones técnicas del Bacharach 300.**

Parámetro	Características
Rangos de medida	Oxígeno 0 – 25% Monóxido de Carbono 0 – 3000 ppm Temperatura 1093° C Dióxido de Azufre 0 – 2000 ppm Óxidos de Nitrógeno 0 – 2000 ppm
Lecturas en pantallas	1. Temperatura/Monóxido de Carbono/Error 2. %O <sub>2</sub> / %Exceso de aire / Estado de la celda de O <sub>2</sub> 3. % Eficiencia / % Pérdida / % CO <sub>2</sub> 4. Reloj 5. ppm NO <sub>x</sub> 6. ppm SO <sub>2</sub>
Precisión	Oxígeno (calibración automática) +/- 0.6% Monóxido de Carbono (calibración de fábrica) +/- 5% lectura Temperatura +/- 1% toda escala Óxidos de Nitrógeno (calibración de fábrica) +/- 5% lectura Dióxido de Azufre (calibración de fábrica) +/- 5% lectura
Peso	17 lbs
Suministro de energía	120 V
Batería	Batería recargable de 12 -16 h de operación continua.
Bomba	250 mm H <sub>2</sub> O
Tamaño	Caja 46x36x20 cm. Sonda 29 cm. Cable umbilical 6.7 m
Datos de salida	Puerto de transferencia de datos para computador RS 232

Fuente: [www.bacharach.com](http://www.bacharach.com)

## Principio de Operación.

Un flujo de gas es extraído de la chimenea durante un periodo de tiempo, este excita el sensor de la termocupla y atraviesa el conducto de la sonda.

El gas viaja por el cordón umbilical hasta las celdas electroquímicas establecidas para la medición de oxígeno (O<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

El procesador reconoce el pulso eléctrico de las celdas y despliega en las pantallas los valores medidos de cada gas.

La termocupla detecta el incremento de temperatura en los cables de aleación (níquel y cobre), esto se traduce en la magnitud del voltaje generado en la unión de los cables (35

microvoltios por grado centígrado); este incremento de voltaje es reconocido por el procesador que presenta el dato de temperatura en pantalla.

Se reconocen los valores medidos cuando los despliegues en pantalla son estables. Se pueden imprimir inmediatamente los resultados activando la impresora.

#### **2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE MEDIDOR DE NÚMERO DE HUMO TESTO.**

El medidor de número de humo Testo es una bomba que compara el contenido de humo en un flujo de gas.

El mejor indicador para detectar combustión incompleta, es el humo. Una combustión incompleta, además de ser un factor de contaminación ambiental, nos presenta depósitos de hollín en la caldera, los cuales bajan la eficiencia de las superficies de transferencia de calor de la caldera, y por lo tanto de la caldera.

El hollín es un aislante excelente, por lo cual una pequeña capa de hollín, se traduce en una significativa baja de eficiencia y como resultado un mayor gasto de combustible.

#### **Componentes del Equipo.**

La bomba de humo Testo tiene los siguientes componentes:

- Set de la bomba de humo.
- Sonda.
- Papel filtro.
- Escala de humo.
- Aceite lubricante.

## Especificaciones del Equipo.

**Tabla 2.3. Especificaciones técnicas del Testo Smoke Pump.**

<b>Parámetro</b>	<b>Características</b>
Rangos de medida	Número de humo 0 – 10
Precisión	Muestra del flujo en el filtro 1.63 +/-0.07 dm <sup>3</sup>
Peso	500 g. aprox.
Bomba	Potencia y presión manuales
Tamaño	Set Sonda Filtros

Fuente: Manual del Testo Smoke Pump

## Principio de Operación.

En la cabeza de la bomba existe una ranura, en la que se coloca el papel filtro y se ajusta. Se posiciona la sonda en el punto de muestreo y se la inserta dentro del flujo de gas, procurando llegar al punto medio del flujo.

Con la palanca de succión se realizan por lo menos 10 pulsos de succión para obtener la muestra deseada. Una vez realizada esta operación se debe retirar la sonda del punto de muestreo y luego se procede a retirar el filtro de la abertura. Se deben tomar al menos tres muestras del mismo flujo para determinar el número de humo específico.

Las muestras que permanecen en los filtros son comparadas con la escala de humo, la cual nos permite comprobar el número de humo del gas muestreado con diez diferentes tonalidades de gris. El valor de gris que más se asemeja al color de la muestra indica el número de humo.

### **2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE PARTICULADO MINITREN DE MUESTREO M9096 THERMOANDERSEN.**

El M9096 es un equipo portátil, ligero para el muestreo isocinético de partículas en fuentes fijas. Cumple con los requerimientos de la norma UNE-ISO 9096 (Emisión de fuentes estacionarias. Determinación manual de la concentración másica de partículas). La EPA lo ha aprobado como un instrumento apto para cumplir con el Método 17.

Funciona en conjunto con el lector de velocidades en chimenea Thermo Andersen Air Velocity Data Logger, el cual es operado por un microprocesador y se emplea para determinar el perfil de velocidades en una chimenea. También mide la presión barométrica, presión estática en la chimenea, la diferencia de presiones del ducto y la temperatura ambiente.

Todos los datos son registrados puntualmente, y pueden ser graficados en la pantalla para dar un panorama instantáneo de la velocidad, muy útil en los muestreos isocinéticos.

#### **Componentes del Equipo.**

El minitren M9096 está auto contenido en un estuche que protege una consola con los siguientes elementos:

- Medidor integral de flujo.
- Un regulador de flujo.
- Un rotámetro
- Una bomba.

En la parte externa a la consola se hallan:

- Cuatro boquillas de muestreo.
- Cables de poder de conexión eléctrica.

Fuera del estuche el equipo incluye los siguientes componentes externos:

- Un tubo Pitot tipo Estándar (STD).
- Porta filtro.
- Tubo contenedor de sílica gel.

- Una manguera para la conexión del tubo Pitot tipo Estándar con la consola.

El lector de velocidades Westech Profile Datta Logger consiste en:

- Un mini operador de pantalla grande LCD.
- Cargador de energía.
- Un tubo Pitot tipo S.
- Una termocupla tipo K adherida al tubo Pitot tipo S.
- Un cable umbilical (3 mangueras), para la conexión del tubo Pitot tipo S al lector de velocidades.

### Especificaciones del Equipo.

**Tabla 2.4. Especificaciones técnicas del M9096.**

<b>Parámetro</b>	<b>Características</b>	
Rangos de medida	Medidor de flujo	2 – 12 Lpm
	Flujo máximo	15 Lpm
Tamaño	Estuche	50x50x20 cm.
	Boquillas	3, 4, 5, 6 cm.
	Cable umbilical	10 m.
	Tubo Pitot tipo Estándar	1.2 m.
	Filtro	47 mm.
Peso	15 Kg.	
Suministro de energía	110 V.	

Fuente: [www.comercialaralco.com/westech.htm](http://www.comercialaralco.com/westech.htm), 2003, 2007

Tabla 2.5. Especificaciones técnicas del Thermo Andersen Air Velocity Data Logger.

Parámetro	Características	
Rangos de medida	Diferencia de presión	0 – 5 mmH <sub>2</sub> O
	Presión Barométrica	0 – 1035 mb absolutos a 20 °C
	Temperatura ambiental	0 – 40 °C
	Temperatura en la chimenea	0 – 999.9 °C
	Número de muestreos	21
	Travesías por muestreo	4
	Puntos de travesía por muestreo	48
Precisión	Diferencia de presión	0.001 mmH <sub>2</sub> O
	Temperatura ambiental	1 °C
	Temperatura en la chimenea	0.1 °C
Tamaño	Westech Profile Datta Logger	
	Tubo Pitot tipo S	1 m
	Termocupla tipo K	100 mm x 3mm.
	Manguera 1 (cable umb.)	1 m (largo) x 0.5m (diámetro)
	Manguera 2 (cable umb.)	1.5 m (largo) x 0.5m (diámetro)
Manguera 3 (cable umb.)	2 m (largo) x 0.5m (diámetro)	
Peso	700 g. aprox.	
Suministro de energía	110 V.	

Fuente: www.westechinstruments.com, 2003, 2007

### Principio y Procedimientos de Operación.

Cualquier clase de muestreo de material particulado sea este sólido o neblina es llevado a cabo correctamente cuando la materia en partículas de la fuente fija es sacada de forma isocinética, para posteriormente, en el caso del método EPA17, ser recogida en un filtro, el mismo que al momento de realizar la medición se encuentra dentro de la chimenea. Ya en el laboratorio, la masa de partículas se determina por gravimetría.

El método EPA 17 no es aplicable a chimeneas que contienen gotas de líquido o que estén saturadas con vapor de agua <sup>[1]</sup>.

### Muestreo isocinético.

Muestreo isocinético significa que la velocidad a la cual se desplazan las partículas en la chimenea es igual a la velocidad por la que se desplazan en la boquilla o tobera <sup>[1]</sup>.

<sup>[1]</sup> Alley, Robert, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Tomo 2, Capítulo 6, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 6.43.

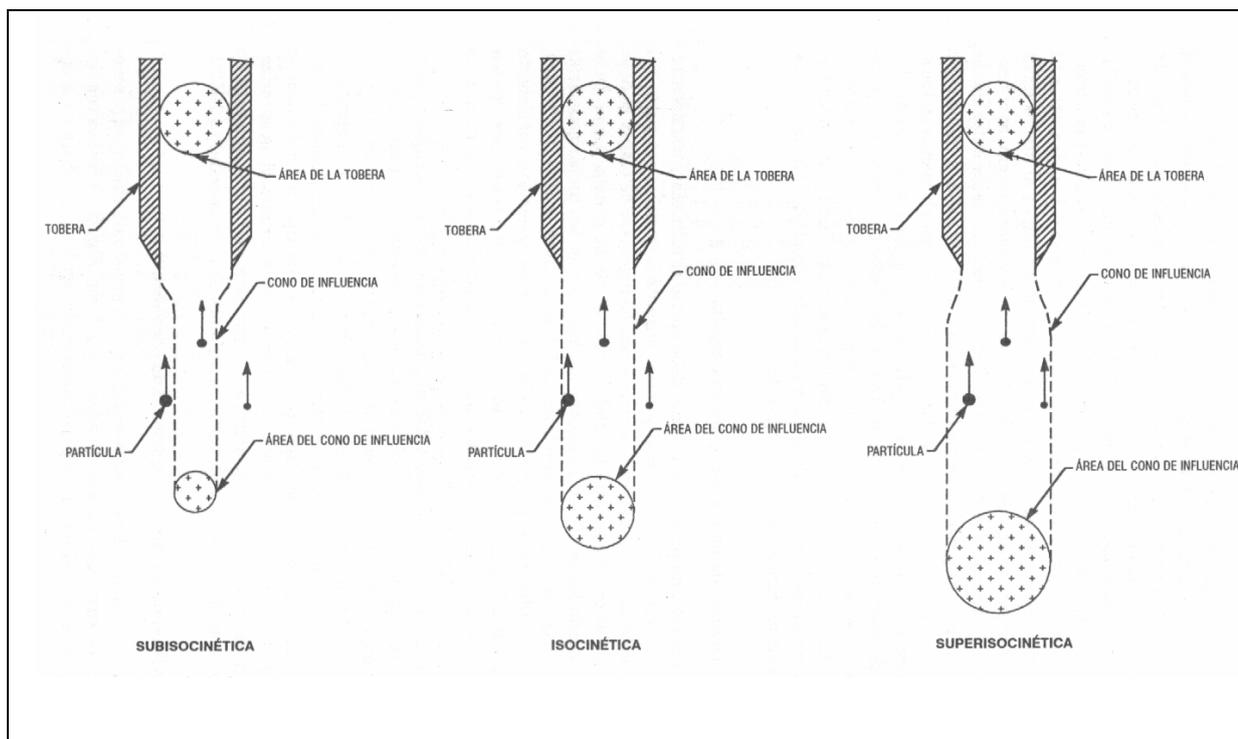
El muestreo isocinético es importante porque de no cumplirse con la condición isocinética, el valor medido, tanto de volumen de gas, humedad en el flujo de gas y cantidad de partículas no será el real. Si el muestreo se realiza superisocinéticamente, es decir, cuando la velocidad en la boquilla es mayor a la de la chimenea, implicará que la concentración de partículas este por debajo de la concentración real, y si el muestreo es subisocinético, es decir, lo inverso al superisocinético, entonces la concentración de las partículas estará por encima de las reales.

Que el muestreo se realice isocinéticamente implica que las partículas no experimenten ningún cambio en las fuerzas al moverse dentro de la chimenea y a través de la boquilla. Si por ejemplo el muestreo se realiza superisocinéticamente, el ancho de la columna de gas absorbido será mayor al diámetro de la boquilla por lo que las partículas verán forzado su camino a través de ella y la masa recolectada será menor a la masa verdadera. Para un mejor entendimiento visualizar la Figura 2.3.

Para obtener una medición representativa e isocinética de las emisiones de contaminantes y/o los caudales de una fuente estacionaria, se selecciona un sitio de medición en la chimenea en donde la corriente fluye en una dirección conocida y en forma laminar. De acuerdo al diámetro de la chimenea se ubican en la sección transversal de la misma un número de puertos de muestreo que pueden variar de uno a cuatro, y se calculan las ubicaciones de los puntos de travesía para cada puerto.

---

[1] Alley, Robert, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Tomo 2, Capítulo 5, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 5.3 y 5.4.

**Figura 2.3. Cono de influencia en relación con la boquilla o tobera.**

Fuente: Alley, Robert, and Associates Inc, *Manual de control de la calidad del aire*, Tomo 2, Capítulo 5, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág 5.5.

Con el lector de velocidades se obtienen datos preliminares de presión, temperatura y controles de velocidad del flujo, con los cuales se determina principalmente el tamaño de boquilla, el tiempo y el volumen estimado a muestrearse.

A través del minitren, una muestra de la corriente de gas es extraída por el período de tiempo determinado previamente, de manera que en cada punto de la travesía se utilice la misma fracción de tiempo de muestreo, teniendo en cuenta que el flujo es controlado.

El material particulado de la muestra de gas es separado del flujo mediante un filtro pesado previamente, el cual una vez concluido el muestreo es desecado y vuelto a pesar.

El incremento del peso del filtro es atribuido al material particulado colectado en el muestreo, el cual sirve para calcular la concentración de material particulado de la fuente en estudio.

Posterior a la toma de muestra, se determinará el contenido de humedad mediante el incremento de peso en el contenedor del tubo Pitot STD llenado con sílica gel.

Las medidas del muestreo serán válidas únicamente cuando cumplan con los siguientes puntos:

- La corriente de gas dentro de la chimenea en el sector donde se realiza la toma de muestra tiene una velocidad estable y homogénea.
- El muestreo es llevado a cabo sin ningún tipo de interrupciones, con la boquilla correctamente ubicada dentro de la chimenea en relación al flujo y bajo condiciones de isocinetismo.
- Las muestras serán tomadas en diferentes puntos seleccionados previamente y en un mismo plano de toma, con el fin de cumplir con una distribución heterogénea del material particulado presente en la chimenea.
- El equipo de muestreo deberá ser probado antes de realizar la medición, verificando que el mismo no contenga ningún tipo de fuga.

## **2.5 MÉTODOS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.**

### **2.5.1 INTRODUCCIÓN.**

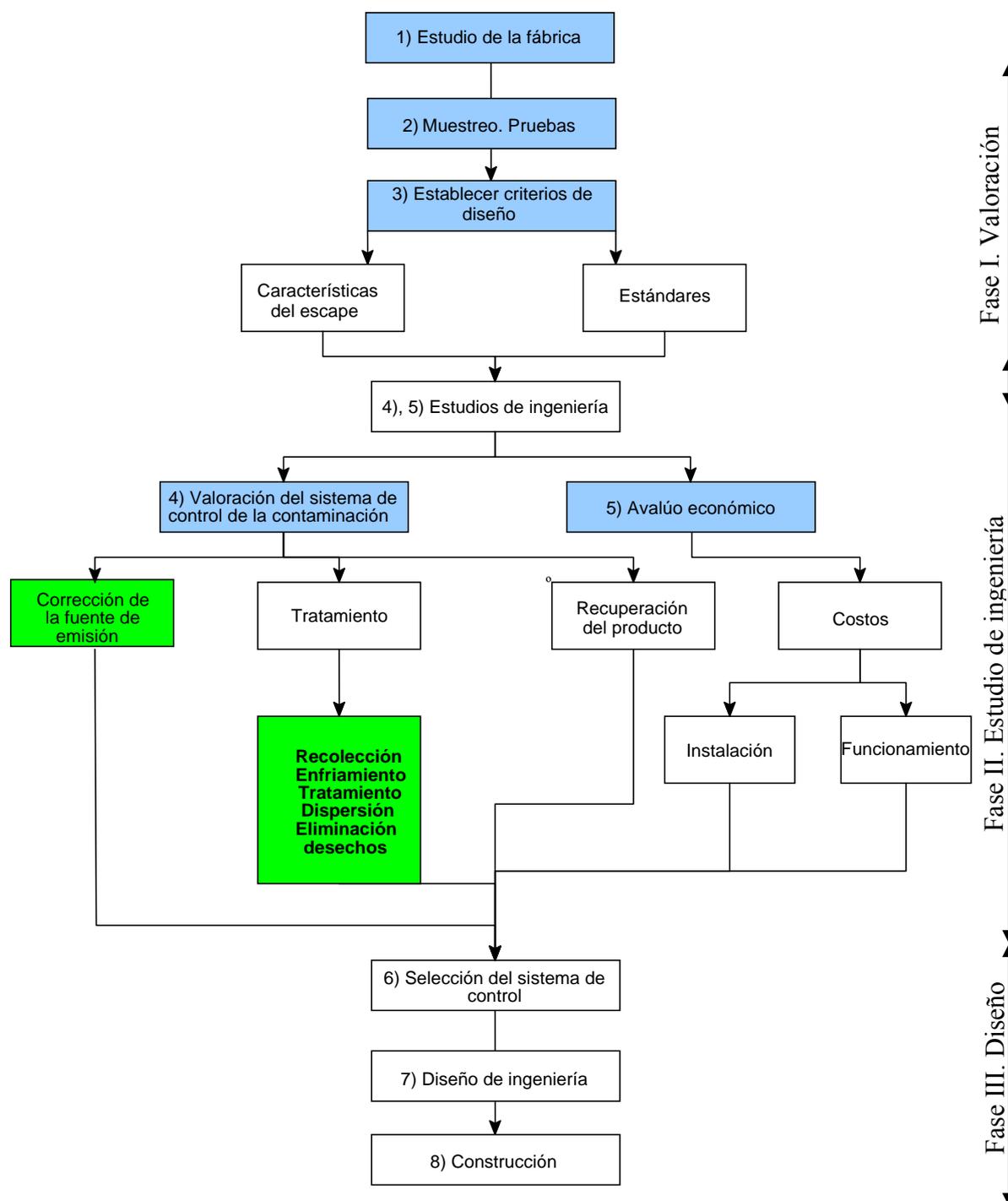
En el Ecuador se han creado normas que controlan y limitan la cantidad de emisiones gaseosas y material particulado, contaminantes provenientes de las industrias. Esto a generado un aumento del compromiso de la industria con el medio ambiente y a la legislación vigente, por ello el monitoreo de estas emisiones y la verificación de que cumplen con las normas nacionales o locales resulta de crucial importancia. Mediante los resultados de los monitoreos, se puede apreciar si las industrias cumplen o no con los parámetros establecidos en las legislaciones. En algunos casos, las tasas de emisión sobrepasan los límites permisibles.

Este problema se puede ver reducido al implementar sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas y material particulado a la atmósfera, lo cual de acuerdo a nuestras leyes, se constituye como una obligación para las entidades que tengan este inconveniente. Existen varios métodos de tratamiento de emisiones gaseosas y de partículas, específicos para cada parámetro en cuestión, que pueden funcionar según las características de la fuente de emisión. Para implementar alguno de estos métodos de tratamiento es necesario un estudio técnico, económico y social, que permita escoger de la manera más adecuada el sistema de control de emisiones.

### **2.5.2 VALORACIÓN DE LAS POSIBLES MEDIDAS CORRECTIVAS.**

El diseño de un sistema de tratamiento de las emisiones contaminantes a la atmósfera en una industria, implica una investigación de todo el sistema, principalmente de la fuente de emisión y el escape a la atmósfera, para lo cual se requiere seguir siete procesos principales, descritos en la Figura 2.4.

Figura 2.4. Pasos para la instalación de un sistema de control de la contaminación del aire.



Fuente: Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, , Capítulo 6, 1ª Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 317.

Al inicio, el estudio se debe centrar en la corrección de la materia prima y los procesos e instrumentos existentes para tratar la materia prima, ya que existe la probabilidad de que mejorando los procesos iniciales, se llegue a encontrar una solución

para las emisiones de contaminantes. Cuando estas soluciones no dan los resultados esperados, se concluye que se debe realizar un tratamiento a los contaminantes.

Las casillas de color verde indican algunas de las posibles mejoras o tratamientos dentro del sistema de una industria. Para la realización adecuada de un plan de control de la contaminación, es fundamental recopilar todos los datos que se obtendrán principalmente en el estudio de la fábrica, en los muestreos, en los criterios para el diseño de las mejoras y en la valoración del sistema de control de la contaminación, es decir los pasos 1), 2), 3), 4) y 5) de la Figura 2.4, los cuales se encuentran de color celeste y que se describen a continuación.

*Estudio de la fábrica.*- Se lo realiza con el fin de:

- Definir cuál es el problema de contaminación.
- Establecer posibles soluciones preliminares.
- Valorar los parámetros de control, para según esto saber cuánto tendremos que disminuir la contaminación.
- Desarrollar un programa de control de la misma.
- Obtener datos extra de la fábrica.

Se logra cumplir con estos puntos al analizar el local de la fábrica, la meteorología y topografía del sector, la comunidad que les rodea y las reglas de control locales aplicables.

*Reunión de datos y pruebas.*- Es uno de los pasos más importantes, ya que permite elegir correctamente el método de tratamiento a utilizar.

Sin embargo, los resultados que obtenemos aquí representan condiciones promedio, por lo que siempre existirá cierto grado de incertidumbre con los métodos de control escogidos.

En este proceso se realizan pruebas en la chimenea, que incluyen el análisis del contenido de gases y material particulado que por aquí se emiten, además de los respectivos parámetros que estos estudios conllevan, como lo son el volumen de flujo, temperatura, presión, entre otros.

*Establecimientos de criterios para el diseño del sistema de control.*- Los criterios de diseño se realizan mediante el análisis de los dos pasos anteriores, para tomar decisiones que permitan mediante el sistema de control a escoger, bajar los niveles de emisión hasta el límite permitido por la norma.

*Valoración del sistema de control de la contaminación.*- Estos sistemas presentan algunas alternativas de solución, las cuales pueden estar presentes en diferentes fases de la fuente de emisión, que se mencionan a continuación de manera general:

- Corrección de la fuente de emisión: Incluye cambios en el funcionamiento de la fuente, materia prima e incluso del equipo fuente. Adicionalmente se puede tratar parámetros como la temperatura y humedad.
- Sistema colector.- Son todos los sistemas para la recolección de material particulado.
- Tratamiento del escape.- Este parámetro abarca la mejora en el diseño del sistema de escape y su ventilación.
- Sistema absorción u adsorción.- Aquí encontramos los sistemas de captura de gas en base húmeda o en base sólida.

Dentro de estas alternativas encontramos un sinnúmero de soluciones a escoger por los ingenieros, de acuerdo a los distintos limitantes que tiene la fábrica, el caldero, el instrumental o las características físico - químicas de los contaminantes, y de esta forma observar la factibilidad que tiene el sistema o los sistemas de control escogidos preliminarmente.

Una vez hecho esto, se valida la alternativa mediante un *avalúo económico*, y de aprobarse, se procede al diseño y construcción del método de control.

Independientemente de qué tecnología se utilice, las formas de controlar los contaminantes emitidos en fuentes fijas de combustión son: eliminando o reduciendo la

producción de agentes contaminantes, o la eliminación de los contaminantes una vez que ya se han producido <sup>[1]</sup>.

El control de los contaminantes emitidos en fuentes fijas de combustión, es posible gracias a métodos que se basan en métodos de absorción y adsorción.

### **Absorción.**

La absorción es un proceso físico o químico en el cual una sustancia o algún componente de ella, pasan a formar parte de otra sustancia (absorbente), incorporándose al volumen de la última.

En el caso de la absorción de contaminantes en fuentes fijas de emisión, este proceso remueve de la corriente de gas de escape al agente contaminante, a través de un absorbente húmedo (Ej. soluciones alcalinas) . Ya que la corriente de gas está conformada en su mayor parte por aire, el cual es relativamente insoluble, por ello la absorción de agentes contaminantes es objetiva <sup>[2]</sup>.

### **Adsorción.**

La adsorción es un proceso físico o químico en el cual una sustancia o algún componente de ella, queda atrapada o retenida en la superficie de un material (adsorbente), sin incorporarse al volumen de la última.

Al aplicar este concepto a los contaminantes en fuentes fijas de emisión, se propone que un agente contaminante determinado quede retenido en la superficie de un sólido poroso no saturado (Ej. sílica gel, carbón activo).

---

[1] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 378.

[2] Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 20, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 20.1.

### 2.5.3 CONTROL DE EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.

Existen varias metodologías para controlar las emisiones de CO en fuentes fijas, pero todas apuntan a conseguir una combustión completa, ya que la mayor producción de CO se genera cuando esta condición no se cumple. Una de las opciones más sencillas para obtener una mejor combustión, es el aumento del exceso de aire en la fuente, pero esto puede traer implicaciones en el aumento de las emisiones de NOx.

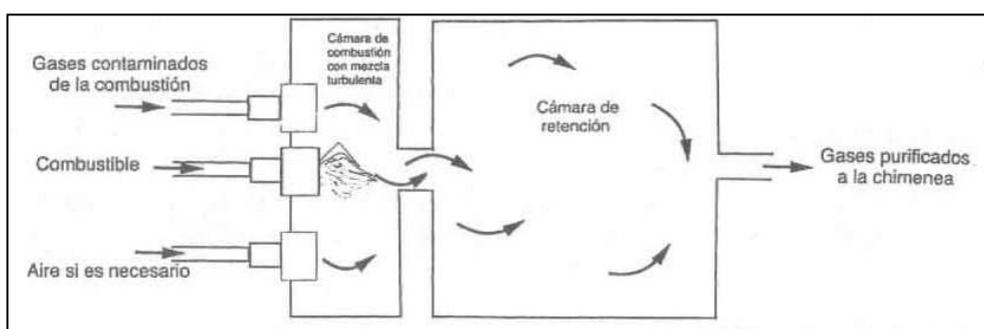
Las metodologías de control de CO más comunes se describen a continuación:

#### Incineración por llama directa.

Este proceso es posible cuando la cantidad de gases residuales es alta, y para llevar a cabo esta incineración, se encuentran temperaturas de alrededor  $1300^{\circ}\text{C}$  <sup>[1]</sup>.

Los gases residuales se queman en una combustión directa, pero debido a la alta temperatura de esta operación, se produce la formación de óxidos de nitrógeno. Un esquema de este incinerador se halla en la Figura 2.5.

Figura 2.5. Esquema de un incinerador térmico simple.



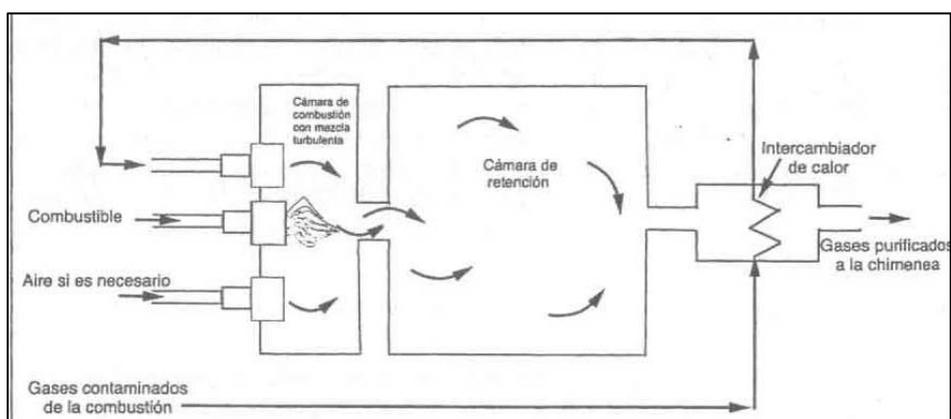
Fuente: Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1ª Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 380.

[1] C. Orozco, A. Pérez, M. Gonzáles, F. Rodríguez, J. Alfayate, *Contaminación Ambiental*, Madrid, 2003, pág 379.

### Incineración Térmica.

Los gases residuales se precalientan en un intercambiador de calor y se llevan a una zona de postcombustión, donde se queman completamente agregando combustible, como se observa en la Figura 2.6. Este método se emplea cuando la cantidad de gases residuales es baja, y se requieren temperaturas entre  $550^{\circ}$  y  $850^{\circ}$  C <sup>[1]</sup>.

**Figura 2.6. Esquema de un incinerador térmico con precalentamiento.**



Fuente: Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1ª Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 380.

### Incineración Catalítica.

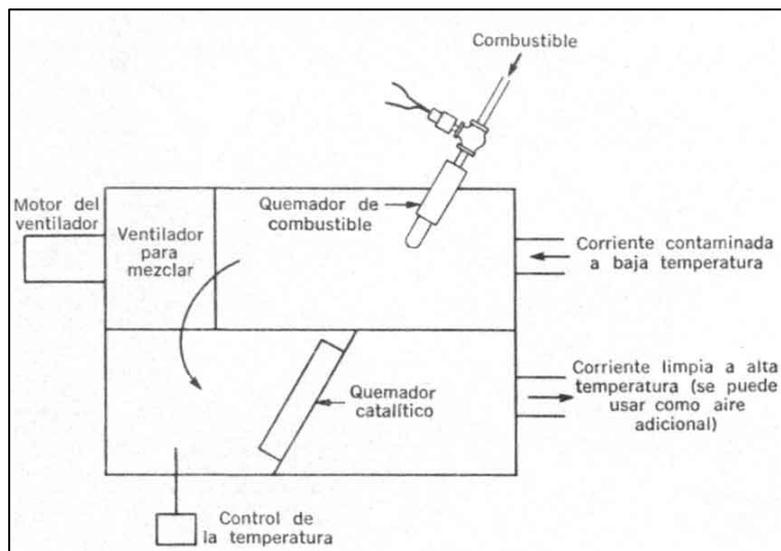
Este método es muy eficiente, y llega a trabajar a temperaturas más bajas, en el orden de  $225^{\circ}$  y  $340^{\circ}$  C <sup>[2]</sup>. Los gases a incinerar pasan por un lecho catalítico de platino o paladio, sobre soportes de aluminio, que provoca la aceleración de la tasa de reacción.

La Figura 2.7 presenta un esquema de un incinerador catalítico.

<sup>[1]</sup> C. Orozco, A. Pérez, M. Gonzáles, F. Rodríguez, J. Alfayate, *Contaminación Ambiental*, Madrid, 2003, pág 380.

<sup>[2]</sup> C. Orozco, A. Pérez, M. Gonzáles, F. Rodríguez, J. Alfayate, *Contaminación Ambiental*, Madrid, 2003, pág 381.

Figura 2.7. Esquema de un incinerador catalítico.



Fuente: Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, , Capítulo 9 , 1º Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 510.

#### 2.5.4 CONTROL DE EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.

La reducción de las emisiones de  $\text{NO}_x$  en fuentes fijas se la puede llevar a cabo controlando la combustión (origen de la formación de  $\text{NO}_x$  al reaccionar  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$  a medida que se eleva la temperatura) o tratando el gas residual de la combustión.

##### Control de la combustión.

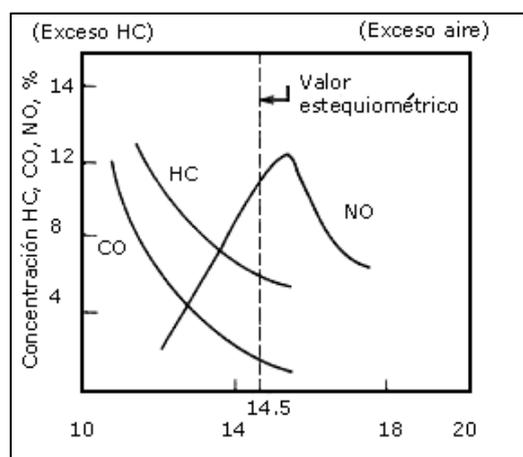
Para controlar la combustión en una fuente fija, con el objetivo de reducir los óxidos de nitrógeno, existen varios métodos a emplearse, los cuales son:

- *Reducción del exceso de aire.*- El exceso de aire significa un incremento de la cantidad de aire que se necesita para que se quemé completamente el combustible. Debido a que la mezcla aire - combustible es de difícil determinación exacta, siempre se deja un exceso de aire para asegurar que el combustible se consuma en su totalidad. De todas formas, este exceso de aire contribuye a que se formen grandes cantidades de  $\text{NO}_x$ , de allí que el reducir esta cantidad de aire, disminuye

significativamente la tasa de emisión. Es importante recalcar que el inconveniente de esta metodología es que, al reducir el exceso de aire, se está creando el ambiente propicio de formación de CO, ya que se atenta contra una combustión completa. Por ello es necesario un estudio minucioso de las cargas contaminantes presentes en el gas residual, para determinar la cantidad de exceso de aire que equilibre la producción de NO<sub>x</sub> y CO (Figura 2.8).

Este método es muy efectivo, reduciendo hasta un 70% de óxidos de nitrógeno, disminuyendo el exceso de aire entre el 5 y 10% <sup>[1]</sup>.

**Figura 2.8. Concentración = f (Relación aire / combustible en peso).**



Fuente: Aplicaciones Industriales, [www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3](http://www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3), 2007.

- *Modificación de los quemadores.*- Las modificaciones están orientadas a reducir la temperatura de combustión y las concentraciones de oxígeno en la zona de llama viva.
- *Combustión en dos etapas.*- La primera etapa de combustión se la hace a alta temperatura y poco aire; la segunda etapa completa la combustión con baja temperatura y mucho aire.

<sup>[1]</sup> Alley, R., and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 25, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 25.5.

- *Recirculación de los gases de combustión.*- Una parte del flujo de gas se reinyecta a la zona de combustión, reduciendo la temperatura y el nivel de oxígeno.
- *Inyección de agua.*- Se inyecta agua o vapor de agua en el flujo de gas, disminuyendo la temperatura de combustión, y por consiguiente, los NO<sub>x</sub> térmicos.

Existen varios tipos de rediseño de quemadores y nuevos equipos que son prácticos para calderas pequeñas y medianas, que cumplen con algunos de los métodos descritos anteriormente.

### **Tratamiento del gas residual de la combustión.**

Este tratamiento se lo puede hacer en base seca o en base húmeda.

#### Tratamientos en Base Seca.

- *Reducción Catalítica Selectiva .-* El agente reductor es el amoníaco (NH<sub>3</sub>), y el catalizador puede ser óxido de titanio, vanadio o platino. Los gases de combustión se mezclan con el agente reductor y entran a un módulo reactor que contiene un catalizador. Los gases de chimenea calientes y el reactivo se difunden a través del catalizador. El amoníaco reacciona selectivamente con el NO<sub>x</sub> dentro de un rango de temperatura específico y en presencia del catalizador y oxígeno.

El catalizador permite que las reacciones se presenten sin la necesidad de temperaturas muy elevadas, y debilita la energía de activación del enlace nitrógeno – oxígeno, entonces el amoníaco reduce los óxidos de nitrógeno a N<sub>2</sub>. El oxígeno presente en estos procesos activa las reacciones, como se muestra en las reacciones:

[1]



---

[1] Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Tomo 2, Capítulo 25, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 25.15.

Se debe tener cuidado de observar el estado del catalizador, ya que si éste se termina, el  $\text{NH}_3$  no reacciona en su totalidad y empieza a emitirse a la atmósfera.

- *Reducción catalítica no selectiva.*- Los agentes reductores pueden ser hidrocarburos como el metano, o también hidrógeno o monóxido de carbono; como catalizador, usualmente, se utiliza los óxidos del grupo del platino. El agente reductor reacciona con los  $\text{NO}_2$ , reduciéndolos a  $\text{NO}$ , y a su vez, reduce los  $\text{NO}$  a  $\text{N}_2$ , y actúa también sobre el  $\text{O}_2$ , (de allí que este método no es selectivo); esto permite que exista un consumo notable del agente reductor, ya que, al ser un hidrocarburo, al final se registra la formación de  $\text{CO}_2$ .
- *Reducción no catalítica.*- Este método es apropiado para fuentes con temperaturas elevadas ( $1000^\circ \text{C}$ ), por lo cual no es necesario un catalizador para que empiecen las reacciones. El agente reductor es urea o amoníaco, el cual a temperaturas elevadas favorece a la reducción de  $\text{NO}_x$ , por lo que este método también es de carácter selectivo. Se presentan algunos inconvenientes al utilizar este método, como el estricto control de la temperatura, ya que si se calienta demasiado el  $\text{NH}_3$  se oxida a  $\text{NO}$ , y si se enfría demasiado el  $\text{NH}_3$  no reaccionará en su totalidad y el sobrante se emite a la atmósfera.
- *Irradiación.*- Este proceso también es válido para reducir  $\text{SO}_x$  y partículas. El gas de combustión se irradia con un haz electrónico, después de disminuir la temperatura, humectando el gas, y de adherir amoníaco al flujo de gas. Esto permite la formación de nitratos y sulfatos amoniacales, los cuales sirven como fertilizantes, que son recogidos posteriormente en un saco.

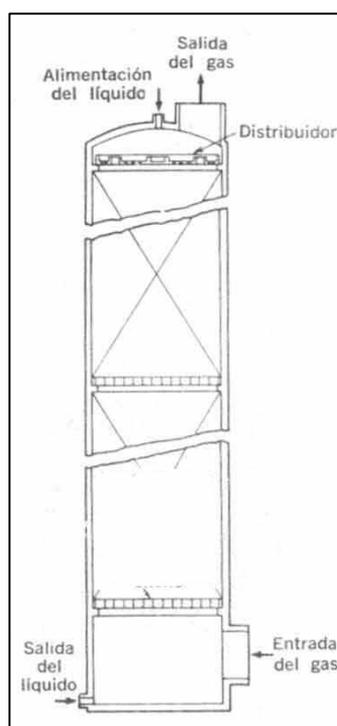
### Tratamientos en Base Húmeda.

El tratamiento en base húmeda corresponde a métodos de absorción con diferentes absorbentes. Estos procedimientos tienen el inconveniente de trasladar los contaminantes en fase gaseosa a fase acuosa, al aumentar la cantidad de nitratos y nitritos <sup>[1]</sup>.

Existen tres métodos distintos de reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> por vía húmeda:

- *Absorción directa.*- El absorbente es el acetato de sodio, el que debe estar en una relación alta con el gas de combustión, lo que obliga a la construcción de torres de absorción grandes (Figura 2.9).

**Figura 2.9. Torre de absorción típica.**



Fuente: Ross, R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 9, 1<sup>o</sup> Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 482.

- *Absorción con agentes complejantes.*- Agentes complejantes, como el ácido etilendiaminotetraacético, absorben directamente el NO. Luego, el complejo se descompone formando N<sub>2</sub>.

[1] Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1<sup>o</sup> Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 384.

- *Absorción con soluciones salinas acuosas.*- Los absorbentes pueden ser hidróxidos de sodio o magnesio. Para que estos compuestos cumplan su trabajo, el NO debe ser oxidado a NO<sub>2</sub>. Estos agentes oxidantes pueden ser dióxido de cloro u ozono.

### **2.5.5 CONTROL DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.**

Existen varios métodos para el control del azufre que se emite a la atmósfera, sin embargo la EPA da mayor importancia a la desulfuración del gas, debido a que ésta es la forma más eficiente de reducción.

De manera general los métodos para desulfurar el gas comprenden el uso de soluciones alcalinas (lechada), que mediante el uso de un depurador y agua, remueven de una manera muy eficiente el SO<sub>2</sub>.

Las tecnologías de reducción de SO<sub>2</sub> se clasifican en sistemas para tirar, es decir que se desecha la solución de depuración sin la obtención de ningún producto extra, y sistemas para regenerar en donde la solución de depuración se regenera. Además se obtiene un producto que se puede volver a usar o disponer de él.

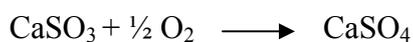
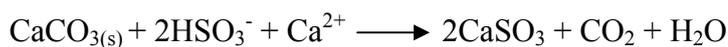
#### Sistemas para Tirar.

#### **Depuración con piedra caliza/cal.**

Procedimiento que utiliza una torre de aspersion de lechada de piedra caliza (Figura 2.10) la cual se pone en contacto con el gas de combustión y produce sulfito de calcio (CaSO<sub>3</sub>) y sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>) de acuerdo con las siguientes reacciones <sup>[1]</sup>:

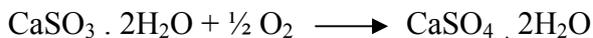
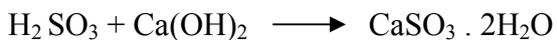
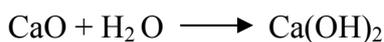
---

[1] Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Tomo 2, Capítulo 26, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.9.



Este sistema es económicamente viable debido a que existe abundante materia prima disponible.

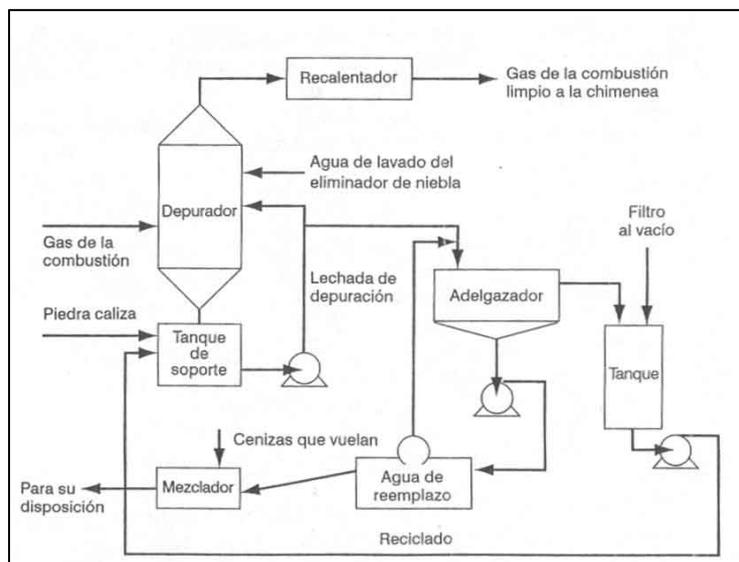
El proceso que utiliza cal es semejante al de piedra caliza, con la ventaja de que la cal es más reactiva y la lechada que produce es más fácil de eliminar, sin embargo es más costoso. La lechada de cal reacciona con el  $\text{SO}_2$  de acuerdo a las siguientes reacciones <sup>[1]</sup>:



Estos métodos presentan interferencias durante el proceso debido a la formación de incrustaciones de yeso, los cuales pueden provocar una pérdida excesiva de tiempo para la limpieza y el mantenimiento.

---

[1] Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.1.

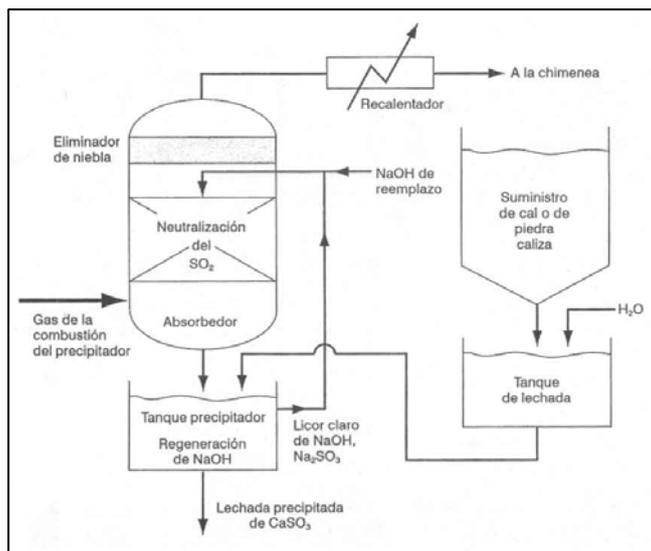
**Figura 2.10. Sistema de Depuración con piedra caliza/cal.**

Fuente: Alley, R, and Associates Inc, Manual de Control de la Calidad del Aire, Capítulo 26, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.9.

### Proceso de álcali dual.

Es un proceso similar al de depuración con piedra caliza o cal, la diferencia está en que los problemas de incrustaciones son eliminados en un depurador. Para lograr la depuración se emplea un agente alcalino, como el sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) para absorber el  $\text{SO}_2$  ya neutralizado con la lechada de cal, para posteriormente precipitar en varios compuestos que son regenerados (separación líquido/sólido) o precipitados nuevamente para su posterior desecho (Figura 2.11).

El procedimiento tiene un costo elevado y presenta problemas para la separación líquido sólido.

**Figura 2.11. Proceso de álcali dual.**

Fuente: Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.12.

### Proceso de depuración con agua de mar de Bechtel.

Para este procedimiento se añade un álcali (mezcla de cal y piedra caliza) al agua de mar, de forma tal que el magnesio que se encuentra en forma natural en el agua de mar reaccione con la mezcla alcalina para producir hidróxido de magnesio, el que absorberá el SO<sub>2</sub> presente en el flujo de gas (Figura 2.12). El procedimiento es ventajoso ya que el magnesio reacciona con rapidez, y la formación de hidróxido de calcio es nula, permitiendo que no se produzcan las incrustaciones de procesos anteriores. El agua resultante del proceso puede regresar sin tratamiento previo a la fuente, debido a que principalmente es agua de mar con concentraciones muy bajas de yeso.

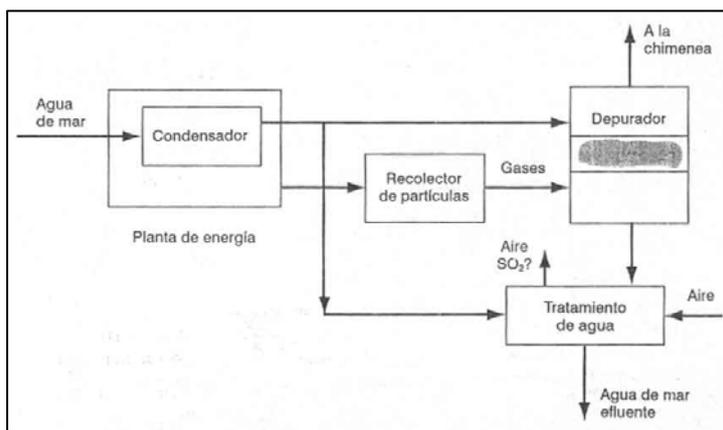
### Proceso de Dowa.

En este caso el SO<sub>2</sub> es removido de la corriente de gas utilizando sulfato básico de aluminio (Al)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en solución acuosa, con un pH de 3 a 4 <sup>[1]</sup>. Posteriormente esta solución se oxida por aire para convertir el SO<sub>2</sub> disuelto en sulfato, mismo que será

[1] R. Alley and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1ª Edición, McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.14.

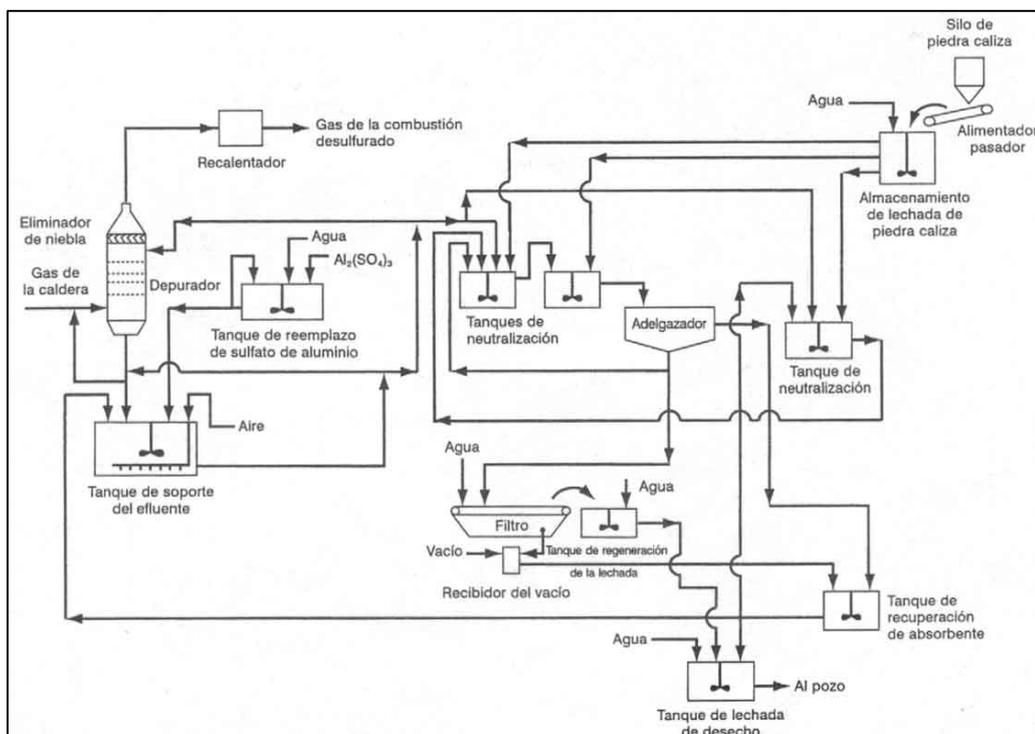
neutralizado con cal o piedra caliza para cristalizar en yeso. Como se observa en la Figura 2.13, el proceso es complejo y se da a pH bajo como se indico anteriormente por lo que el sistema debe estar debidamente adaptado para soportar la corrosión.

**Figura 2.12. Sistema de Depuración con agua de mar.**



Fuente: Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.13.

**Figura 2.13. Proceso Dowa.**



Fuente: Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.15.

### **Secado por aspersión de cal.**

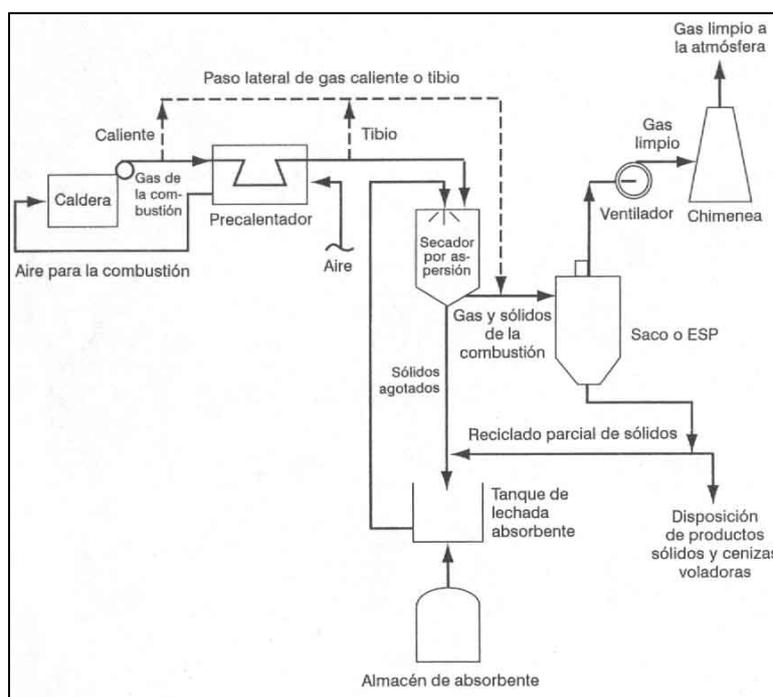
El secado por aspersión de cal es un proceso semiseco, esto debido a que la cal entra en un depurador húmedo, que al hacer contacto con el gas, evapora la humedad, permitiendo que la cal reaccione directamente con el SO<sub>2</sub> para formar un sólido, de manera semejante a como reacciona una lechada. El sólido resultante debe ser eliminado con un sistema de control de material particulado (Figura 2.14).

### **Depuración en seco**

Para realizar esta depuración, se inyecta directamente en la corriente gas caliente con adsorbente seco, como puede ser hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), que recoge el SO<sub>2</sub> presente en el flujo. Este procedimiento tiene como resultado la formación de material particulado que debe ser posteriormente recolectado o eliminado de la corriente de gas mediante el equipo respectivo, que puede ser preferentemente un filtro de tela, ya que las partículas allí atrapadas siguen depurando el gas que atraviesa el filtro posteriormente. Los sistemas de depuración en seco se ven favorecidos porque no requieren de agua, que en otros sistemas, genera desechos líquidos o sólidos que deberán ser tratados. No obstante este método también presenta desventajas, como el uso exclusivo de cal en lugar de piedra caliza. Esto encarece el sistema que aún se encuentra en fase de prueba <sup>[1]</sup>.

---

<sup>[1]</sup> Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.17.

**Figura 2.14. Secado por aspersión de cal.**

Fuente: Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.16.

### Sistemas de Regeneración.

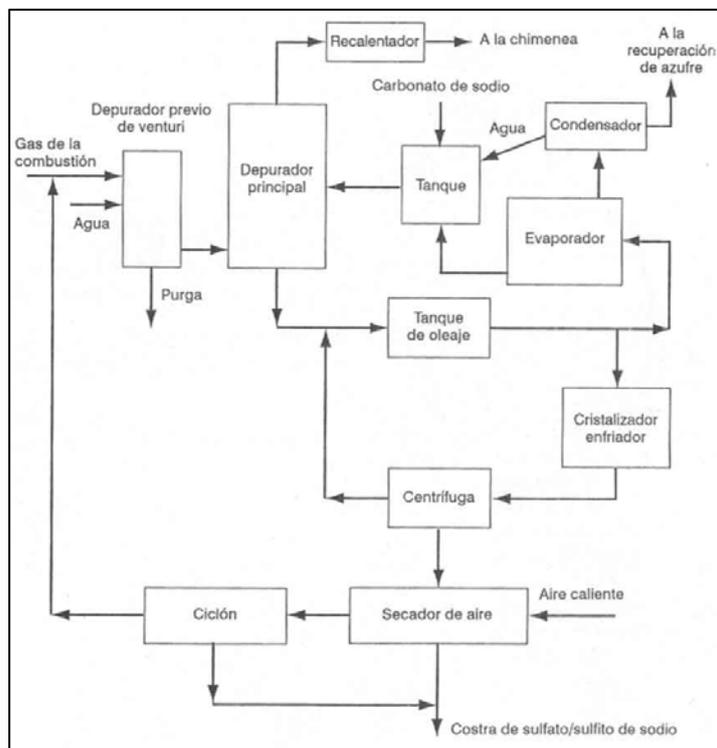
#### **Proceso de Wellman – Lord**

Consiste en varias etapas en donde primero los gases de combustión entran en un sistema de tratamiento que usualmente es un depurador Venturi con medio acuoso, esto con el fin de remover partículas residuales de HCL y  $SO_3$ , las cuales puede interferir en el proceso. En esta etapa también se enfría y humedece el gas lo cual mejora el proceso de depuración final.

Posteriormente se depura el  $SO_2$  añadiéndole sulfito de sodio por dispersión al flujo de gas, formando así bisulfito de sodio; este bisulfito es removido posteriormente en un cristizador/enfriador, de esto se obtiene una lechada que se centrifuga para separar lo sólidos y posteriormente desecharlos, el resto regresa al depurador, pero antes pasa por un cristizador/evaporador en donde el  $SO_2$  es removido y regresa al proceso en forma de cristales de sulfito de sodio; además en este cristizador/evaporador se produce agua la

cual regresa al proceso, y  $\text{SO}_2$  concentrado (Figura 2.15), que puede reducirse a azufre elemental u oxidado para producir ácido sulfúrico.

**Figura 2.15. Proceso Wellman - Lord.**



Fuente: Alley, R, and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Capítulo 26, 1ª Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001, pág. 26.21.

### Proceso de óxido de magnesio

Es similar al proceso de agua de mar de Bechtel, a diferencia este emplea un medio depurador de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  el cual produce sólidos de  $\text{MgSO}_3$  y  $\text{MgSO}_4$  los cuales son centrifugados y separados en forma de cristales, para posteriormente ser calcinados con algún otro agente reductor para generar  $\text{SO}_2$  el cual puede ser utilizado para la generación de azufre o ácido sulfhídrico.

Además de estos sistemas existen otros, pero aún se encuentran en etapas experimentales, o representan costos groseramente elevados, por lo cual no es práctica su mención.

### 2.5.6 CONTROL DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.

La selección de un equipo para eliminar partículas varía según las características físico químicas de las partículas presentes en la fuente, además de la cantidad y la calidad del gas que las arrastra, el contenido de humedad en el gas, la operación continua o intermitente del caldero, etc.

Existen cuatro equipos principales para eliminar partículas que se describen a continuación:

#### **Colectores Mecánicos.**

El peso del material particulado que genera la fuente de combustión es de 1 a 2000 veces el peso unitario de los gases que lo arrastra <sup>[1]</sup>.

Esta diferencia de peso es aprovechada por los colectores mecánicos para separar las partículas más pesadas del gas.

Entre los tipos básicos de colectores mecánicos son:

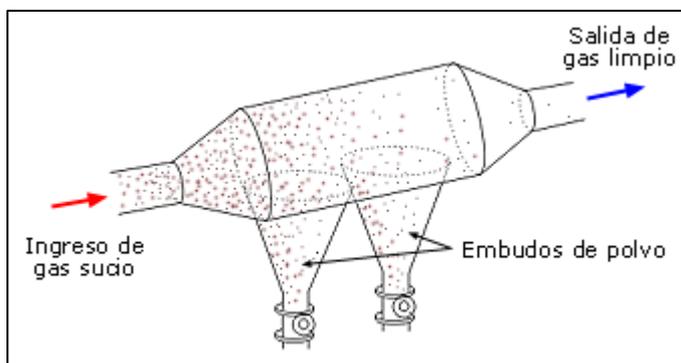
- *Cámara de sedimentación por gravedad.*- Se disminuye la velocidad del gas capaz de transportar partículas, de tal modo que el material particulado, al no tener un medio transportador, se asienta en la tolva de recolección o embudo de polvo (Figura 2.16). Este método sirve para coleccionar partículas medianas y gruesas; su eficiencia disminuye al tratar partículas finas.
- *Colector de recirculación con desviador del flujo.*- El flujo de gas es introducido a alta velocidad por debajo de un desviador horizontal compuesto por varillas separadas entre sí. El flujo de gas da una vuelta al chocar con la pared del colector y sale por las separaciones del desviador, mientras que las partículas, por ser más

---

[1] Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1° Edición, Editorial Diana, México, 1974 pág. 386.

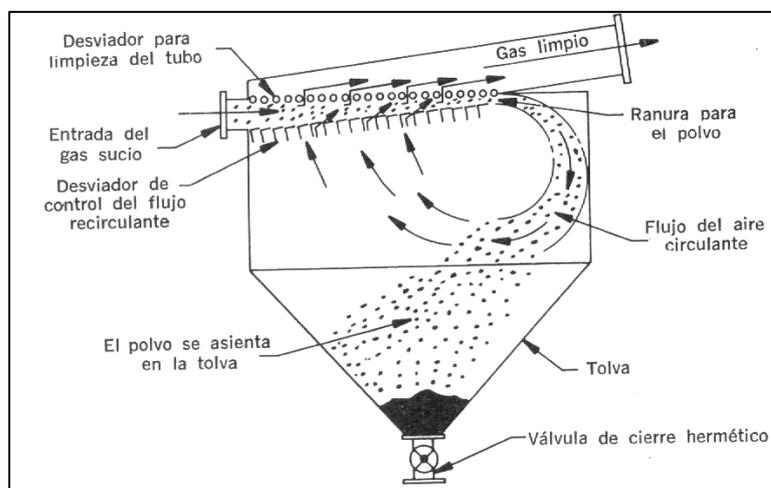
pesadas, son arrastradas por inercia hacia la tolva de recolección, como se puede ver en la Figura 2.17.

**Figura 2.16. Cámara de sedimentación.**



Fuente: Dispositivos de control para emisiones de partículas, www.cepis.ops-oms.org, 2008, 2008.

**Figura 2.17. Colector de recirculación con desviación de flujo.**

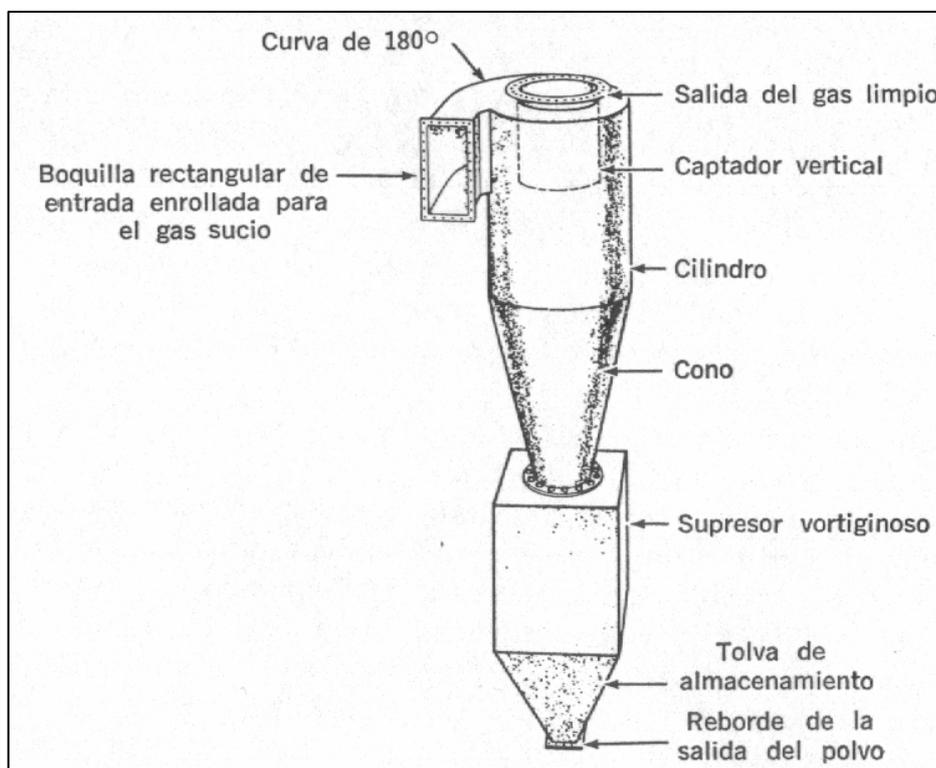


Fuente: Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1ª Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 388.

- *Ciclones de gran eficiencia.*- Un ciclón está formado por un tubo cilíndrico superior, un cono inferior y un tubo telescópico en la parte superior del cilindro. El flujo de gas ingresa al cilindro a alta velocidad y gira de manera descendente en forma de remolino por las paredes del cilindro. El material particulado, al ser pesado, se deposita en el cono inferior por la fuerza centrífuga, y se deposita en una

tolva de recolección. En este punto se forma un remolino ascendente con gas libre de partículas, el cual abandona el ciclón por el tubo telescópico (Figura 2.18).

**Figura 2.18** Ciclón de alta eficiencia.



Fuente: Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1ª Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 401.

### **Filtros de Tejido.**

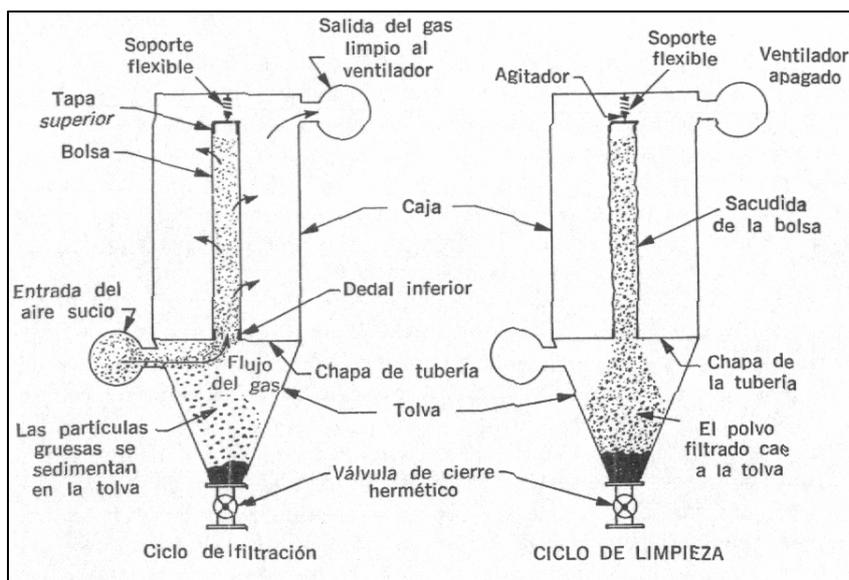
El flujo de gas residual de combustión pasa en una sola dirección a través de un filtro de un paño de tejido o de fieltro. Las partículas quedan atrapadas por el lado de la tela donde choca el aire sucio. El gas pasa entre los intersticios las hebras tejidas de la tela, que generalmente son de 100 micras. Al momento de que el flujo de gas gira para ingresar al filtro, las partículas más grandes se depositan en una tolva (Figura 2.19).

Los filtros pueden llegar a atrapar partículas de hasta 0.5 micras. Esto se debe a que se aglomera una capa frágil y porosa de polvo, la cual bloquea los intersticios más grandes

y atrapa las partículas más finas. Para descargar las partículas, es necesario parar el proceso de la fuente de emisión, para que las partículas caigan a la tolva de recolección. Existe variedad de texturas para la fabricación de estos filtros, en función de la temperatura que deben soportar. Los filtros pueden ser de algodón (hasta 93° C), lana (hasta 93° C), fibra sintética (de 149 a 204° C), y fibra de vidrio lubricada (hasta 288° C) <sup>[1]</sup>.

La velocidad del gas no necesariamente debe ser rápida. Los inconvenientes de este método son el alto costo de sustitución de la bolsa y que no soportan temperaturas muy elevadas.

**Figura 2.19 Cámara con filtro de tela.**



Fuente: Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1° Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 401.

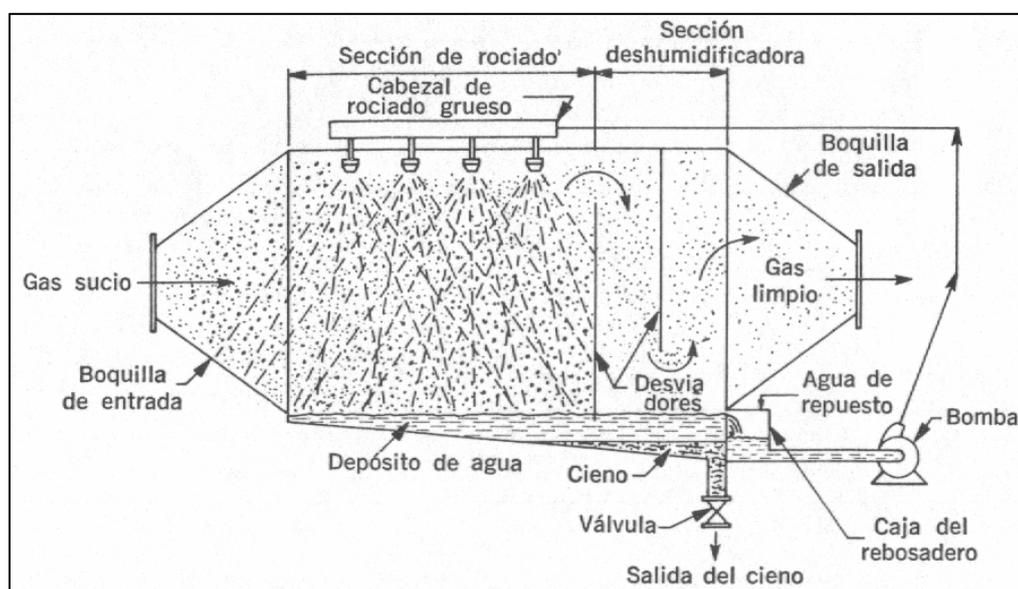
### **Purificadores de aire por vía húmeda.**

Son cámaras lavadoras de sedimentación, las cuales contienen rociadores de líquido captador de partículas, generalmente agua. Los principales purificadores son los siguientes:

<sup>[1]</sup> Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1° Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 409.

- *Cámaras de rociado.*- El flujo de gas ingresa a la cámara disminuyendo su velocidad, y se activan los rociadores. Las gotas de agua capturan las partículas de polvo cuando el gas colisiona, y por efectos de gravedad, el agua con partículas se deposita en el fondo de la cámara. Posteriormente, la mezcla de agua con polvo es sacada del sistema por una válvula. El gas limpio sale por una boquilla hacia la chimenea (Figura 2.20).

**Figura 2.20** Cámara lavadora de sedimentación por gravedad.

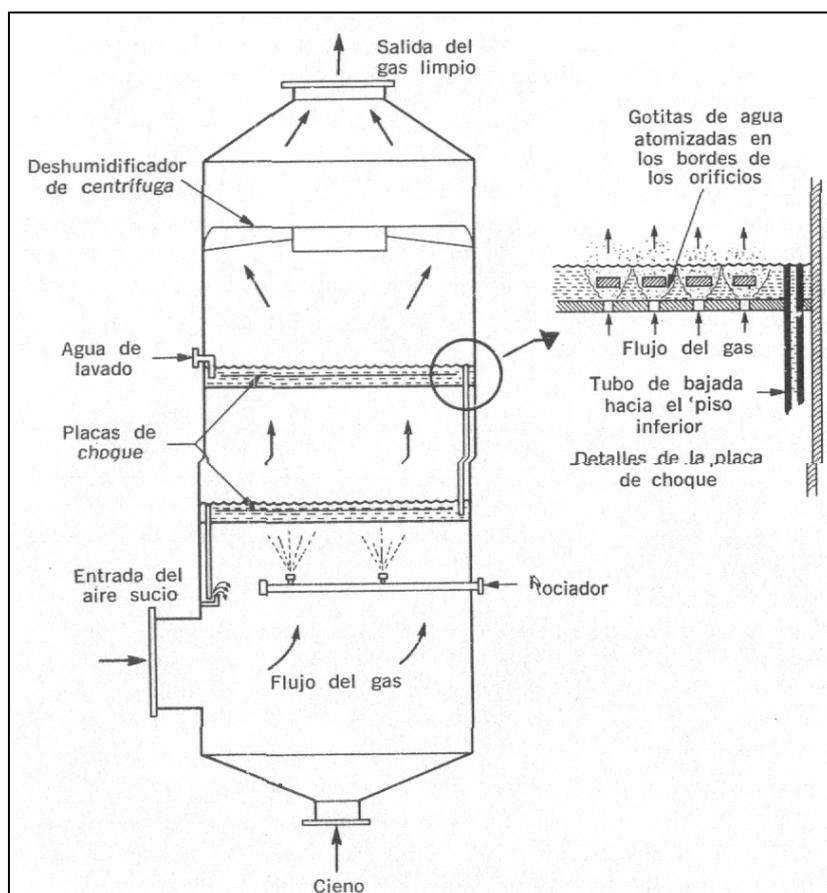


Fuente: Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1ª Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 421.

- *Lavadores de choque con placas desviadoras.*- Este colector de partículas consiste en una o más desviadores mojados, que contienen millares de orificios pequeños por decímetro cuadrado <sup>[1]</sup>, y ubicados en una torre. Como se ve en la Figura 2.21, el flujo de gas pasa por un pulverizador grueso a gran velocidad, luego asciende hacia los orificios de los desviadores de choque inundados. El borde de los agujeros atomiza el líquido, y estas gotas recolectan las partículas. El agua con partículas desciende por rebosaderos y tuberías de desagüe, que van de una placa a la siguiente, hasta salir del sistema por el fondo de la torre. En la parte superior se encuentra un deshumedecedor de las placas, y sobre éste está la abertura por donde sale el gas libre de partículas.

<sup>[1]</sup> Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1ª Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 428.

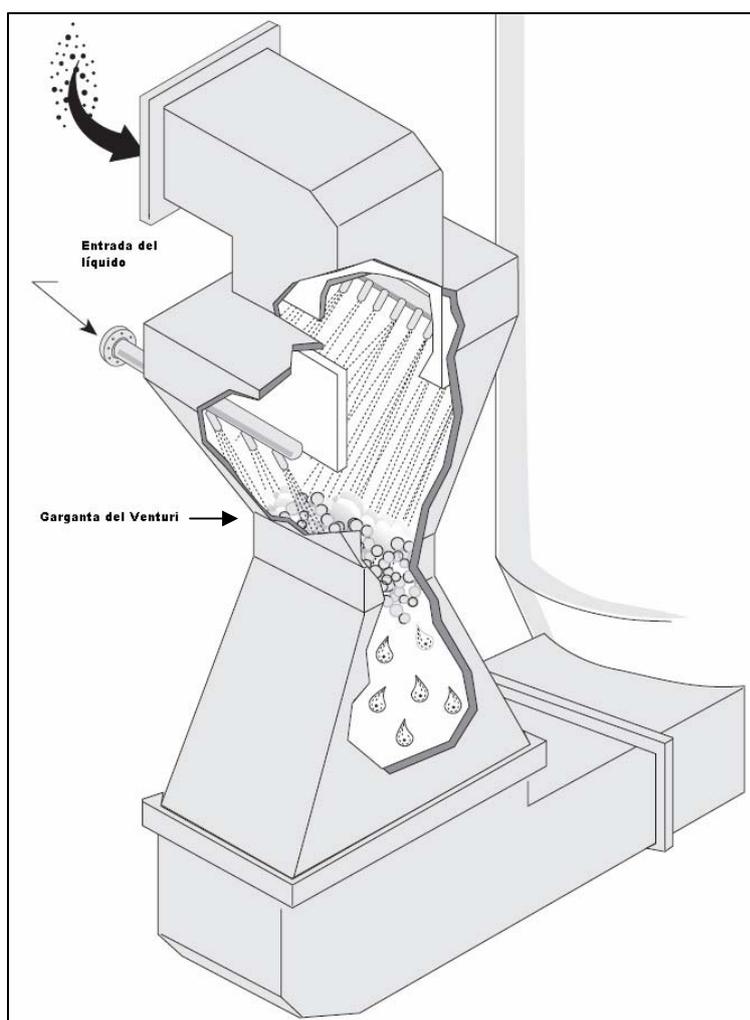
Figura 2.21. Lavador de choque con placas desviadoras.



Fuente: Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1ª Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 428.

- **Lavadores Venturi.**- En el lavador Venturi, el gas cargado con material particulado pasa por un tubo corto con extremos anchos y una sección estrecha. Esta constricción hace que el flujo de gas se acelere cuando aumenta la presión. El flujo de gas recibe un rocío de agua antes o durante la constricción en el tubo. La diferencia de velocidad y presión que resulta de la constricción hace que las partículas y el agua se mezclen y combinen. La reducción de la velocidad en la sección expandida del cuello permite que las gotas de agua con partículas caigan del flujo de gas y se eliminan en el extremo del sistema por rebosaderos. Por este extremo también pasa el aire limpio (Figura 2.22).

Figura 2.22. Lavador de gas Venturi.



Fuente: Ventura scrubber, en [wikipedia.org/wiki/Venturi\\_scrubber](http://wikipedia.org/wiki/Venturi_scrubber), 2008, 2008.

Los lavadores pueden verse afectados por desventajas como la obstrucción de las boquillas rociadoras, costos elevados de mantenimiento por corrosión, y principalmente la dificultad para deshacerse del agua sucia, ya que se sustituye un problema de contaminación del aire con uno de tratamiento de aguas. Sin embargo alcanzan eficiencias de hasta un 99%<sup>[1]</sup>.

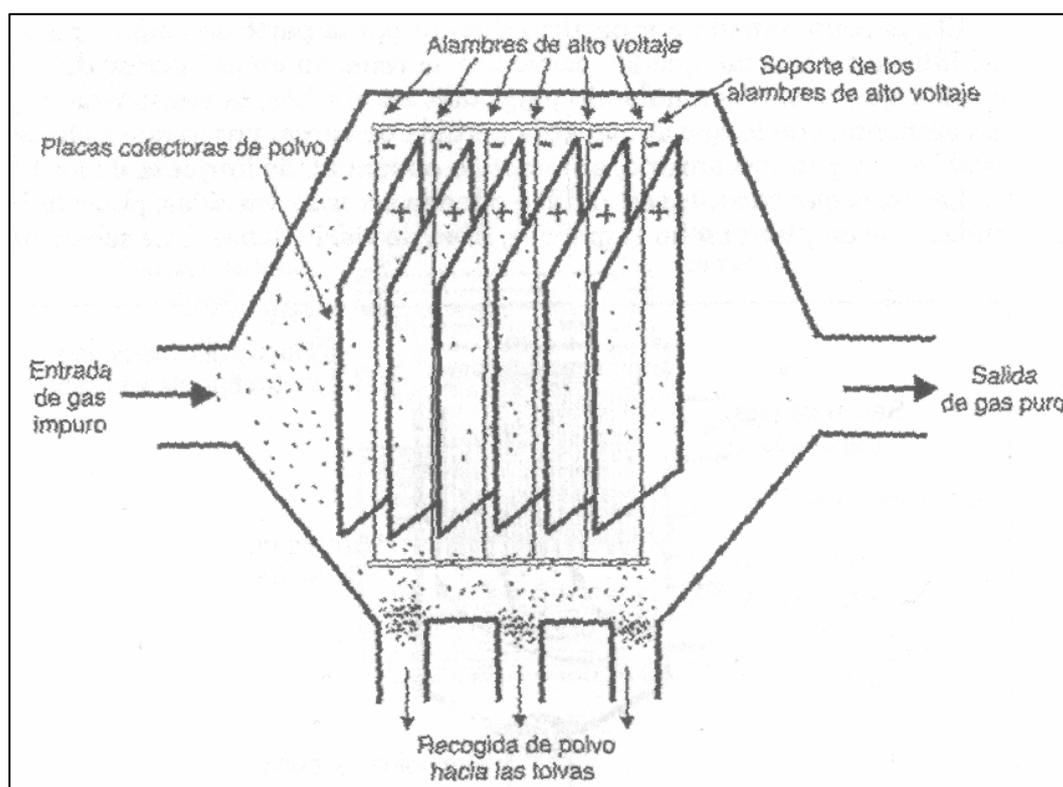
[1] Dispositivos de control de partículas, [www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org), 2008.

### Precipitadores eléctricos.

Estos precipitadores funcionan con flujos y temperaturas relativamente altos, obteniendo un margen de eficiencia del 99.9%<sup>[1]</sup>.

El precipitador posee alambres de alto voltaje en la parte superior. Las partículas se separan al bombardear las moléculas del gas con electrones hasta obtener un voltaje negativo. El material particulado adquiere carga negativa al chocar con los iones negativos del gas, y se precipita en un electrodo colector conectado a tierra con carga positiva, y después es descargado en una tolva, mediante una sacudida del electrodo colector. El gas sin partículas sale por el extremo del sistema (Figura 2.23).

Figura 2.23. Esquema de precipitador electrostático.



Fuente: Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003, pág 396

[1] Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, Capítulo 8, 1º Edición, Editorial Diana, México, 1974, pág. 446.

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO REGULATORIO**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

La Constitución Política de la República del Ecuador declara como deber primordial del Estado la protección del medio ambiente, y como derecho civil de los habitantes a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación, y establece que se regulará conforme a la Ley de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental la recuperación de los espacios naturales degradados, el manejo sustentable de los recursos naturales y los requisitos que para estos fines sean cumplidos en todas las actividades públicas y privadas.

Con esta base, la Legislación Nacional, a través del Libro VI, Anexo 3 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), reglamenta, bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental, los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para emisiones de contaminantes del aire hacia la atmósfera desde fuentes fijas de combustión, además de los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las cantidades emitidas de contaminantes del aire desde fuentes fijas de combustión.

El control de las emisiones gaseosas y particulado en fuentes fijas de emisión, se enmarca en las disposiciones legales tanto locales como nacionales, correspondientes a emisiones por fuentes de combustión fijas y control de la contaminación ambiental.

Con referencia a esto, los principales entes legales que deben ser involucrados son los siguientes:

En la legislación nacional:

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, de la Calidad Ambiental, Título I, Del Sistema Único De Manejo Ambiental.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, de la Calidad Ambiental; Título IV, Reglamento a la ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; Anexo 3, Normas de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión (Anexo 1).
- Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental (LPCCA).

En la legislación local:

- Ordenanza para la prevención y control de la contaminación por desechos industriales, florícolas y de servicios en el Cantón Rumiñahui, que se rige a los niveles de contaminación permitidos por la LPCCA y sus reglamentos pertinentes
- Normas Técnicas para la Aplicación de la Codificación del Título V, “del Medio Ambiente”, Libro segundo, Capítulo III: Normas Técnicas de Emisiones y Descargas, del Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito.

Así como sus respectivos reglamentos e instructivos de aplicación, que en caso de no existir, se tomará como referencia normativas internacionales.

### **3.2 LEGISLACIÓN NACIONAL.**

La legislación ecuatoriana prohíbe las emanaciones y descargas en la atmósfera de contaminantes que sobrepasen los límites establecidos en la normativa y que causen daños a la salud de la población (según datos expedidos por el Ministerio de Salud<sup>[1]</sup>), y que sean amenazantes para la vida sustentable del ecosistema.

Por ello se reconoce que la contaminación artificial, es decir, cualquier actividad humana que genere algún tipo de emisión de contaminante (como las calderas, hornos, generadores de vapor, etc.), debe estar sujeta a un estudio y control de sus emanaciones por los organismos competentes.

---

[1] Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (LPCCA).

Las industrias que involucren este tipo de contaminación deben presentar un estudio de impacto ambiental de sus actividades, así como el plan de manejo ambiental a la autoridad ambiental, para su posterior autorización y entrega de la licencia ambiental, o la negación de la misma <sup>[1]</sup>.

Las acciones contempladas en los estudios de impacto ambiental y en los planes de manejo ambiental deben tener un seguimiento <sup>[2]</sup>, el cual va desde un monitoreo interno por la misma industria, un control ambiental periódico con el que se comprueba el cumplimiento del plan de manejo, la auditoría ambiental de carácter fiscalizador, y la vigilancia comunitaria en la que la sociedad debe mostrar su compromiso con el ambiente observando el desarrollo de las actividades industriales.

Para que las actividades anteriormente mencionadas puedan llevarse a cabo, existen las normas técnicas generales <sup>[3]</sup> aplicables a la prevención y control de la contaminación ambiental y de los impactos ambientales negativos, las cuales fijan los límites permisibles de emisión, descargas y vertidos al ambiente y establecen los criterios de calidad de los recursos agua, aire y suelo, a nivel nacional.

También es necesaria la presencia de las normas técnicas específicas, de las cuales es competente en este estudio la Norma de Emisiones al aire desde Fuentes Fijas de Combustión, la cual presenta de forma integral los límites, procedimientos, metodologías y demás disposiciones concernientes a las emisiones de contaminantes del aire hacia la atmósfera desde fuentes fijas de combustión.

Estas normas están amparadas por la Autoridad Ambiental Nacional y contempladas en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

---

[1] TULAS, Libro VI, Título I, *Del Sistema Único De Manejo Ambiental*, Capítulo IV, Quito, 2003.

[2] TULAS, Libro VI, Título I, *Del Sistema Único De Manejo Ambiental*, Capítulo IV, Quito, 2003.

[3] TULAS, Libro VI, Título IV, Reglamento a *La Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación*, Quito, 2003.

### **Normativa General.**

Dentro de la normativa general se definen aspectos y disposiciones generales para las inspecciones, muestreos, monitoreos y controles de la calidad ambiental a nivel nacional, constituyendo así la Norma Técnica Ambiental Nacional.

De esta manera cualquier norma técnica para la prevención y control de la contaminación ambiental que se dictare, a partir de la expedición del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, en el país a nivel sectorial, regional, provincial o local, deberá guardar concordancia con la Norma Técnica Ambiental Nacional vigente y, en consecuencia, no deberá disminuir el nivel de protección ambiental que ésta proporciona.

Para que el estudio de impacto ambiental tenga validez se debe realizar una inspección por parte de la entidad ambiental de control a la auditoría ambiental presentada por la industria o empresa regulada. En esta inspección se constata la validez de los datos presentados en dicho documento.

La inspección es llevada a cabo mediante un monitoreo ambiental, para lo cual se debe establecer el tipo y frecuencia de muestreo los procedimientos o métodos de muestreo, y los tipos de envases y procedimientos de preservación para la muestra de acuerdo a los parámetros a analizar ex situ, en base a las normas técnicas ecuatorianas o en su defecto a normas o estándares aceptados en el ámbito internacional.

Para la toma de muestras in situ, la empresa o industria en estudio deberá proporcionar todos los medios y facilidades que sean necesarios para la medición, como un sitio adecuado para esta actividad y los datos e información requerida.

Las labores de monitoreo y control ambiental son obligaciones periódicas de los miembros del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental que deben estar incorporadas en el correspondiente plan de gestión, municipal, provincial o sectorial para

la prevención y control de la contaminación ambiental y preservación o conservación de la calidad del ambiente en el Ecuador <sup>[1]</sup>.

Este control ambiental se lo realiza también mediante inspecciones por parte de la entidad ambiental, sin notificación previa, es decir, que las instalaciones de las industrias o empresas seleccionadas para realizarles un monitoreo pueden ser visitadas en cualquier momento para la toma de muestras de sus emisiones. Se pueden establecer redes de monitoreo, con lo cual se evalúa la información de cumplimiento de los planes y programas de manejo ambiental de las industrias.

Los resultados obtenidos de la inspección deben ser procesados y reportados al organismo regulado, junto con las observaciones y comentarios técnicos.

### **Normativa Específica.**

Este conjunto de normas están contempladas en su totalidad en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, de la Calidad Ambiental, Título IV, Reglamento a la ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; Anexo 3, Normas de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión.

En estas normas se contemplan a parte de las reglamentaciones y los límites permisibles de emisión de contaminantes al aire, la metodología y equipos de medición y los límites permisibles de emisión de contaminantes al aire de acuerdo a procesos productivos.

Para aplicar esta norma técnica se debe determinar si una fuente fija es significativa, es decir, si es necesario que cumpla con los límites permisibles de emisión. Para ser significativa una fuente debe cumplir ciertos parámetros como utilizar combustibles fósiles

---

[1] TULAS, Libro VI, Título IV, *La Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación*, Sección III, Quito, 2003.

sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y que su potencia calorífica sea igual o mayor a tres millones de vatios <sup>[46]</sup>.

Los límites permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera han sido sujetos a cambios, por ello se manejan valores para antes de enero de 2003 y valores para después de enero de 2003. Con estos valores, representados en la Tabla 3.1 y en la Tabla 3.2 respectivamente, las entidades de control pueden basarse para fijar sus normas respectivas, con la opción de aumentar el nivel de exigencia si así lo requiriera.

**Tabla 3.1. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación antes de Enero de 2003.**

<b>Contaminante emitido</b>	<b>Combustible utilizado</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades <sup>[47]</sup></b>
Partículas Totales	Sólido	355	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	355	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	1100	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	700	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	500	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	Sólido	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Fuente: Tulas, Libro VI, Título IV, Anexo III, *Normas de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión*, Quito 2003.

<sup>[46]</sup> TULAS, Libro VI, Título IV; Anexo 3, *Requisitos*, Quito, 2003.

<sup>[47]</sup> mg/Nm<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0° C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

**Tabla 3.2. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación a partir de Enero de 2003.**

Contaminante emitido	Combustible utilizado	Valor	Unidades <sup>[1]</sup>
Partículas Totales	Sólido	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	850	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	550	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	400	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	Sólido	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Fuente: TULAS, Libro VI, Título IV, Anexo III, *Normas de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión*, Quito, 2003.

Para poder determinar si una fuente fija cumple con los límites anteriormente mencionados, es necesario que se le realice un monitoreo de las emisiones a la atmósfera, lo cual requiere del uso de equipos especializados y metodologías específicas.

Los equipos y métodos de muestreo, más las características y requisitos técnicos que deben contar las fuentes fijas para la realización de un muestreo y procedimientos, se encuentran explicados en el TULAS, Libro VI, Título IV, Anexo 3.

Las fuentes fijas que requieran una determinación de sus emisiones, deberán realizarlas y reportar los resultados por lo menos una vez cada seis meses<sup>[48]</sup>.

### 3.3 LEGISLACIÓN LOCAL.

En el cantón Rumiñahui existe la *Ordenanza para la Prevención y Control de la Contaminación por desechos industriales, florícolas y de servicios en el cantón Rumiñahui*.

[48] TULAS, Libro VI, Título IV; Anexo 3, *De la frecuencia de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión*, Quito, 2003.

Esta ordenanza regula los mecanismos tendientes a prevenir y controlar la contaminación o el riesgo de producirla, por medio de los desechos de los establecimientos industriales, florícolas y de servicios, instalados dentro de la circunscripción territorial del cantón Rumiñahui, que afecten a los elementos agua y aire y al medio ambiente en general. Dentro de la contaminación del aire se regula toda emisión producida por fuentes fijas de combustión.

El I. Municipio de Rumiñahui, a través de la Dirección de Medio Ambiente, está facultado para realizar inspecciones y monitoreos de las emisiones a la atmósfera, a cualquier empresa que esté bajo su jurisdicción, por lo menos una vez semestral, para controlar el cumplimiento de sus disposiciones. Los monitoreos se los hará con laboratorios autorizados por la municipalidad, como por ejemplo, la Comisión de Energía Atómica (CEEAA) para el análisis de aguas, y la Unidad de Monitoreo de Emisiones Gaseosas de la Escuela Politécnica Nacional, para el análisis de gases.

Los límites máximos permisibles que rigen en el cantón son descritos en la Tabla 3.3, los cuales son tomados de las normas de la LPCCA (Ley para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental) para el recurso aire.

**Tabla 3.3. Niveles máximos permisibles, M. Rumiñahui.**

<b>Contaminantes</b>	<b>Diesel [49]</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Gas licuado petróleo Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Búnker Kg/m<sup>3</sup></b>
Partículas	0.5		0.0001	2.2
CO	0.6		0.0003; 0.0004	0.6
SO <sub>2</sub>	12		0.00001	35
NO <sub>2</sub>	3		0.001; 0.006	6; 7.5

Fuente: I. Municipio de Rumiñahui.

Una fuente adicional que puede proporcionar datos sobre normas técnicas y límites permisibles es la ordenanza del Municipio de Quito: “Normas Técnicas para Emisiones a la Atmósfera de Fuentes Fijas de Combustión para el Distrito Metropolitano de Quito”.

[49] Kg/m<sup>3</sup> = kilogramos de contaminante por metro cúbico de combustible.

Esta norma establece los valores máximos permitidos para emisiones de fuentes fijas de combustión y los métodos de determinación cuantitativa, a través de una clasificación de las fuentes fijas de combustión según el tipo de combustible que utilicen.

A diferencia de la normativa de Rumiñahui, la ordenanza de Quito exige que las entidades que tengan fuentes de combustión fijas deban contar con los equipos básicos de control tales como separadores inerciales (ciclones) <sup>[50]</sup>.

Se dictan los requisitos y características técnicas con las que las fuentes de combustión fijas deben ser implementadas para la realización de un control de emisiones. También se describe la metodología de cálculo de carga contaminante y tasa de emisión, y los límites permisibles de emisión están presentados en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Valores máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión, M. Quito.**

Contaminante emitido	Combustible utilizado	Unidades <sup>[51]</sup>	Valores máximos
Partículas	Sólido*	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	150
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido*	mg/Nm <sup>3</sup>	900
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	700
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	500
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	140
Dióxido de Azufre	Sólido*	mg/Nm <sup>3</sup>	No Aplicable
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Monóxido de Carbono	Sólido*	mg/Nm <sup>3</sup>	1800
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	300
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	250
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	100

\* Sólidos sin contenido de azufre

Fuente: Normas Técnicas para la Aplicación de la Codificación del Título V, *Del Medio Ambiente*, Libro Segundo, del Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito, Quito, 2005.

<sup>[50]</sup> Normas Técnicas para la Aplicación de la Codificación del Título V, *Del Medio Ambiente*, Libro Segundo, del Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito, Disposiciones Generales, Quito, 2005.

<sup>[51]</sup> mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 PROCEDIMIENTO Y EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE EMISIONES GASEOSAS.**

##### **4.1.1 EQUIPO DE MUESTREO.**

1. Sonda con termocupla tipo K.
2. Cable umbilical de conexión.
3. Consola de medición, con celdas electroquímicas de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

##### **4.1.2 MEDICIÓN.**

La medición para el análisis de gases de combustión se basa en los procedimientos detallados en el método EPA 3.

1. Luego de la autocalibración del equipo, y de la determinación del tipo de combustible que utiliza el caldero de la chimenea a ser monitoreada, ubicar la sonda en el puerto de muestreo.
2. Mantener la posición de la sonda lo más estático posible.
3. Observar los cambios en los valores de las celdas electroquímicas y también de los parámetros calculados (CO<sub>2</sub>, exceso de aire).
4. Al encontrar una estabilización de los datos presentados en las pantallas, accionar el botón de imprimir.

5. Los datos impresos son los parámetros medidos por el analizador de gases, los cuales están listos para ser procesados según las normas y especificaciones legales locales.
6. Estas operaciones de muestreo se deben realizar por lo menos tres veces, para obtener un promedio general de la concentración de gases en el flujo de la chimenea.

## **4.2 PROCEDIMIENTO Y EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO.**

### **4.2.1 EQUIPO DE MUESTREO.**

1. Medidor de velocidades (Data Logger).
2. Tubo Pitot S con Termocupla tipo K.
3. Líneas de conexión para el tubo Pitot S y el medidor de velocidades (cables umbilicales).
4. Set de boquillas y protectores para boquillas.
5. Contenedor de filtros, incluyendo un soporte para filtros y un filtro. Los filtros que se pueden utilizar para esta medición pueden ser de: fibra de vidrio (utilizados solo cuando no existen componentes ácidos en el flujo de gas), fibra de cuarzo, teflón (PTFE), éster de celulosa mixta (MCE) o papel.
6. Sonda (tubo Pitot STD).
7. Contenedor de sílica gel (tubo indicador de humedad).
8. Sílica gel (170 g).
9. Línea de conexión (cable umbilical).
10. Consola de medición con medidor de flujo, regulador de flujo y bomba (M9096).

#### **4.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE TRAVESÍA EN LA CHIMENEA.**

La determinación de los puntos de travesía se basa en el método EPA 1, el cual tiene como propósito principal muestrear una chimenea, de manera tal que permita una completa representatividad en la medición con respecto a las condiciones de la chimenea <sup>[52]</sup>.

Este método es válido únicamente para chimeneas o ductos que tengan un diámetro mayor o igual a 0,30 metros. Para chimeneas menores se requiere de un método alternativo como es el EPA 1A <sup>[53]</sup>.

##### **Distribución del flujo y perturbaciones.**

La Figura 4.1 muestra una típica chimenea con un flujo de gas entrando de una ruptura de flujo localizada en la porción inferior de la chimenea. En la figura se puede observar un perfil de distribución de velocidad a varios niveles. Cada perfil representa la velocidad relativa del flujo en las diferentes secciones transversales representadas.

El perfil de velocidades se suaviza y se muestra más ordenado conforme se aleja de la entrada inicial del gas dentro de la chimenea, hasta que alcanza un punto cercano a la salida de la chimenea donde el perfil del flujo nuevamente se torna incierto. El perfil de velocidades en el punto A, el punto más cercano a la ruptura del flujo, aparece caótico, con fluctuaciones y al azar a lo largo del diámetro de la chimenea. Al momento en que el flujo llega al punto D y E, sin embargo, el perfil aparece casi llano, tomando una forma de cierta manera predecible a lo largo de su sección.

El flujo en el punto D es conocido como flujo completamente desarrollado o laminar, indicando esto que el perfil de velocidades ha tenido suficiente tiempo de desenvolverse y volver a un patrón ordenado.

---

<sup>[52]</sup> EPA, Método 1, SAMPLE AND VELOCITY TRAVERSES FOR STATIONARY SOURCES WITH SMALL STACKS OR DUCTS, [www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-01a.pdf](http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-01a.pdf), 2000, 2007.

<sup>[53]</sup> EPA, Método 1A, SAMPLE AND VELOCITY TRAVERSES FOR STATIONARY SOURCES WITH SMALL STACKS OR DUCTS, [www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-01a.pdf](http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-01a.pdf), 2000, 2007.

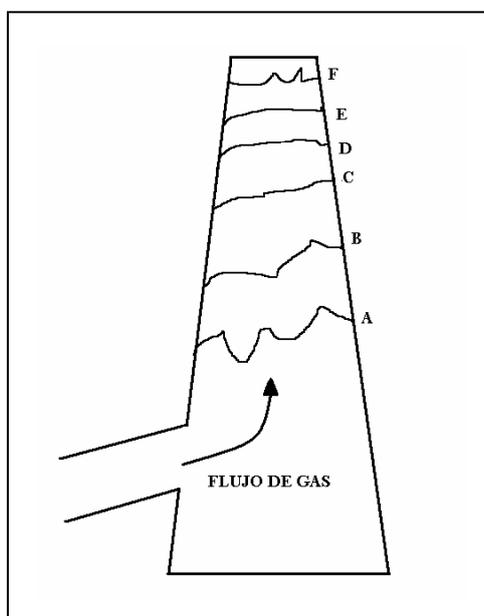
El flujo después de hacer su entrada a la chimenea, es decir, los puntos A, B y C, así como también el flujo cercano a la salida de la chimenea, punto F, es considerado un flujo no desarrollado o no laminar.

Mientras más laminar es el flujo, menor número de mediciones a lo largo de la sección transversal se harán con el fin de caracterizar lo suficiente la velocidad.

También, al acercarse el punto de medición a los sitios donde la corriente cambia de dirección, como el punto cercano a la perturbación de abajo o arriba, se harán mayor número de mediciones.

De esta forma, se concluye que mientras más cerca se encuentre el sitio de medición de los puntos estables, menor número de mediciones se harán, con el fin de caracterizar la velocidad en la chimenea.

**Figura 4.1. Perfil de velocidades a lo largo de una chimenea.**

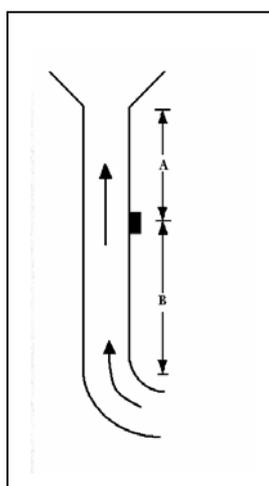


Fuente: Clean Air, Express, Isokinetic Metering Console Manual, pág. 32.

Los puntos en donde la dirección del flujo cambia son conocidos como perturbaciones. El método EPA 1 define una perturbación como una curva, expansión o

contracción dentro de la chimenea, o una flama visible. En esencia una perturbación no es nada más que cualquier cosa que altere la dirección del flujo dentro de la chimenea. Cuando hablamos de perturbaciones la distancia entre la perturbación y el puerto de medición debe ser considerada. Si el puerto de medición es localizado corriente arriba de la perturbación, la distancia comprendida se conoce como corriente arriba y es descrita como distancia "A". Similarmente, si el puerto de medición se encuentra corriente abajo de una perturbación, esta distancia es descrita como distancia "B". Este concepto se observa en la Figura 4.2.

**Figura 4.2. Distancias del puerto de muestreo en relación a las perturbaciones en una chimenea.**

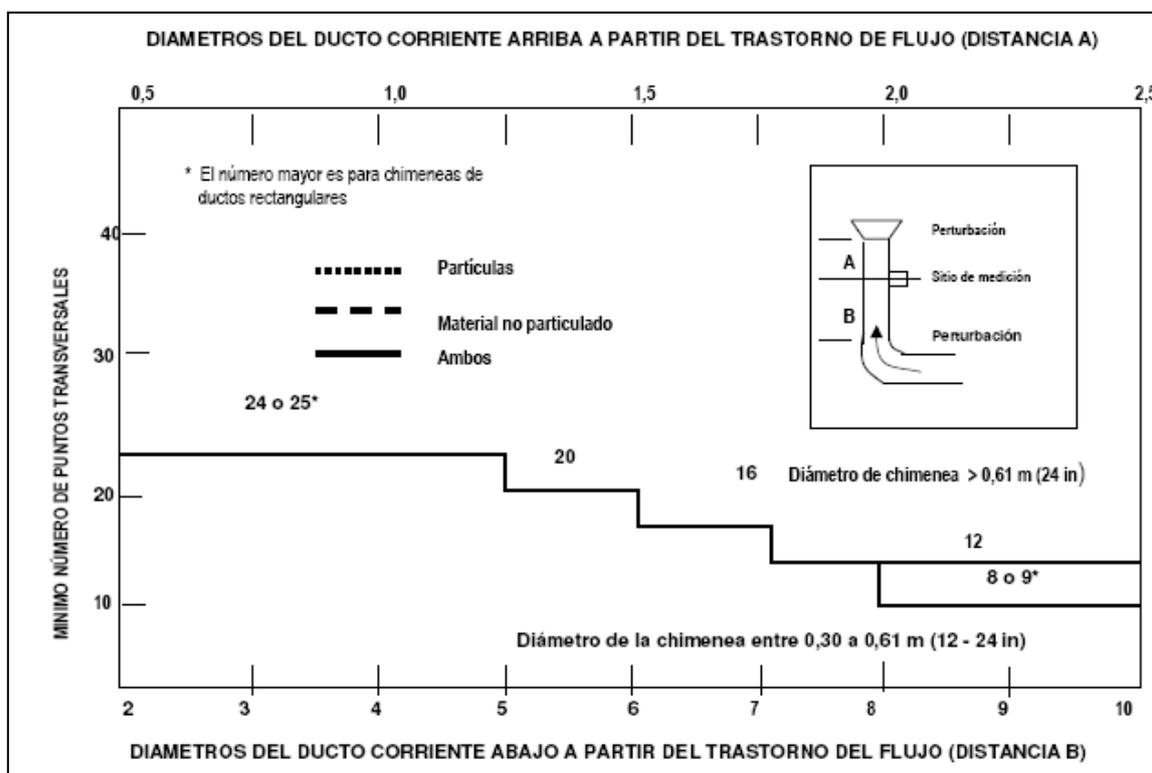


Las medidas de velocidad (o medidas de contaminantes que dependen de la velocidad) deben ser realizadas de forma que el puerto de muestreo se encuentre al menos a una distancia A de 0,5 diámetros de chimenea, y una distancia B de 2 diámetros de chimenea con respecto a una perturbación de cualquier tipo.

Un flujo completamente laminar debería existir si las medidas se realizan al menos a 2 diámetros de chimenea corriente arriba y 8 diámetros de chimenea corriente abajo de cualquier perturbación. En estos casos un número mínimo de puntos de travesía puede ser utilizado y conseguir una completa caracterización de la chimenea. Para chimeneas con un diámetro mayor a 0,61 metros, el número de puntos de travesía será 12. Para chimeneas con un diámetro entre 0,30 y 0,61 metros el número mínimo de puntos de travesía será 8.

Para mediciones en sitios que se encuentran localizados a menor distancia que dos diámetros de chimenea corriente arriba y 8 diámetros corriente abajo de cualquier perturbación, se deberá utilizar un número mayor de puntos de travesía que el mínimo de puntos de medida mencionado anteriormente. La Figura 4.3 muestra un esquema para determinar el número de puntos de travesía, es decir cuántos puntos de medición se debe usar en relación a la distancia en la que nos encontremos con respecto a cualquier perturbación.

Figura 4.3. Puntos de Recorrido Isocinético.



Fuente: EPA1, Protocolo para muestreo de fuentes fijas puntuales, [www.ideam.gov.co/biblio.paginaabierta/Protocolos\\_isocineticos](http://www.ideam.gov.co/biblio.paginaabierta/Protocolos_isocineticos). PDF, pág 50, 2006, 2007.

Para poder utilizar la Figura 4.3 correctamente, las distancias A y B deben ser determinadas en términos de distancias equivalentes al diámetro o comúnmente llamados diámetros equivalentes. Luego, se determinan dos posibles números de puntos de medida, de los cuales se escoge el mayor.

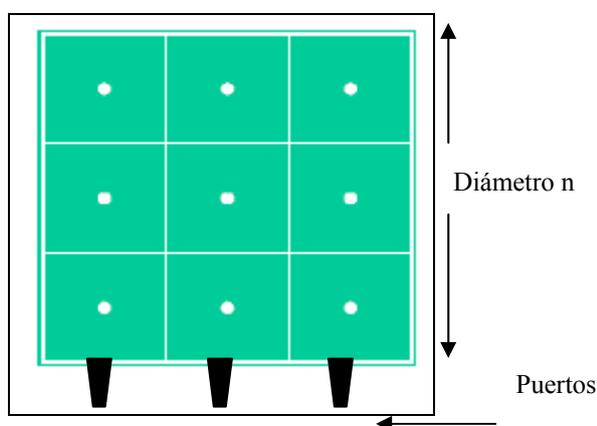
### Localización de los puntos de travesía.

Una vez determinado el número de puntos de travesía, es necesario determinar dónde estos puntos deberían ser localizados. Con el fin de abarcar completamente toda el área de la sección transversal del ducto, la chimenea es dividida en un número de áreas iguales, el número de áreas iguales es igual al número de puntos requerido.

Posteriormente los puntos de travesía son localizados en el centroide de cada una de estas áreas iguales.

Para ductos rectangulares se divide el mismo en igual número de áreas rectangulares y en el centro de cada rectángulo se ubica el respectivo punto de travesía, como se ilustra en la Figura 4.4.

**Figura 4.4. Ubicación de puntos de travesía en chimenea rectangular.**



En la Figura 4.4 (que sirve como ejemplo) 9 puntos fueron requeridos basados en el criterio EPA 1 de la Figura 4.3. Desde 3 puertos de muestreo disponibles se lleva a cabo el muestreo de 3 puntos de travesía.

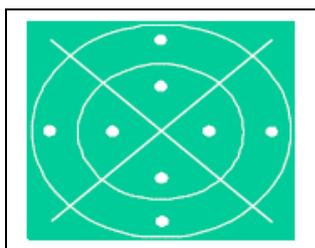
Las distancias del inicio de la chimenea a cada punto de travesía pueden ser determinadas por simple geometría. Para esto la distancia del diámetro,  $n$ , es dividida para el número de puntos requerido por cada puerto, que en este caso es tres. Esto nos da la distancia que debe existir entre puntos a partir del segundo punto más cercano al puerto. La distancia al

punto más cercano al puerto es la mitad de la distancia entre dos puntos consecutivos a partir del punto 2.

Para chimeneas de tipo circular, la localización de los puntos de travesía es un tanto más complicada que para ductos de forma rectangular. Como se muestra en la Figura 4.5, la chimenea es dividida en un número de áreas iguales, igual al mínimo número de puntos de travesía determinado según el criterio EPA 1 de la Figura 4.3.

La localización del centroide de cada una de estas áreas puede ser geoméricamente determinada como un porcentaje del diámetro de la chimenea. La Tabla 4.1 lista estos porcentajes.

**Figura 4.5. Ubicación de los puntos de travesía en chimenea circular.**



Para usar la Tabla 4.1 es necesario determinar el número mínimo de puntos de muestreo de acuerdo a la Figura 4.3, y dividir este número para el número de puertos presentes en la chimenea, por lo general se recomienda que sean dos puertos separados  $90^\circ$  a lo largo de la chimenea. Una vez que se tenga este número nos referimos a la Tabla 4.1, aquí se localiza la columna que corresponde al número de puntos de travesía determinado. Los valores mencionados en la tabla representan en porcentaje la longitud del diámetro de la chimenea desde el inicio de la chimenea a cada punto de travesía. Estos porcentajes, cuando son multiplicados por el diámetro de la chimenea y divididos para 100, nos darán la distancia desde el inicio de la chimenea a cada punto de travesía.

Para chimeneas más grandes, dos puertos adicionales estarán disponibles con el fin de evitar usar una sonda excesivamente larga que pueda abarcar todos los puntos de travesía a lo largo del diámetro. Por ejemplo si un total de 12 puntos son requeridos,

entonces se tomarán 6 puntos por diámetro, pero si la chimenea cuenta con 4 puertos de muestreo, solo se necesitará de los primeros 3 puntos determinados para cuando se tenía dos puertos.

Tabla 4.1. Ubicación de puntos de medición en chimeneas o conductos de sección circular.

# de Punto	Número de puntos de medición en un diámetro de chimenea											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14.6	6.7	4.4	3.2	2.6	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1
2	85.4	25	14.6	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3		75	29.6	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6	5.5
4		93.3	70.4	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5			85.4	67.7	34.2	25	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6			95.6	80.6	65.8	35.6	26.9	22	18.8	16.5	14.6	13.2
7				89.5	77.4	64.4	36.6	28.3	23.6	20.4	18	16.1
8				96.8	85.4	75	63.4	37.5	29.6	25	21.8	19.4
9					91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.2	23
10					97.4	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11						93.3	85.4	78	70.4	61.2	39.3	32.3
12						97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13							94.3	87.5	81.2	75	68.5	60.2
14							98.2	91.5	85.4	79.6	73.8	67.7
15								95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16								98.4	92.5	87.1	82	77
17									95.6	90.3	85.4	80.6
18									98.6	93.3	88.4	83.9
19										96.1	91.3	86.8
20										98.7	94	89.5
21											96.5	92.1
22											98.9	94.5
23												96.8
24												98.9

Fuente: TULAS, Libro VI, Título IV, Anexo III, *Normas de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión*, Quito 2003.

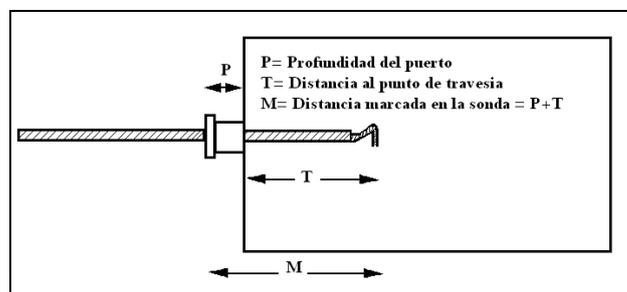
En chimeneas circulares, las distancias del primer y último punto de travesía deben ser chequeadas de que no se encuentren demasiado pegadas a la pared interior de la chimenea. Para chimeneas con un diámetro inferior o igual a 0.61 metros, los puntos no podrán estar a menos de 1,3 centímetros. De tal forma que si un punto es calculado que debe estar a menor distancia que 1,3 centímetros deberá ser movido a una distancia igual a 1,3 centímetros. Para chimeneas con un diámetro mayor a 0,61 metros, no deben existir

puntos a distancias menores a 2,5 centímetros de la pared de la chimenea. Por lo tanto, si algún punto calculado se encuentra a menos de 2,5 centímetros, debería ser ajustado a una distancia de 2,5 cm.

Ocasionalmente, el segundo y el penúltimo punto de travesía deben ser ajustados usando el mismo criterio. En cualquier caso, cuando sea que dos puntos sucesivos de travesía sean combinados para formar un solo punto ajustado, el punto ajustado debe ser tratado como dos puntos de travesía separados en términos de recolección de datos.

La mayoría de chimeneas poseen puertos con una profundidad predefinida <sup>[54]</sup>. Esto permite que la sonda de muestreo sea marcada de tal forma que se reste desde la punta la distancia correspondiente a la profundidad del puerto y así las distancias de cada punto de travesía coincidan con la parte inicial del puerto. Esto está ilustrado en la Figura 4.6.

**Figura 4.6. Relación de la profundidad del puerto de muestreo con la sonda y los puntos de travesía.**



#### 4.2.3 DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE PRESIÓN DEL GAS.

La velocidad del gas es medida para determinar el flujo volumétrico total del gas. Los procesos para medir los parámetros de velocidades y diferencias de presión, se rigen al Método EPA 2.

<sup>[54]</sup> Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, Instructivo para la aplicación de la Ordenanza Sustitutiva Del Capítulo III, Anexo 9, Requisitos Técnicos para el Monitoreo de Emisiones de las Fuentes Fijas de Combustión, Norma ISO – NPT, pág. 32, 1999.

En primer lugar, para realizar esta medición, se debe asegurar que las condiciones descritas anteriormente, sobre la ubicación del puerto de muestreo y la determinación de los puntos de travesía, cumplan con los requerimientos necesarios.

El Método EPA 2 especifica el uso de un tubo Pitot tipo S debido a sus características físicas, ya que estos tubos son compactos y resistentes a concentraciones de partículas elevadas.

El tubo Pitot es una aplicación de la dinámica de fluidos, y trabaja en base al principio de flujos de Bernoulli <sup>[55]</sup>.

El tubo Pitot tipo S consiste en dos aberturas tubulares, las cuales están conectadas la una a la otra a presión, y de tal manera que, cuando el tubo es ubicado en una corriente de gas, una de las aberturas esté dirigida directamente al flujo de gas, mientras que la otra esté en dirección opuesta al flujo de gas. En esta orientación, la abertura hacia la corriente de gas es denominada la pierna positiva, y la abertura opuesta al flujo se denomina la pierna negativa. Obviamente la presión que se genera en la pierna positiva será mayor a la que se presenta en la pierna negativa.

Esta diferencia de presiones entre las dos caras del tubo Pitot es determinada a través del medidor de velocidades, y se la representa con el símbolo  $\Delta P$ . Mientras mayor sea la velocidad del gas, mayor será la diferencia de presiones entre las dos caras del tubo Pitot, y en consecuencia, mayor será el valor de  $\Delta P$ . La Figura 4.7 muestra un esquema del tubo Pitot tipo S y su funcionamiento.

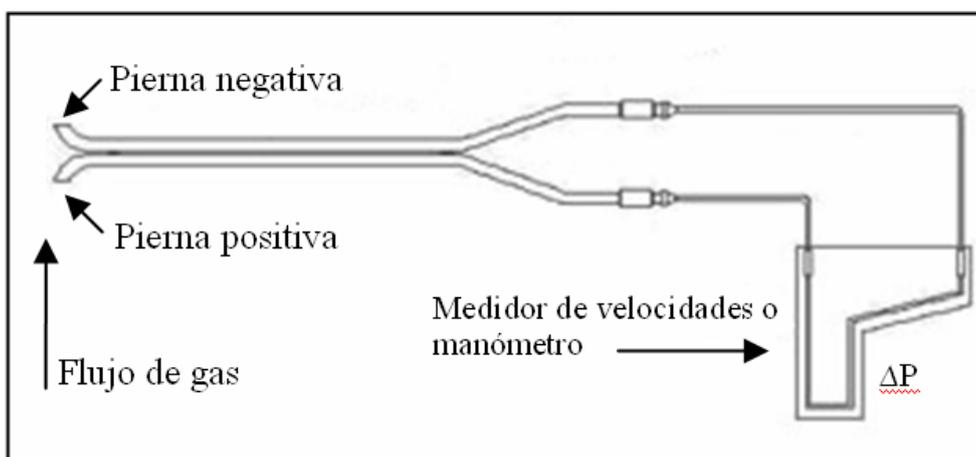
El  $\Delta P$  y la temperatura del gas en la chimenea son medidos para cada punto de travesía. Se determina también un valor para la presión ejercida en la cara negativa del tubo, la cual se denomina “presión estática”. Para ello se debe desconectar la manguera que une la cara positiva del tubo Pitot con el lector de velocidades; de esta forma el lector de velocidades solo recibirá los datos provenientes de la cara negativa del tubo. Esta medición se la puede hacer en el centro del diámetro de la chimenea y está representada en la Figura 4.8.

---

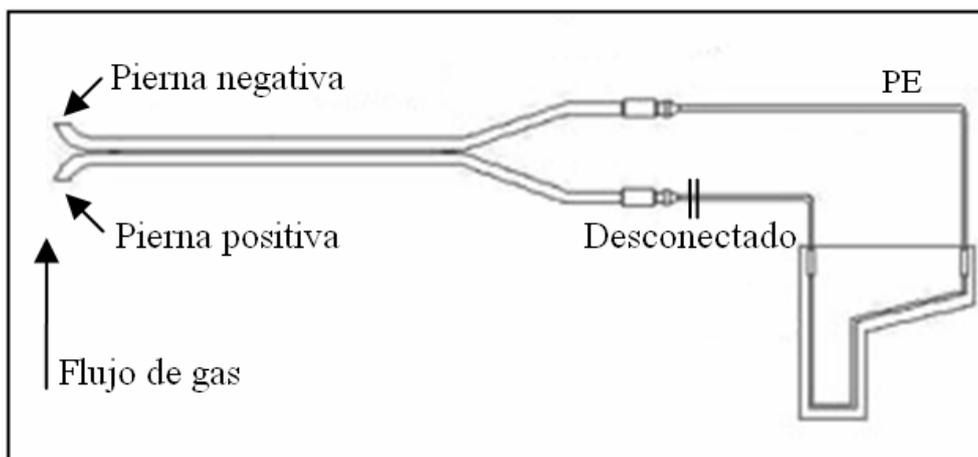
<sup>[55]</sup> Clean Air, Express Isokinetic Metering Console Manual, pág. 45.

El tubo Pitot posee un coeficiente de calibración, el cual es una función del tipo de tubo que se use y la configuración de la consola a la cual estará conectado. El tubo puede ser calibrado comparando su armadura con la de un tubo Pitot estándar con un conocido coeficiente (aproximadamente 1), o también se lo puede calibrar geoméricamente de acuerdo a sus detalles de construcción, para lo cual el Método EPA 2 provee todas las especificaciones.

**Figura 4.7. Esquema de Tubo Pitot tipo S y medidor de velocidades.**



**Figura 4.8. Esquema de medición de Presión Estática.**



Si estas especificaciones siguen la línea de construcción de un tubo Pitot tipo S, el coeficiente de calibración será asumido al valor de 0,84.

Todos estos cálculos y mediciones preliminares permiten determinar en el software **Megatrón Particulate** una sugerencia sobre el tamaño de la boquilla, la cual debe satisfacer todas las condiciones isocinéticas para todos los puntos de muestreo.

#### **4.2.4 MEDICIÓN.**

La metodología para la medición de volumen de gas, humedad del flujo y cantidad de partículas, está basada en el método EPA 17, y adaptada con el método ISO 9096 (Anexo 2).

1. Realizar los procesos de desecado y pesado de los filtros. Pesarse también la acetona de limpieza y la sílica gel que va a ser empleada.
2. Llenar el mango de la sonda con sílica gel y conectar la línea de muestreo.
3. Realizar una inspección de fugas en todo el equipo.
4. Alinear la boquilla con el mango contenedor de sílica gel.
5. Dependiendo de los estándares a ser manejados, precalentar las partes del minitren hasta que alcancen la temperatura de la chimenea. Esto evitará la condensación que se produce al colocar el contenedor del filtro frío en la chimenea caliente.
6. Asegurarse de que la sonda esté dentro de la chimenea y que la boquilla esté en alineación con el flujo de gas, usando como indicador el mango contenedor de sílica gel.
7. Ajustar el rango de flujo según los datos calculados en el software.
8. La duración del muestreo en cada punto de travesía debe ser idéntica. Durante el muestreo verificar, por lo menos cada cinco minutos, y ajustar el rango de flujo.
9. No detener el muestreo mientras se mueve la sonda de punto en punto durante la travesía. Anotar el tiempo, el volumen y el flujo medidos en cada punto.
10. Cuando se ha completado el muestreo, apagar la bomba y retirar la sonda. Luego reposicionarla, si fuera el caso, a la siguiente línea de muestreo.
11. Al finalizar la medición remover la sonda y realizar un nuevo chequeo de fugas.

12. Cuidadosamente desmontar el contenedor del filtro. Retirar el filtro y colocarlo en un contenedor (caja petri) para transportarlo, en un ambiente libre de viento. Etiquetar el o los filtros que fueron utilizados.
13. Verificar el tubo contenedor de sílica gel y remover la misma hacia un contenedor seco para su traslado al laboratorio.

### **Determinación de la Cantidad de Partículas y Humedad Recolectadas.**

Una vez concluida la medición en el campo, se procede al pesado del filtro, el cual debe ser secado previamente, y de la sílica gel empleados en el muestreo. Se debe comparar los nuevos pesos con los anteriores previos al muestreo.

Siempre existe una mínima cantidad de partículas que se quedan impregnadas en las paredes del tubo o en la caja contenedora del filtro. Estas deben ser removidas empleando acetona y depositadas en un vaso de precipitación, para luego ser secadas. También es importante recolectar las partículas que permanecen en la caja petri, en la cual se transportó el filtro después de la medición.

La diferencia de peso de la sílica gel indica un valor que nos servirá para el cálculo de la humedad e isocinetismo reales del flujo de gas.

La diferencia de peso del filtro sumada a la diferencia de peso de la acetona y más los residuos en la caja petri, representa la cantidad de partículas, lo cual determina a posteriori la tasa de emisión de material particulado.

### **4.3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO.**

Para el procesamiento de los datos tomados en el campo por los equipos de medición de gases y de material particulado se han ideado tres programas de cálculo en Microsoft Excel, principalmente porque los datos del muestreo de material particulado, para ser procesados, requieren de una serie de ecuaciones físico químicas que sirven para el cálculo de varios parámetros.

En el primer programa, denominado *Megatron Travesía*, se determina el número de puntos de travesía y sus distancias correspondientes, de acuerdo a las características físicas de la chimenea y el puerto de muestreo.

En el segundo programa denominado *Megatron Particulate Test*, a través de los datos preliminares de la composición del gas, velocidad del flujo, diferencia de presión, presión atmosférica, presión estática, temperatura de la chimenea y temperatura del ambiente, se determina el tamaño de boquilla adecuado, el tiempo de muestreo, el volumen estimado a medirse y un porcentaje de isocinetismo previo.

El tercer programa llamado *Megatron Particulate Master*, se lo debe usar una vez realizada la medición de particulado. Se registran los valores reales de volumen medido y humedad, los cuales son reemplazados por los valores provisionales del programa de prueba y se verifica el rango real de isocinetismo en el muestreo. Este programa procesa la cantidad de partículas recolectadas y arroja los valores de las cargas contaminantes y las tasas de emisión, tanto para gases y material particulado.

## CAPÍTULO 5

### CÁLCULOS

#### 5.1 CÁLCULO DE LA PRESIÓN ABSOLUTA DE LA CHIMENEA <sup>[56]</sup>.

La presión absoluta en la chimenea se define como la presión atmosférica más la presión estática dentro de la chimenea. La presión estática es la presión que ejerce el flujo de gas por encima del punto de medición.

Los datos de presión estática y atmosférica se obtienen del lector de velocidades. Para el cálculo de presión absoluta se utiliza la Ecuación 5.1.

$$P_s = P_b + \frac{P_{static}}{13.6} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

$P_s$  = Presión absoluta del gas en la chimenea (mmHg).

$P_b$  = presión barométrica o atmosférica (mmHg).

$P_{static}$  = presión estática (mmHg).

13.6 = factor de conversión de mmH<sub>2</sub>O a mmHg.

Los valores de presión reportados por el lector de velocidades están en milibares (mb), y por lo general se hace una conversión a mmH<sub>2</sub>O o mmHg, dependiendo de lo que se requiera.

---

[56] Todas las ecuaciones de este capítulo tomadas de Thermo Electron Corporation, MODEL M9096 MINI STACK SAMPLER, Instruction Manual, USA, 2003.

$$\begin{aligned} \text{Factores de conversión:} \quad 1 \text{ mb} &= 10 \text{ mmH}_2\text{O} = 0.75 \text{ mmHg} \\ 1 \text{ mmHg} &= 13.6 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

## 5.2 CÁLCULO DEL PESO MOLECULAR DEL GAS SECO DE LA CHIMENEA. MÉTODO EPA 3.

El peso molecular de un gas es importante para la determinación del promedio de la velocidad del mismo, y se lo puede calcular determinando el promedio del volumen pesado de los pesos moleculares de cada gas componente del flujo total.

Este cálculo se lo realiza utilizando los porcentajes de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO y N<sub>2</sub>, asumiendo que el gas está compuesto solo por estas especies gaseosas. Estos valores son obtenidos del analizador de gases y son medidos normalmente en una base volumétrica seca.

Entonces, el peso molecular del gas seco es la sumatoria de las masas atómicas de las fracciones de los gases componentes del flujo de gas total, sin tomar en cuenta el contenido de humedad en el flujo. Esto queda expresado según la Ecuación 5.2.

$$M_d = 44\left(\frac{\%CO_2}{100}\right) + 32\left(\frac{\%O_2}{100}\right) + 28\left(\frac{\%CO + \%N_2}{100}\right) \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

M <sub>d</sub>	=	Peso molecular del gas seco de la chimenea (g/gmol)
% CO <sub>2</sub>	=	porcentaje de dióxido de carbono en la corriente del gas.
% O <sub>2</sub>	=	porcentaje de oxígeno en la corriente del gas.
% CO	=	porcentaje de monóxido de carbono en la corriente del gas.
% N <sub>2</sub>	=	porcentaje de nitrógeno en la corriente del gas.
44	=	peso molecular del dióxido de carbono.
32	=	peso molecular del oxígeno.
28	=	peso molecular del monóxido de carbono y nitrógeno.

El analizador de gases reporta porcentajes de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, y el valor de CO en ppm. El valor de CO es procesado automáticamente y convertido a porcentaje.

El valor de N<sub>2</sub> es la diferencia de porcentajes, ya que al asumir que el gas está compuesto por las cuatro especies de gases únicamente, se puede afirmar lo expresado en la Ecuación 5.3.

$$\begin{aligned} \%O_2 + \%CO_2 + \%CO + \%N_2 &= 100 \\ \rightarrow \%N_2 &= 100 - \%O_2 + \%CO_2 + \%CO \end{aligned} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Si no se pudiera realizar esta determinación de las fracciones de las especies componentes del gas, se puede utilizar un valor de peso molecular seco de 30 g/mol, para procesos que incluyen quemar combustibles fósiles<sup>[1]</sup>.

### 5.3 CÁLCULO DEL PESO MOLECULAR DEL GAS HÚMEDO DE LA CHIMENEA. MÉTODO EPA 3.

El peso molecular del gas húmedo es la sumatoria de las masas atómicas de las fracciones de los gases componentes del flujo de gas total, tomando en cuenta el contenido de humedad en el flujo, el cual está relacionado directamente con una proporción en volumen estimada de vapor de agua presente en el flujo de la chimenea, y el peso molecular del agua (18 g/g mol), como se observa en la Ecuación 5.4.

$$M_s = M_d(1 - B_{wo}) + 18(B_{wo}) \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde:

$M_s$  = Peso molecular del gas húmedo en la chimenea (g/gmol).

<sup>[1]</sup>R. Alley and Associates Inc, Manual de Control de la Calidad del Aire, Capítulo 5, 1ª Edición, McGraw Hill, México, 2001, pág. 5.16.

$B_{wo}$  = proporción en volumen de vapor de agua en el flujo de gas.

$M_d$  = peso molecular del gas seco en la chimenea (g/gmol).

Sino existen datos anteriores de humedad en el sitio de medición, el valor de proporción de vapor de agua estimado se toma del valor de humedad del combustible utilizado en el caldero u horno correspondiente. La Tabla 5.1 indica valores de humedad de acuerdo a varios tipos de combustibles.

**Tabla 5.1. Humedad estimada por combustible.**

<b>Humedad estimada por combustible</b>	
<b>Combustible</b>	<b>Bwo</b>
Crudo pesado	0.11
Carbón	0.07
Diesel	0.04
Gas natural	0.03

Fuente: [www.mailxmail.com/curso/vida/fuentesfijas/capitulo6.htm](http://www.mailxmail.com/curso/vida/fuentesfijas/capitulo6.htm)

#### 5.4 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO IDEAL DE LA BOQUILLA SEGÚN EL VOLUMEN DESEADO. MÉTODO EPA 5.

La determinación del tamaño de la boquilla (Ecuación 5.5) depende principalmente del volumen mínimo requerido a muestrear, el cual se recomienda sea de por lo menos 1 m<sup>3</sup>.

$$D_n^2 = \frac{V_{desired} \sqrt{M_s (T_s + 273)}}{(5.9195 \times 10^{-4}) C_p \theta (1 - B_{wo}) (\sqrt{\Delta P})_{ave}} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Donde:

$D_n$  = Diámetro de la boquilla (mm).

$V_{desired}$  = muestra deseada de volumen a ser recolectada (m<sup>3</sup>).

$M_s$  = peso molecular del gas húmedo en la chimenea (g/gmol).

$T_s$  = temperatura del gas en la chimenea (° C)

$P_s$  = presión absoluta del gas en la chimenea (mmHg).

- $C_p$  = constante del tubo Pitot tipo S.  
 $\theta$  = tiempo de muestreo (min).  
 $B_{wo}$  = proporción en volumen de vapor de agua en el flujo de gas.  
 $(\sqrt{\Delta P})_{ave}$  = promedio de la raíz de la presión de la velocidad.

El lector de velocidades nos arroja los datos de temperatura de la chimenea ( $^{\circ}$  C) y la diferencia de presiones (mb) en valores promedio de todos los puntos de travesía.

El término  $(\sqrt{\Delta P})_{ave}$  es determinado mediante el promedio de las raíces cuadradas de todos los  $\Delta P$  medidos en cada punto de travesía.

Algunos valores del diámetro de boquilla que sean calculados bajo esta fórmula no existen en la práctica, por lo cual el programa procesa el valor arrojado y lo redondea al valor inmediato superior o inferior disponibles, en función de una cifra significativa.

Desafortunadamente puede ocurrir que el tamaño de la boquilla calculado resulte en una tasa de muestreo inferior a la capacidad del medidor de flujo. Esto se debe a que el equipo M9096 no está diseñado para cumplir las normas EPA 5. En este caso se debe seleccionar una boquilla de menor tamaño en función de la velocidad del flujo de gas, (calculada mediante la Ecuación 5.11), pero para que se recoja el volumen deseado a muestrear se debe extender el tiempo de duración de la medición.

### **5.5 DETERMINACIÓN DEL FACTOR K. MÉTODO EPA 5.**

El Factor K es la constante de proporcionalidad isocinética que relaciona las dos presiones de velocidad, de modo que la velocidad en la boquilla sea la misma que la velocidad en la chimenea. El Factor K se calcula según la Ecuación 5.6.

$$K = 8.04 \times 10^{-5} (C_p)^2 (\Delta H @) \left[ \frac{T_m + 273}{T_s + 273} \right] \left[ \frac{P_s}{P_b} \right] \left[ \frac{M_d}{M_s} \right] (1 - B_{wo}) (D_n)^4 \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Donde:

- K = Factor K.  
 Dn = diámetro de la boquilla (mm).  
 Md = peso molecular del gas seco de la chimenea (g/gmol).  
 Ms = peso molecular del gas húmedo en la chimenea (g/gmol).  
 Tm = temperatura ambiente medida (° C).  
 Ts = temperatura del gas en la chimenea (° C).  
 Pb = presión barométrica o atmosférica (mmHg).  
 Ps = presión absoluta del gas en la chimenea (mmHg).  
 Cp = constante del tubo Pitot tipo S.  
 Bwo = proporción en volumen de vapor de agua en el flujo de gas.  
 $\Delta H @$  = coeficiente de calibración del orificio (mmH<sub>2</sub>O).

El valor del factor K será usado para multiplicarse por la presión de velocidad medida ( $\Delta P$ ), para el cálculo de la caída de presión ( $\Delta H$ ).

$$\Delta H = K * \Delta P$$

## 5.6 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA DE GAS REQUERIDO ESTIMADO.

Se representa el volumen estimado a muestrear en condiciones estándar de acuerdo a los datos preliminares obtenidos anteriormente, y e lo expresa según la Ecuación 5.7.

Con este valor podemos variar el valor del volumen de gas medido ( $V_m$ ), previo al muestreo propiamente dicho para el programa de prueba, con el objetivo de que éste permita que el valor del volumen de gas medido a condiciones estándar ( $V_{mstd}$ ) sea el mismo que el volumen estimado en esta ecuación. Este volumen provisional también

permite observar si es posible medir el mínimo de volumen (se recomienda como mínimo 0,7 m<sup>3</sup>).

$$EstV_{mstd} = (5.9195 \times 10^{-4}) C_p \sqrt{\frac{Ps}{Ms(273 + Ts)}} (\sqrt{\Delta P_{ave}}) Dn^2 \theta (1 - Bwo) \quad \text{Ecuación 5.7}$$

Donde:

- $EstV_{mstd}$  = Volumen de la muestra de gas requerido estimado (m<sup>3</sup>).  
 $Dn$  = diámetro de la boquilla (mm).  
 $Ms$  = peso molecular del gas húmedo en la chimenea (g/gmol).  
 $Ts$  = temperatura del gas en la chimenea (° C).  
 $Ps$  = presión absoluta del gas en la chimenea (mmHg).  
 $Cp$  = constante del tubo Pitot tipo S.  
 $Bwo$  = proporción en volumen de vapor de agua en el flujo de gas.  
 $(\sqrt{\Delta P})_{ave}$  = promedio de la raíz de la presión de la velocidad.

### 5.7 DETERMINACIÓN DEL RANGO DE ISOCINETISMO PROVISIONAL.

Con los datos obtenidos anteriormente, el programa procede a determinar el porcentaje de isocinetismo, cuyo valor debe oscilar entre 90 y 110%. Si el valor de este porcentaje no está dentro del rango significa que la velocidad del flujo de gas en la chimenea no puede ser el mismo en la boquilla del tubo de medición de particulado, por lo tanto no existe isocinetismo. Esto puede ocurrir, principalmente por la mala ubicación del puerto de muestro y / o por que el flujo de gas no es laminar.

Es recomendable que el rango de isocinetismo se halle en entre el 95 y 105%.

Para que el programa realice las operaciones necesarias para determinar el porcentaje de isocinetismo en la medición, se requiere del empleo de nuevas ecuaciones, con las cuales se determina principalmente, la cantidad de volumen de flujo medido, el flujo actual del gas y la velocidad real del flujo. Estos componentes serán detallados más adelante.

Se deben dar valores provisionales y estimados de volumen recogido en la sílica gel y el volumen medido por el equipo (medidor de flujo M9096) en las ecuaciones que requieren estos datos.

El valor de humedad recogida en sílica gel debe ser similar al estimado en la fase preliminar (generalmente dado por el tipo de combustible utilizado en el caldero correspondiente), mientras que el valor de volumen medido ( $V_m$ ) debe variar hasta alcanzar el volumen de la muestra de gas requerido ( $EstV_{mstd}$ ).

Es posible que el porcentaje de isocinetismo no sea el deseado debido a varios factores, como el desconocimiento de la cantidad de humedad real en el flujo, el volumen medido y la ausencia de más boquillas de medición.

Para mejorar este dato es posible regular el tiempo de medición. De todas formas, en algunos casos el tiempo resulta ser demasiado extenso, o su valor no cumple con el volumen mínimo a muestrear, por lo tanto se concluye que no es factible realizar la medición.

Si después de sortear todas las probabilidades el porcentaje de isocinetismo entra en el rango mencionado anteriormente, el muestreo es factible de realizarse y se procede a la determinación de los valores reales de volumen medido, humedad en el flujo de gas y cantidad de partículas en el flujo de gas.

## **5.8 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE VAPOR DE AGUA COLECTADO A CONDICIONES ESTÁNDAR. MÉTODO EPA 4.**

Para efectuar este cálculo se requiere el dato de la diferencia de pesos de la sílica gel, el cual se lo corrige para que sea expresado como una diferencia en volumen. El volumen de vapor de agua está dado por la Ecuación 5.8.

$$V_{wstd} = (0.00124)(V_{lc}) \qquad \text{Ecuación 5.8}$$

Donde:

$V_{wstd}$  = Volumen de vapor de agua colectado (cond. estándar) ( $m^3$ ).

$V_{1c}$  = volumen total recolectado en la sílica gel (ml).

0.00124 = conversión de ml a  $m^3$  a condiciones estándar.

Para realizar la conversión de la diferencia en peso de la sílica gel a diferencia en volumen, se requiere del siguiente factor:

$$1 \text{ g de agua} = 1 \text{ ml de agua}$$

Se asume esta igualdad ya que el valor de la densidad del agua es muy aproximadamente de 1 g/ml.

## 5.9 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE GAS MEDIDO A CONDICIONES ESTÁNDAR. MÉTODO EPA 4.

La Ecuación 5.9 es usada para convertir el volumen del gas medido a condiciones estándar de temperatura y presión, utilizando la relación de la Ley Ideal de los Gases. El volumen medido de gas se lo obtiene a través del dato de volumen de flujo medido en campo por el equipo medidor de flujo (M9096).

$$V_{mstd} = \frac{(0.3592)(V_m) \left( P_b + \frac{\Delta H}{13.6} \right) (Y_d)}{(273 + T_m)}$$

**Ecuación 5.9**

Donde:

$V_{mstd}$  = Volumen de gas medido a condiciones estándar ( $m^3$ ).

$P_b$  = presión barométrica o atmosférica (mmHg).

$T_m$  = temperatura ambiente medida ( $^{\circ}C$ ).

$V_m$  = volumen del gas medido ( $m^3$ ).

$Y_d$  = factor de corrección del medidor de flujo.

$\Delta H$  = promedio de la caída de presión a través del orificio (mmHg).

0.3592 = relación de la temperatura y presión estándar ( $^{\circ}K/mmHg$ ).

El valor de  $\Delta H$  viene dado por:

$$\Delta H = \Delta P * K * 0.0075$$

Es decir, la presión de velocidad por el factor K, con una conversión de mmHg a mmH<sub>2</sub>O.

El término Yd se refiere al factor de calibración del medidor de flujo, el cual es determinado a través de la calibración de la consola de medición, y es entendido como una medida de cuan rápido y preciso puede funcionar un medidor de gas seco comparado con un medidor estándar.

#### **5.10 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD. MÉTODO EPA 4.**

El contenido de humedad real en el flujo de gas de la chimenea se lo puede calcular a través de la relación entre el volumen de vapor de agua y el volumen de gas medido en la chimenea. Este valor se determina con la Ecuación 5.10.

$$B_{wo} = \frac{V_{wstd}}{V_{mstd} + V_{wstd}} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

Donde:

$B_{wo}$  = Proporción en volumen de vapor de agua en el flujo de gas.

$V_{mstd}$  = volumen de gas medido a condiciones estándar (m<sup>3</sup>).

$V_{wstd}$  = volumen de vapor de agua colectado (cond. estándar) (m<sup>3</sup>).

#### **5.11 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL GAS EN LA CHIMENEA.**

La relación entre la velocidad actual del gas y el  $\Delta P$  se la puede derivar de la ecuación de los fluidos de Bernoulli, y es conocida como la ecuación de la velocidad, que

también incluye términos de la densidad del gas y la temperatura. La ecuación de la velocidad puede ser escrita como en la Ecuación 5.11.

$$V_s = K_p \times C_p \times \sqrt{\Delta P} \times \frac{\sqrt{(T_s) + 273}}{\sqrt{[(M_s)(P_s)]}} \quad \text{Ecuación 5.11}$$

Donde:

- $V_s$  = Velocidad del gas en la chimenea (m/s).  
 $K_p$  = constante del tubo Pitot (34.97).  
 $M_s$  = peso molecular del gas húmedo en la chimenea (g/gmol).  
 $P_s$  = presión absoluta del gas en la chimenea (mmHg).  
 $T_s$  = temperatura del gas en la chimenea (° C).  
 $(\sqrt{\Delta P})_{ave}$  = promedio de la raíz de la presión de la velocidad.

## 5.12 CÁLCULO DEL FLUJO ACTUAL DEL GAS EN LA CHIMENEA.

El flujo actual del gas está en relación directa con el área de la sección transversal de la chimenea y la velocidad del gas, y se mide a través de la Ecuación 5.12.

$$Q_a = (60)(A_s)(V_s) \quad \text{Ecuación 5.12}$$

Donde:

- $Q_a$  = Flujo actual del gas en la chimenea (m<sup>3</sup>/min).  
 $A_s$  = área de la sección transversal de la chimenea (m<sup>2</sup>).  
 $V_s$  = velocidad del gas en la chimenea (m/s).

### 5.13 CÁLCULO DEL FLUJO TOTAL DE GAS SECO EN LA CHIMENEA EN CONDICIONES ESTÁNDAR.

El cálculo del flujo total del gas en base seca se lo hace despreciando el contenido de humedad del gas. Este valor es obtenido para ser utilizado como referente en algunas de las legislaciones sobre control ambiental (Ecuación 5.13).

$$Q_{std} = \frac{Q_a \times P_s (0.3592)(1 - B_{wo})}{T_s + 273} \quad \text{Ecuación 5.13}$$

Donde:

$Q_{std}$  = Flujo total de gas seco en la chimenea (cond. estándar) (m<sup>3</sup>/min).

$B_{wo}$  = proporción en volumen de vapor de agua en el flujo de gas.

$P_s$  = presión absoluta del gas en la chimenea (mmHg).

$Q_a$  = flujo actual del gas en la chimenea (m<sup>3</sup>/min).

$T_s$  = temperatura del gas en la chimenea (° C).

### 5.14 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ISOCINETISMO.

Mediante los factores físicos de la chimenea, el volumen medido, el tiempo de medición y el tamaño de la boquilla seleccionada se puede determinar la existencia de isocinetismo en la medición. Como se explicó anteriormente, se debe comprobar que este valor, para que sea válida la medición, debe estar en el rango de 90% y 110%. Se determina este valor según la Ecuación 5.14.

$$\%I = \frac{(4.6398 \times 10^6)(T_s + 273) \times V_{mstd}}{P_s \times V_s \times A_n \times \theta \times (1 - B_{wo})} \quad \text{Ecuación 5.14}$$

Donde:

$\%I$  = Porcentaje de isocinetismo.

$A_n$  = área transversal de la boquilla (mm<sup>2</sup>).

- $B_{wo}$  = proporción en volumen de vapor de agua en el flujo de gas.  
 $P_s$  = presión absoluta del gas en la chimenea (mmHg).  
 $T_s$  = temperatura del gas en la chimenea ( $^{\circ}$  C).  
 $V_{mstd}$  = volumen de gas medido a condiciones estándar ( $m^3$ ).  
 $V_s$  = velocidad del gas en la chimenea (m/s).  
 $\theta$  = tiempo total del muestreo (min).  
 $4.6398E6$  = constante de incorporación  $P_{std}/T_{std}$  y ajuste de unidad.

El área de la sección transversal de la boquilla se lo obtiene mediante un simple cálculo del área del círculo que conforma la abertura de la misma.

La constante de incorporación mencionada en la fórmula se refiere a corregir la presión absoluta y la temperatura de la chimenea a condiciones estándar.

### 5.15 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE PARTICULADO.

En esta sección es donde se debe considerar la diferencia de peso, tanto del filtro utilizado en la medición, como de la acetona empleada en la limpieza de la sonda de succión. Comparando esta cantidad con el volumen total muestreado obtenemos la concentración de partículas en la chimenea, como se expresa en la Ecuación 5.15.

$$C_{mg/m^3} = \frac{M_n}{V_{mstd}} \quad \text{Ecuación 5.15}$$

Donde:

- $C_{mg/m^3}$  = Concentración de partículas en el flujo de gas ( $mg/m^3$ ).  
 $M_n$  = suma total de partículas recolectadas (mg).  
 $V_{mstd}$  = volumen de gas medido a condiciones estándar ( $m^3$ ).

El valor de  $M_n$  viene dado por la suma de las diferencias en peso del filtro y la acetona.

### 5.16 CONCENTRACIÓN DE PARTICULADO CORREGIDO A UN PORCENTAJE DE OXÍGENO.

Las legislaciones exigen que al valor de partículas recolectadas se les haga una corrección de oxígeno, cuyo porcentaje varía de acuerdo a la legislación local que rige el área geográfica donde se halla el sitio de medición. Esto permite evaluar los resultados de concentración de partículas contabilizando una reducción aparente de las mismas, debido a una dilución del gas con el aire ambiente. Se obtiene este valor por la Ecuación 5.16.

La corrección de oxígeno también se la hace en el cálculo de la concentración de gases.

$$C_{atX\%} = C \times \frac{21 - X}{21 - act\%O_2} \quad \text{Ecuación 5.16}$$

Donde:

$C_{atX\%}$  = Concentración de partículas corregidas a un % de oxígeno ( $mg/m^3$ ).

$C$  = concentración de partículas en el flujo de gas ( $mg/m^3$ ).

$act\%O_2$  = porcentaje de oxígeno actual medido en el flujo de gas (%).

$X$  = porcentaje de oxígeno de corrección según la legislación (%).

$21$  = porcentaje de oxígeno en el aire ambiente en volumen (%).

Las legislaciones vigentes exigen una corrección de oxígeno de 7%.

### 5.17 CÁLCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE DE MATERIAL PARTICULADO.

La carga contaminante de particulado viene dada por la ecuación descrita a continuación, pero esta puede ser modificada, de acuerdo a la legislación vigente en el sitio de medición. La carga contaminante se calcula de acuerdo a la ecuación 5.17.

$$C_{g/hr} = \frac{C \times Q_{std}}{1000} \quad \text{Ecuación 5.17}$$

Donde:

$C_{g/hr}$  = Carga contaminante de particulado ( $mg/m^3$ ).

$C_{mg/m^3}$  = concentración de partículas en el flujo de gas ( $mg/m^3$ ).

$Q_{std}$  = flujo total de gas seco en la chimenea (cond. estándar) ( $m^3/min$ ).

La carga contaminante debe ser convertida a Kg/h, y luego, según la legislación, la tasa de emisión se representa en  $Kg/m^3$  de combustible, o en  $mg/Nm^3$ .

### **5.18 EJEMPLO DE CÁLCULO CON DATOS TOMADOS EN LA EMPRESA DANEC.**

En la empresa DANEC se recopilaron datos correspondientes a: características del caldero y chimenea, concentración de gases, número de humo y concentración de material particulado.

Los datos necesarios para el cálculo de gases y particulado son recolectados a lo largo del muestreo en una hoja de campo denominada “Tabla de campo: Muestreo de Gases y Material Particulado”.

## TABLA DE CAMPO: MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO

Empresa: DANEC

### DATOS CHIMENEA

Altura (m)	11.65	<b>Combustible</b>	
Diámetro (m)	1.03	Tipo	Bunker
Dist. A (m)	2	Consumo	142 gal/h
Dist. B (m)	5.25		

### CONTROL DE FLUJO

PE (mb)	-0.86	Ts (°C)	170	Hora inicio	10:00	Hora fin	14:15
dP prom (mb)	2.02						

TRAVESÍA (cm)	PUNTO	Tiempo Acumulado	Tm (°C)	Pb (mb)	V inicial (m3)	V final (m3)
2.5	1	9' 30"	21	741.3	5.709	5.769
4	2	19	22	741.3	5.769	5.829
7	3	28'30"	22	741.4	5.829	5.889
10	4	38	23	741.6	5.949	5.949
13	5	47'30"	23	741.3	5.889	6.007
17	6	57	23	741.3	5.949	6.064
21	7	66'30"	23	741.2	6.064	6.121
26	8	76	22	741.2	6.121	6.177
32	9	85'30"	23	741.3	6.177	6.235
40	10	95	25	741.2	6.235	6.293
63	11	104'30"	24	741.1	6.293	6.350
71	12	114	24	741.3	6.350	6.407
77	13	123'30"	24	740.5	6.407	6.464
82	14	133	24	740.9	6.464	6.520
86	15	142'30"	23	740.8	6.520	6.576
90	16	152	22	741.2	6.576	6.630
93	17	161'30"	22	741.2	6.630	6.684
96	18	171	23	741.4	6.684	6.735
99	19	180'30"	24	741.2	6.735	6.782
99.5	20	190	23	741.3	6.782	6.817
-	21	-	-	-	-	-
-	22	-	-	-	-	-
-	23	-	-	-	-	-
-	24	-	-	-	-	-
<b>Valor final o Promedio</b>		<b>190 min</b>	<b>23</b>	<b>741.20</b>	<b>1.1 m<sup>3</sup></b>	

### CONTROL DE GASES

GASES	MUESTREOS		
	1	2	3
O2 (%)	10.4	10.8	10.8
CO (ppm)	140	137	143
CO2 (%)	8	8.3	8.1
NO x (ppm)	161	167	162
SO2 (ppm)	339	335	339

Peso molecular	29.78	NÚMERO HUMO	6
----------------	-------	-------------	---

MUESTREOS	1	2	3
Ts Bacharach (°F)	335	329	333

### CONTROL DE PESOS

	Peso inicial (g)	Peso final (g)
Filtro 1	0.0941	0.125
Filtro 2	-	-
Filtro 3	-	-
Sílica gel	170	195
Acetona	31.46	31.472
Residuos caja petri		0.0025

#### Información requerida

dP	diferencia de presión
Pb	presión barométrica
PE	presión estática
Tm	temperatura ambiente
Ts	temperatura de chimenea
V	volumen medido

FECHA: 17/ENE/2008

Muestreo por: Heredia D. y Páez D.

### 5.18.1 CÁLCULOS CON LOS DATOS DEL ANÁLISIS DE GASES.

- **Promedio del muestreo.**

$$(\sum_{\text{datos}})/(\#\text{muestras})$$

$$\text{O}_2(\%) = (10.4 + 10.8 + 10.8) / (3) = 10.7 \%$$

$$\text{CO}_2(\%) = (8 + 8.3 + 8.1) / (3) = 8.14 \%$$

$$\text{CO (ppm)} = (140 + 137 + 143) / (3) = 140 \text{ ppm}$$

$$\text{NO}_x \text{ (ppm)} = (161 + 167 + 162) / (3) = 163.3 \text{ ppm}$$

$$\text{SO}_2 \text{ (ppm)} = (339 + 335 + 339) / (3) = 337.7 \text{ ppm}$$

$$\text{Ts (}^\circ\text{F)} = (335 + 329 + 333) / (3) = 332.3 \text{ }^\circ\text{F}$$

- **Conversión ppm a %.**

$$\% \text{gas} = \frac{\text{ppm}(\text{gas}) \times 100}{1'000.000}$$

Se convierte únicamente el dato correspondiente al monóxido de carbono.

$$\% \text{CO} = \frac{140 \times 100}{1000000} = 0.014\%$$

- **Cálculo del Porcentaje de Nitrógeno.**

$$\% \text{Nitrógeno} = 100 - \% \text{CO} - \% \text{CO}_2 - \% \text{O}_2$$

El porcentaje de nitrógeno, junto con el porcentaje de oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono, son usados para el cálculo del peso molecular del gas seco, dato que servirá como ya se indicó previamente en el proceso de cálculo de

isocinético y como requisito para el cálculo de los diferenciales de presión mediante el lector de velocidades (Data Logger).

$$\%N_2 = 100 - 0.014 - 8.14 - 10.7 = 81.19\%$$

- **Cálculo del Peso Molecular del Gas Seco.**

$$M_d = 44 \frac{\%CO_2}{100} + 32 \frac{\%O_2}{100} + 28 \frac{\%CO + \%N_2}{100}$$

$$M_d = 44 \frac{8.14}{100} + 32 \frac{10.5}{100} + 28 \frac{0.014 + 81.19}{100}$$

$$M_d = 29.73 \text{ g.}$$

- **Cálculo factor de conversión  $mg/m^3$  - ppm.**

Parte por millón, en este caso, es una medida de volumen, que en relación con los gases indica que existe 1 unidad de volumen de gas por cada millón de unidades de volumen de aire; mientras que  $mg / m^3$  indica peso por unidad de volumen, y es frecuentemente utilizado para reportar datos de control de emisiones. Para realizar la conversión se requiere conocer el peso molecular del gas y el factor:  $1 m^3 = 1000$  litros.

$$1 \text{ mg}/m^3 = \frac{1g}{1000mg} * \frac{1m^3}{1000l} = 1 * 10^{-6} g/l.$$

El peso molecular de cualquier gas (en este caso tomaremos como ejemplo el CO, cuyo peso molecular es 28g/gmol) ocupa 22.4 litros, a 0° C, y 1023 mb (condiciones estándar).

Por lo tanto:

$$1 \text{ mg/m}^3 \text{ de CO} = \frac{1 * 10^{-6} \text{ g} * \frac{22.4 \text{ l}}{\text{mol}} * \frac{1 * 10^6 \text{ cm}^3}{\text{m}^3}}{28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \mathbf{0.8 \text{ ppm.}}$$

$$\text{Deducimos que } 1 \text{ ppm de CO} = \frac{28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{22.4 \frac{\text{l}}{\text{mol}} * \frac{1 * 10^6 \text{ cm}^3}{\text{m}^3}} = 1.17 * 10^{-6} \text{ g/l} = \mathbf{1.25 \text{ mg/m}^3}.$$

En la Tabla 5.2 se hallan los factores de conversión para los gases en análisis.

**Tabla 5.2. Factores de conversión de NO, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO.**

Nombre	Fórmula	mg/m <sup>3</sup>	Ppm	Peso molecular
Monóxido de Carbono	CO	0.8 ppm	1.25 mg/m <sup>3</sup>	28.01 g
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0.51 ppm	1.96 mg/m <sup>3</sup>	44.01 g
Monóxido de Nitrógeno	NO	0.75 ppm	1.34 mg/m <sup>3</sup>	30.01 g
Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	0.35 ppm	2.86 mg/m <sup>3</sup>	64.06 g

- **Cálculo Flujo Másico (F) o Carga Contaminante (CC) de los gases analizados.**

Para este cálculo es necesario conocer el flujo de gas a condiciones estándar. Este dato es determinado posteriormente, cuando se están realizando los cálculos de material particulado.

Datos:

$$\text{O} = 140 \text{ ppm}$$

$$\text{NO}_x = 163.3 \text{ ppm}$$

$$\text{SO}_2 = 337.7 \text{ ppm}$$

$$T = 332.3 \text{ } ^\circ\text{F} = 439.9 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$P = 741.2 \text{ mb} = 555.9 \text{ mmHg}$$

$$Q_{\text{std}} = 440.48 \text{ m}^3/\text{min} = 26428.8 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (calculado posteriormente)}$$

Desarrollo:

Para el cálculo del flujo másico es necesario conocer, además de la concentración dada del gas medido, el factor de conversión de ppm a  $\text{mg}/\text{m}^3$  del gas en estudio a las condiciones de referencia, las presiones y temperaturas del flujo a condiciones de chimenea y a condiciones de referencia, por último el flujo de gas seco a condiciones de referencia <sup>[1]</sup>.

$$F = l \times f \times C_{PT} \times Q_{\text{std}}$$

Donde:

F = Flujo másico.

l = Concentración en volumen del gas en análisis (medido en ppm).

C<sub>PT</sub> = Corrección de presión y temperatura a condiciones de referencia.

Q<sub>std</sub> = Flujo de gas seco (calculado previamente y a cond. estándar).

f = Factor de conversión: ppm a  $\text{mg}/\text{m}^3$  (uno para cada gas).

$$F_{\text{CO}} = 140 \text{ ppm} * 1.25 \frac{\text{mg}/\text{m}^3}{\text{ppm}} * \frac{760\text{mmHg}}{555.9\text{mmHg}} * \frac{439.9^\circ\text{K}}{298.15^\circ\text{K}} * 26428.8 \frac{\text{m}^3\text{gas}}{\text{h}} * \frac{1\text{kg}}{1000000\text{mg}}$$

$$F_{\text{CO}} = 10.26 \frac{\text{kgCO}}{\text{h}}$$

$$F_{\text{NO}_x} = 163.3 \text{ ppm} * 1.34 \frac{\text{mg}/\text{m}^3}{\text{ppm}} * \frac{760\text{mmHg}}{555.9\text{mmHg}} * \frac{439.9^\circ\text{K}}{298.15^\circ\text{K}} * 26428.8 \frac{\text{m}^3\text{gas}}{\text{h}} * \frac{1\text{kg}}{1000000\text{mg}}$$

<sup>[1]</sup> Instructivo para la aplicación de la Ordenanza Sustitutiva del Capítulo III, para la prevención y control de la contaminación producida por las descargas líquidas y las emisiones al aire de fuentes fijas, Anexo 11, Quito, 1999, pág. 50.

$$F \text{ NO}_x = 12.83 \frac{\text{kgNO}_x}{h}$$

$$F \text{ SO}_2 = 337.7 \text{ ppm} * 2.86 \frac{\text{mg/m}^3}{\text{ppm}} * \frac{760 \text{ mmHg}}{555.9 \text{ mmHg}} * \frac{439.9^\circ \text{K}}{298.15^\circ \text{K}} * 26428.8 \frac{\text{m}^3 \text{ gas}}{h} * \frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}}$$

$$F \text{ SO}_2 = 56.61 \frac{\text{kgSO}_2}{h}$$

Una vez obtenida la CC y para que este valor pueda ser comparado según distintas normas deberá ser transformado en Emisión, cuyo proceso se explica en el siguiente punto.

- **Cálculo de las Tasas de Emisión de los gases analizados.**

Para el cálculo de la *emisión* en  $\text{Kg/m}^3$  de combustible como requiere la norma del Municipio de Rumíñahui es necesario conocer el consumo de combustible en un tiempo determinado <sup>[1]</sup>.

$$E(\text{Kg} / \text{m}^3 \text{ comb}) = \frac{F}{C_{\text{comb}}}$$

Donde:

$C_{\text{comb}}$  = Consumo de combustible en  $\text{m}^3/\text{h}$ .

$$E_{\text{CO}} = \frac{10.26 \text{ kg} / h}{0.54 \text{ m}^3 / h}$$

$$\text{Emisión CO (Kg/m}^3 \text{ comb)} = 19.11$$

$$E_{\text{NO}_x} = \frac{23.9 \text{ kg} / h}{0.54 \text{ m}^3 / h}$$

[1] y [2] Normas Técnicas para la aplicación de la codificación del Título V “Del Medio Ambiente” Libro Segundo del Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito, Capítulo III Normas Técnicas de Emisiones y Descargas, Quito, 2005, pág 9.

$$\text{Emisión NO}_x \text{ (Kg/m}^3\text{comb)} = 23.9$$

$$ESO_2 = \frac{56.61 \text{ kg} / \text{h}}{0.54 \text{ m}^3 / \text{h}}$$

$$\text{Emisión SO}_2 \text{ (Kg/m}^3\text{comb)} = 105.46$$

#### Determinación de las densidades de los gases de combustión

Para el cálculo de la *emisión* en mg/Nm<sup>3</sup> como requieren otras legislaciones como el TULAS y la norma del Municipio de Quito, es necesario conocer la densidad en condiciones normales para cada gas en control, y se debe también realizar una corrección de oxígeno al 7% [2].

$$E \text{ (CO, NO}_x\text{, SO}_2\text{)(mg/Nm}^3\text{)} = \frac{21-7}{21-X} * ppm * \rho$$

Las densidades para cada gas están en mg/Ncm<sup>3</sup> y están representadas en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3. Densidades de gases en control a condiciones estándar (1 atm, 273.15° K).**

Gas	Densidad (mg/Ncm <sup>3</sup> )
CO	1.25
NOx	2.05
SO <sub>2</sub>	2.93

El cálculo de las densidades obedece al siguiente proceso que parte desde la Ecuación General de los Gases:

$$PV = nRT$$

Donde:

P = presión (1 atm)

V = volumen (L)

n = moles de gas (g/g/mol)

R = constante del gas ideal ( $\frac{L * atm}{^{\circ}K * mol}$ )

T = temperatura ( $^{\circ}K$ )

Las moles de gas se definen como la masa del gas sobre su peso molecular, por lo tanto:

$$n = m/PM$$

Remplazando en la ecuación general de los gases:

$$\frac{m}{V} = \frac{P * PM}{R * T}$$

$$\frac{m}{V} = \frac{atm * g / mol}{\frac{L * atm}{^{\circ}K * mol} * ^{\circ}K}$$

$$\frac{m}{V} = \frac{g}{L}$$

Como se conoce:

$$1 \times 10^{-6} \text{ g/L} = 1 \text{ mg/Nm}^3$$

$$\frac{m}{V} = \frac{mg}{Nm^3} * \frac{m^3}{1000000cm^3} = \frac{mg}{Ncm^3}$$

*Datos para el cálculo de la densidad de un gas, tomando como ejemplo al CO:*

PM CO = 28 g/g/mol

Concentración de CO = 1ppm en volumen ( $cm^3/m^3$ )

% de O<sub>2</sub> en el flujo de gas = 10.7 %

*Cálculo de la densidad de CO:*

$$\frac{m}{V} CO = \frac{1 \text{ atm} * 28 \text{ g/mol}}{\frac{0.082 \text{ L} * \text{ atm}}{^{\circ}\text{K} * \text{ mol}} * 273.15^{\circ}\text{K}} = 1.25 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 1250000 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} = 1.25 \frac{\text{mg}}{\text{Ncm}^3}$$

El proceso es el mismo para los demás gases, únicamente cambia su peso molecular.

$$\text{Emisión CO (mg/Nm}^3) = \frac{21-7}{21-10.7} * 140 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} * 1.25 \frac{\text{mg}}{\text{Ncm}^3} = 237.1$$

$$\text{Emisión NO}_x \text{ (mg/Nm}^3) = \frac{21-7}{21-10.7} * 163.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} * 2.05 \frac{\text{mg}}{\text{Ncm}^3} = 453.7$$

$$\text{Emisión SO}_2 \text{ (mg/Nm}^3) = \frac{21-7}{21-10.7} * 337.7 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} * 2.93 \frac{\text{mg}}{\text{Ncm}^3} = 1340.43$$

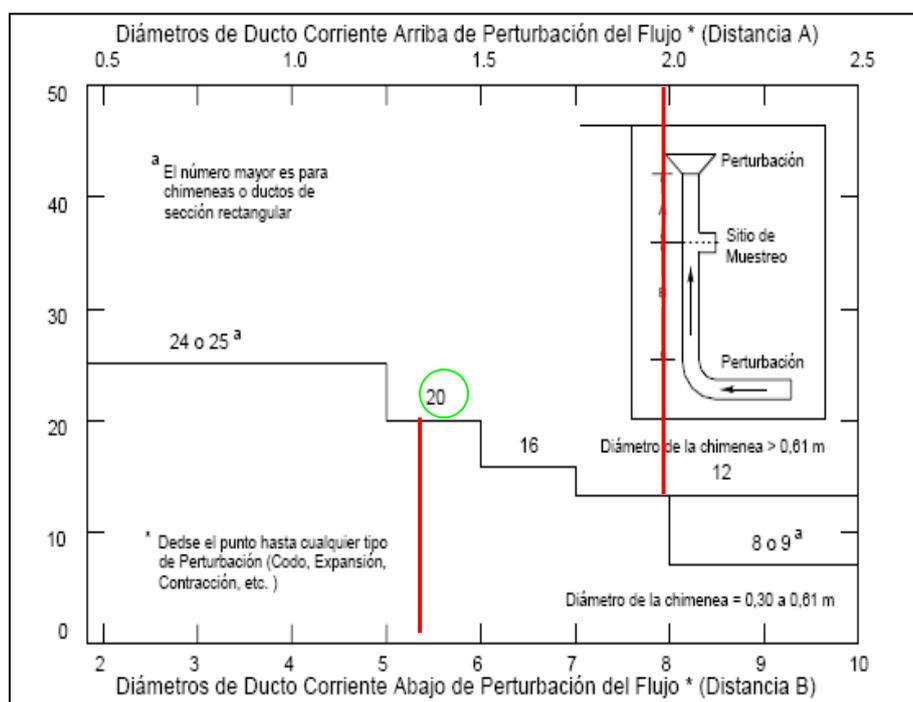
### 5.18.2 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE TRAVESÍA.

- **Número de puntos de travesía.**

Los datos recopilados de las características de la chimenea se utilizan para el calcular el número de puntos de travesía de acuerdo a la Figura 5.1.

Con respecto a las distancias A y B recopiladas, se traza una línea vertical desde abajo hacia arriba para la distancia B y de arriba hacia abajo para la distancia A, hasta la línea que cruza horizontalmente y que nace del medio del recuadro. Esta línea horizontal tiene un valor determinado en el eje de las ordenadas, el cual indica el número de puntos representativos que deberán ser tomados de acuerdo a la posición del puerto de muestreo con respecto al diámetro de la chimenea.

**Figura 5.1. Número de puntos de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas.**



Fuente: De la Calidad Ambiental, Anexo 3, Normas de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión, Quito, 2003, 2007.

Como se observa en la Figura 5.1 el valor seleccionado será el mayor, es decir 20 puntos de muestreo.

- **Distancias de los puntos de travesía.**

Una vez determinado el número de puntos de travesía, se debe determinar la distancia a la que se encontraran los mismos dentro de la chimenea para lo cual la EPA a determinado la Tabla 5.4 que indica la distancia en porcentaje con respecto al diámetro a la cual se deberán ubicar los puntos.

Tabla 5.4. Ubicación de puntos de medición en chimeneas o conductos de sección circular.

# de Punto	Número de puntos de medición en un diámetro de chimenea											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14.6	6.7	4.4	3.2	2.6	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1
2	85.4	25	14.6	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3		75	29.6	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6	5.5
4		93.3	70.4	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5			85.4	67.7	34.2	25	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6			95.6	80.6	65.8	35.6	26.9	22	18.8	16.5	14.6	13.2
7				89.5	77.4	64.4	36.6	28.3	23.6	20.4	18	16.1
8				96.8	85.4	75	63.4	37.5	29.6	25	21.8	19.4
9					91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.2	23
10					97.4	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11						93.3	85.4	78	70.4	61.2	39.3	32.3
12						97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13							94.3	87.5	81.2	75	68.5	60.2
14							98.2	91.5	85.4	79.6	73.8	67.7
15								95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16								98.4	92.5	87.1	82	77
17									95.6	90.3	85.4	80.6
18									98.6	93.3	88.4	83.9
19										96.1	91.3	86.8
20										98.7	94	89.5
21											96.5	92.1
22											98.9	94.5
23												96.8
24												98.9

Fuente: TULAS, Libro VI, Título IV, Anexo III, Normas de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión, Quito, 2003, 2007.

En la Tabla 5.4 se muestra resaltado los valores en porcentaje para un número de 20 puntos de travesía.

Para el cálculo de las distancias se multiplica estos valores por el diámetro de la chimenea.

$$\text{Distancia punto 1} = \frac{1.3\% \times 1.03 \text{ m}}{100} = 0.01 \text{ m}$$

$$\text{Distancia punto 2} = \frac{3.9\% \times 1.03 \text{ m}}{100} = 0.04 \text{ m}$$

El cálculo de las distancias se resume en la Tabla 5.5.

**Tabla 5.5. Distancia de los puntos de travesía dentro de la chimenea.**

PUNTO	DISTANCIA (m)	PUNTO	DISTANCIA (m)
<b>1</b>	0.025	<b>11</b>	0.63
<b>2</b>	0.04	<b>12</b>	0.71
<b>3</b>	0.07	<b>13</b>	0.77
<b>4</b>	0.10	<b>14</b>	0.82
<b>5</b>	0.13	<b>15</b>	0.86
<b>6</b>	0.17	<b>16</b>	0.90
<b>7</b>	0.21	<b>17</b>	0.93
<b>8</b>	0.26	<b>18</b>	0.96
<b>9</b>	0.32	<b>19</b>	0.99
<b>10</b>	0.40	<b>20</b>	1.005

Los puntos 1 y 20 de la Tabla 5.5, han sido ajustados para cumplir con el requisito de 2,5 cm mínimos a cada extremo de la pared de la chimenea para chimeneas mayores a 0.65 m de diámetro.

### 5.18.3 CÁLCULOS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO.

Para la obtención de material particulado es requisito haber realizado los cálculos de gases y de obtención de puntos de travesía.

Estos cálculos se basan en las Ecuaciones de los Gases Ideales, a ecuación de velocidad de Bernoulli, y otras obtenidas empíricamente por la EPA.

- **Conversión de promedio de Diferencias de Presión (dp prom) y Presión Estática (PE) a mm H<sub>2</sub>O. Raíz de (dp prom).**

$$mb \times 10 = \text{mm H}_2\text{O}$$

$$dp \text{ prom} = 10 \times 2.02 \text{ mb} = 20.2 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$\sqrt{dp} = 4.49$$

$$PE = 10 \times -0.86 \text{ mb} = -8.6 \text{ mm H}_2\text{O}$$

- **Conversión de Presión Barométrica (Pb) a mm Hg.**

$$mb \times 0.750 = \text{mm Hg}$$

$$Pb = 741.2 \text{ mb} \times 0.750 = 555.94 \text{ mm Hg}$$

- **Cálculo de la Presión Absoluta del Gas en la Chimenea (Ps).**

$$P_s = P_b + \frac{P_{static}}{13.6}$$

$$P_s = 555.94 \text{ mm Hg} + \frac{-8.6 \text{ mmH}_2\text{O}}{13.6} = 555.31 \text{ mm Hg}$$

- **Cálculo del Peso Molecular del Gas Húmedo (Ms).**

Para el cálculo del peso molecular del gas húmedo se necesita estimar el valor de la humedad que este caso por ser Bunker será aproximadamente 0.11 %.

$$M_s = M_d(1 - B_{wo}) + 18(B_{wo})$$

$$M_s = 29.72 \text{ g} (1 - 0.11\%) + 18(0.11\%)$$

$$M_s = 28.44 \text{ g.}$$

- **Cálculo de la Velocidad (Vs).**

$$V_s = K_p \times C_p \times \sqrt{\Delta P} \times \frac{\sqrt{(T_s) + 273}}{\sqrt{[(M_s)(P_s)]}}$$

$$V_s = 34.97 \left[ \frac{m}{s} \left( \frac{\frac{g}{mol} \times mmHg}{^\circ K \times mmH_2O} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \times 0.84 \times 4.49 \text{ mm H}_2\text{O}^{1/2} \times \longrightarrow$$

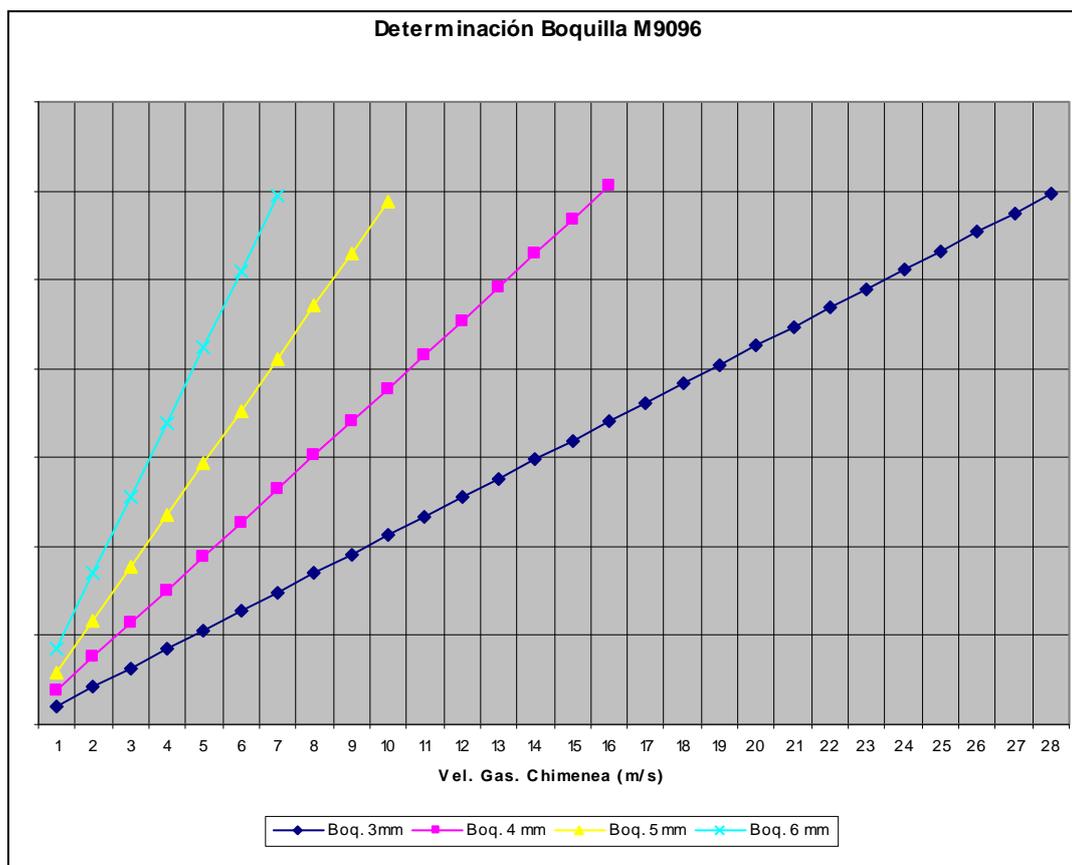
$$\longrightarrow \frac{\sqrt{170^\circ C + 273^\circ K}}{\sqrt{28.44 \text{ g/mol} \times 55.31 \text{ mmHg}}}$$

$$V_s = 22.11 \text{ m/s}$$

- **Determinación de la Boquilla (Dn).**

Para el muestreo de material particulado se debe haber realizado un muestreo preliminar en donde se debe haber determinado el tamaño de la boquilla, el cual se determina utilizando la Figura 5.2.

Figura 5.2. Determinación del tamaño de la boquilla.



Para la determinación de la boquilla se necesita conocer la velocidad, la misma que ha sido calculada en un muestreo preliminar. En este caso se ha seleccionado la boquilla de diámetro 3 mm, ya que es la única que, según la Figura 5.2, puede absorber a esa velocidad.

- **Cálculo del Factor K.**

$$K = 8.04 \times 10^{-5} (C_p)^2 (\Delta H @) \left[ \frac{T_m + 273}{T_s + 273} \right] \left[ \frac{P_s}{P_b} \right] \left[ \frac{M_d}{M_s} \right] (1 - B_{wo}) (D_n)^4$$

$$K = 8.04 \times 10^{-5} (0.84)^2 (45.76 \text{ mmHg } 20) \left[ \frac{23 + 273 \text{ K}}{170 + 273 \text{ K}} \right] \left[ \frac{555.31 \text{ mmHg}}{555.94 \text{ mmHg}} \right] \left[ \frac{29.72 \text{ g}}{28.44 \text{ g}} \right] (1 - 0.11) (3 \text{ mm})^4$$

$$K = 0.1306$$

- **Cálculo del volumen estimado ( $EstV_{mstd}$ ).**

$$EstV_{mstd} = (5.9195 \times 10^{-4}) C_p \sqrt{\frac{Ps}{Ms(273 + Ts)}} (\sqrt{\Delta P_{ave}}) Dn^2 \theta (1 - Bwo)$$

$$EstV_{mstd} = (5.9195 \times 10^{-4}) (0.84) \sqrt{\frac{555.31 \text{ mmHg}}{28.44 \text{ g}(273^\circ \text{K} + 170)}} (\sqrt{4.49 \text{ mmH}_2\text{O}^{1/2}}) (3 \text{ mm})^2 190 \text{ min} (1 - 0.11)$$

$$Est V_{mstd} = 0.714 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la caída de presión a la salida del gas ( $\Delta H$ ).**

$$\Delta H = K \times dp$$

$$\Delta H = 0.1306 \times 20.2 \text{ mm H}_2\text{O} \times 0.075$$

$$\Delta H = 0.2 \text{ mm Hg}$$

- **Rango de isocinetismo provisional.**

En este punto es de destacar que, con los datos de velocidad, boquilla, volumen requerido y humedad obtenida según el combustible de la fuente, se determina el tiempo de muestreo y se observa el rango provisional de isocinetismo, para discriminar la factibilidad o la no factibilidad de la medición.

El combustible empleado por el caldero de la empresa en cuestión es Búnker, por lo tanto los valores provisionales son:

Bwo (humedad del flujo de gas)	= 0,11.
Vm (volumen medido)	= 1,1 m <sup>3</sup> .
t (tiempo de medición)	= 190 min.
% I (rango de isocinetismo)	= 103.9 %.

Al cumplirse todas las condiciones de factibilidad, se procedió al muestreo para la determinación del volumen real medido, humedad real y cantidad de partículas.

- **Cálculo del volumen de gas medido en condiciones estándar (Vmstd).**

$$V_{mstd} = \frac{(0.3592)(V_m) \left( P_b + \frac{\Delta H}{13.6} \right) (Y_d)}{(273 + T_m)}$$

$$V_{mstd} = \frac{\left( 0.3592 \frac{^{\circ}K}{mmHg} \right) (1.11 m^3) \left( 555.94 mmHg + \frac{0.2 mmHg}{13.6} \right) (1)}{(273^{\circ}K + 23)}$$

$$V_{mstd} = 0.75 m^3$$

- **Cálculo del volumen del vapor de agua en condiciones estándar (Vwstd).**

Para el cálculo del volumen en condiciones estándar es necesario conocer el valor colectado de sílica gel (V1c).

$$V1c = 248g - 170g = 78.4g \rightarrow 78.4 mL.$$

$$Vwstd = V1c \times 0.00124$$

$$Vwstd = 78.4 mL \times 0.00124 \frac{m^3 std}{ml}$$

$$Vwstd = 0.1 m^3$$

- **Cálculo del contenido de humedad (Bwo).**

$$B_{wo} = \frac{V_{wstd}}{V_{mstd} + V_{wstd}}$$

$$B_{wo} = \frac{0.1m^3}{0.75m^3 + 0.1m^3}$$

$$B_{wo} = 0.12 = 12\%$$

- **Cálculo del área de la sección transversal del área de la boquilla (An).**

$$A_n = \frac{\pi \times \text{diámetroboquilla}^2}{4}$$

$$A_n = \frac{\pi \times 3mm^2}{4}$$

$$A_n = 7.07 \text{ mm}^2$$

- **Cálculo del porcentaje real de isocinetismo (%I).**

$$\%I = \frac{(4.6398 \times 10^6)(T_s + 273) \times V_{mstd}}{P_s \times V_s \times A_n \times \theta \times (1 - B_{wo})}$$

$$\%I = \frac{(4.6398 \times 10^6)(170 + 273^\circ K) \times 0.75m^3}{555.31mmHg \times 22.11 \frac{m}{s} \times 7.07mm^2 \times 190 \text{ min} \times (1 - 0.12)}$$

$$\%I = 105.3$$

- **Cálculo del área de la sección transversal de la chimenea (As).**

$$A_s = \frac{\pi \times \text{diámetrochimenea}^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi \times (1.03m)^2}{4}$$

$$A_s = 0.83 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de flujo actual en la chimenea ( $Q_a$ ).**

$$Q_a = (60)(A_s)(V_s)$$

$$Q_a = (60)(0.83m^2)(22.11m/s)$$

$$Q_a = 1105.48 m^3/s$$

- **Flujo total de gas seco en la chimenea en condiciones estándar ( $Q_{std}$ ).**

$$Q_{std} = \frac{Q_a \times P_s (0.3592)(1 - B_{wo})}{T_s + 273}$$

$$Q_{std} = \frac{1105.48 \frac{m^3}{s} \times 555.31 mmHg \left( 0.3592 \frac{^\circ K}{mmHg} \right) (1 - 0.04)}{170 + 273^\circ K}$$

$$Q_{std} = 440.48 m^3$$

- **Cálculo de la concentración de material particulado.**

Una vez aprobado el isocinetismo se calcula el material particulado por diferencia de pesos; de no aprobarse el isocinetismo (100% +/- 10%) se deberá repetir la prueba.

$$Mn = \Sigma (\text{Peso final} - \text{peso inicial})$$

$$\text{Diferencia de pesos filtro} = 0.125 - 0.0941 = 0.0309 \text{ g}$$

$$\text{Diferencia de pesos acetona} = 31.472 - 31.46 = 0.012 \text{ g}$$

$$\text{Peso de residuos en caja petri} = 0.0025 \text{ g}$$

$$Mn = 0.0454 \text{ g} = 45.4 \text{ mg}$$

$$C_{\text{mg}/\text{m}^3} = \frac{M_n}{V_{\text{mstd}}}$$

$$C_{\text{mg}/\text{m}^3} = \frac{45.4 \text{ mg}}{0.75 \text{ m}^3}$$

$$C_{\text{mg}/\text{m}^3} = 64.73$$

- **Cálculo de la concentración de material particulado corregido al 7% de oxígeno.**

$$C_{\text{atX}\%} = C \times \frac{21 - X}{21 - \text{act}\%O_2}$$

$$C_{\text{atX}\%} = 64.09 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times \frac{21 - 7}{21 - 10.7}$$

$$C_{\text{atX}\%} = 82.28 \text{ mg}/\text{m}^3$$

- **Cálculo de la carga contaminante de particulado o flujo másico.**

$$E_{\text{g/hr}} = \frac{C \times Q_{\text{std}}}{1000}$$

$$E_{\text{g/hr}} = \frac{82.28 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 440.48 \text{ m}^3}{1000}$$

$$E_{\text{g/h}} = 1606.1$$

$$E_{\text{Kg/h}} = 1.606$$

- **Cálculo de la tasa de emisión de material particulado.**

El cálculo de la emisión puede ser expresado de maneras distintas según las diferentes legislaciones en vigencia. A continuación se presenta el cálculo de la emisión de acuerdo al Municipio de Rumiñahui, expresado en Kg de partículas por metro cúbico de combustible.

$$\text{Emisión particulado} = \frac{E}{\text{ConsumoCombustible}}$$

$$\text{Emisión particulado} = \frac{1.606 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{0.54 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$\text{Emisión particulado (Kg/m}^3_{\text{Comb}}) = 2,99$$

Otras legislaciones como el TULAS, o la Norma Ambiental del Municipio de Quito, exigen que la tasa de emisión se exprese en mg de partículas por normal metro cúbico de flujo de gas, corregido a 7% de oxígeno. En este caso la tasa de emisión tiene el mismo valor que el obtenido en el de la concentración de material particulado corregido al 7% de oxígeno.

$$\text{Emisión particulado (mg/Nm}^3) = 82.28$$

## **CAPÍTULO 6**

### **RESULTADOS Y PLAN DE CONTROL DE EMISIONES DE LAS FUENTES MUESTREADAS**

#### **6.1 RESULTADOS DE LAS FUENTES MUESTREADAS.**

## 6.1.1 LEANSA.

	<b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE</b> <b>LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE</b> <b>MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b>			
	<b>REPORTE DE MUESTREO DE GASES Y PARTICULADO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>			
<b>INFORMACION EMPRESARIAL</b>				
Nombre comercial:	LEANSA	<b>Ubicación</b>		
Actividad:	Producción de lácteos.	Provincia:	Pichincha	
		Cantón:	Rumiñahui	
Encargado:	Ing. Uzeche	Parroquia:	La Colina	
Fecha de Muestreo:	29-11-07 y 30-11-07	Dirección:	Km. 17.5 vía a Santa Clara.	
<b>INFORMACION DEL CALDERO Y CHIMENEA</b>				
Marca del caldero		Mistral		
Tipo de combustible		Diesel		
Consumo de combustible (gal/h)		33		
Altura de chimenea (m)		9		
Diámetro de chimenea (m)		0.45		
Distancia A del puerto de muestreo (m)		3.07		
Distancia B del puerto de muestreo (m)		2.65		
Número de puertos de muestreo		1		
<b>MUESTREO DE GASES</b>				
<b>GASES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
O <sub>2</sub> (%)	9.4	9.3	10.1	9.6
CO <sub>2</sub> (%)	8.6	8.7	8.1	8.5
CO (ppm)	41	42	34	39.0
NO <sub>x</sub> (ppm)	100	100	88	96.0
SO <sub>2</sub> (ppm)	43	28	48	39.7
Exceso de aire (%)	86	93	74	84.3
<b>NUMERO DE HUMO</b>		2		
<b>MUESTREO DE MATERIAL PARTICULADO</b>				
N.- puntos de travesía		20		
Temperatura ambiental (°C)		28.8		
Temperatura chimenea (°C)		180		
Presión barométrica (mmHg)		561.8		
Diferencia de presiones (mmH <sub>2</sub> O)		8.3		
Duración de muestreo (min)		180		
Volumen de gas medido (m <sup>3</sup> )		1.345		

**RESULTADOS: CARGAS CONTAMINANTES Y EMISION**

<b>CARGA CONTAMINANTE (Kg/h)</b>	
CO	0.38
NOx	0.99
SO <sub>2</sub>	0.88
Particulado	0.05

<b>TASA DE EMISION</b>		
EMISIÓN (Kg/m3 Comb)		NORAMTIVA AMBIENTAL RUMIÑAHUI
CO	3.02	0.6
NOx	7.97	3
SO <sub>2</sub>	7.03	12
Particulado	0.36	0.5

<b>TASA DE EMISION</b>			
EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> ) [1]		NORAMTIVA AMBIENTAL TULAS	NORMA AMBIENTAL QUITO
CO	59.87	No aplica	250
NOx	241.68	550	500
SO <sub>2</sub>	142.73	1650	1650
Particulado	16.11	150	150

<sup>[1]</sup> (mg/Nm<sup>3</sup>): miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, (1013mb de presión, y temperatura de 0°C), en base seca y corregida al 7% de oxígeno.

## 6.1.2 PRONACA.

	<b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE</b> <b>LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE</b> <b>MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b>			
	<b>REPORTE DE MUESTREO DE GASES Y PARTICULADO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>			
<b>INFORMACION EMPRESARIAL</b>				
Nombre comercial:	PRONACA	<b>Ubicación</b>		
Actividad:	Producción de alimento para animales.	Provincia:	Píchincha	
		Cantón:	Quito	
Encargado:	Sr. Chérrez	Parroquia:	Puembo	
Fecha de Muestreo:	20-12-07 y 09-01-08	Dirección:	Vía Interoceánica, a 5 Km. desvío Baeza	
<b>INFORMACION DEL CALDERO Y CHIMENEA</b>				
Marca del caldero	Cleaver Brooks			
Tipo de combustible	Búnker			
Consumo de combustible (gal/h)	35			
Altura de chimenea (m)	6			
Diámetro de chimenea (m)	0.39			
Distancia A del puerto de muestreo (m)	1.45			
Distancia B del puerto de muestreo (m)	1.65			
Número de puertos de muestreo	1			
<b>MUESTREO DE GASES</b>				
<b>GASES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
O <sub>2</sub> (%)	9.4	7.9	9.5	8.9
CO <sub>2</sub> (%)	9.1	10.3	9	9.5
CO (ppm)	51	47	46	48.0
NO <sub>x</sub> (ppm)	251	260	245	252.0
SO <sub>2</sub> (ppm)	339	392	368	366.3
Exceso de aire (%)	76	78	56	70.0
<b>NUMERO DE HUMO</b>		4		
<b>MUESTREO DE MATERIAL PARTICULADO</b>				
N. - puntos de travesía	24			
Temperatura ambiental (°C)	28			
Temperatura chimenea (°C)	205			
Presión barométrica (mmHg)	565.1			
Diferencia de presiones (mmH <sub>2</sub> O)	8.1			
Duración de muestreo (min)	176			
Volumen de gas medido (m <sup>3</sup> )	1.072			

**RESULTADOS: CARGAS CONTAMINANTES Y EMISION**

<b>CARGA CONTAMINANTE (Kg/h)</b>	
CO	0.36
NOx	2.02
SO <sub>2</sub>	6.27
Particulado	0.18

<b>TASA DE EMISION</b>		
EMISIÓN (Kg/m <sup>3</sup> Comb)		NORAMTIVA AMBIENTAL RUMIÑAHUI
CO	2.71	0.6
NOx	15.26	7.5
SO <sub>2</sub>	47.36	35
Particulado	1.39	2.2

<b>TASA DE EMISION</b>			
EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> ) [1]		NORAMTIVA AMBIENTAL TULAS	NORMA AMBIENTAL QUITO
CO	69.61	No aplica	300
NOx	599.37	550	700
SO <sub>2</sub>	1245.33	1650	1650
Particulado	84.27	150	200

<sup>[1]</sup> (mg/Nm<sup>3</sup>): miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, (1013mb de presión, y temperatura de 0°C), en base seca y corregida al 7% de oxígeno.

## 6.1.3 DANEC.

	<b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE</b> <b>LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE</b> <b>MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b>			
	<b>REPORTE DE MUESTREO DE GASES Y PARTICULADO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>			
<b>INFORMACIÓN EMPRESARIAL</b>				
Nombre comercial:	DANEC	<b>Ubicación</b>		
Actividad:	Producción de aceites, grasas, jabones, etc.	Provincia:	Pichincha	
Encargado:	Ing. Aguirre	Cantón:	Rumiñahui	
Fecha de Muestreo:	17-01-08 y 18-01-08	Parroquia:		
		Dirección:	Km. 1.5 vía a Amaguaña.	
<b>INFORMACIÓN DEL CALDERO Y CHIMENEA</b>				
Marca del caldero	Distral			
Tipo de combustible	Búnker			
Consumo de combustible (gal/h)	142			
Altura de chimenea (m)	11.65			
Diámetro de chimenea (m)	1.03			
Distancia A del puerto de muestreo (m)	2			
Distancia B del puerto de muestreo (m)	5.25			
Número de puertos de muestreo	1			
<b>MUESTREO DE GASES</b>				
<b>GASES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
O <sub>2</sub> (%)	10.4	10.8	10.8	10.7
CO <sub>2</sub> (%)	8	8.3	8.1	8.1
CO (ppm)	140	137	143	140.0
NO <sub>x</sub> (ppm)	161	167	162	163.3
SO <sub>2</sub> (ppm)	339	335	339	337.7
Exceso de aire (%)	100	92	95	95.7
<b>NUMERO DE HUMO</b>		6		
<b>MUESTREO DE MATERIAL PARTICULADO</b>				
N.- puntos de travesía	20			
Temperatura ambiental (°C)	23			
Temperatura chimenea (°C)	170			
Presión barométrica (mmHg)	555.9			
Diferencia de presiones (mmH <sub>2</sub> O)	20.2			
Duración de muestreo (min)	190			
Volumen de gas medido (m <sup>3</sup> )	1.108			

**RESULTADOS: CARGAS CONTAMINANTES Y EMISION**

<b>CARGA CONTAMINANTE (Kg/h)</b>	
CO	10.26
NOx	12.83
SO <sub>2</sub>	56.61
Particulado	1.61

<b>TASA DE EMISION</b>		
EMISIÓN (Kg/m <sup>3</sup> Comb)		NORAMTIVA AMBIENTAL RUMIÑAHUI
CO	19.11	0.6
NOx	23.90	7.5
SO <sub>2</sub>	105.46	35
Particulado	2.99	2.2

<b>TASA DE EMISION</b>			
EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> ) [1]		NORAMTIVA AMBIENTAL TULAS	NORMA AMBIENTAL QUITO
CO	237.10	No aplica	300
NOx	453.65	550	700
SO <sub>2</sub>	1340.43	1650	1650
Particulado	82.28	150	200

<sup>[1]</sup> (mg/Nm<sup>3</sup>): miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, (1013mb de presión, y temperatura de 0°C), en base seca y corregida al 7% de oxígeno.

## 6.1.4 PINDATEX.

	<b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE</b> <b>LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE</b> <b>MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b>			
	<b>REPORTE DE MUESTREO DE GASES Y PARTICULADO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>			
<b>INFORMACION EMPRESARIAL</b>				
Nombre comercial:	PINDATEX	<b>Ubicación</b>		
Actividad:	Acabados de textiles.	Provincia:	Pichincha	
		Cantón:	Rumiñahui	
Encargado:	Ing. Pinto	Parroquia:		
Fecha de Muestreo:	22-01-08 y 24-01-08	Dirección:	Calle Recalex, Km. 26 vía a Amaguaña.	
<b>INFORMACION DEL CALDERO Y CHIMENEA</b>				
Marca del caldero		Kewanee		
Tipo de combustible		Búnker		
Consumo de combustible (gal/h)		25		
Altura de chimenea (m)		11		
Diámetro de chimenea (m)		0.5		
Distancia A del puerto de muestreo (m)		4		
Distancia B del puerto de muestreo (m)		4		
Número de puertos de muestreo		1		
<b>MUESTREO DE GASES</b>				
<b>GASES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
O <sub>2</sub> (%)	5.6	5.6	5.8	5.7
CO <sub>2</sub> (%)	12.1	12.1	12.7	12.3
CO (ppm)	81	86	93	86.7
NO <sub>x</sub> (ppm)	276	273	273	274.0
SO <sub>2</sub> (ppm)	600	588	633	607.0
Exceso de aire (%)	34	34	35	34.3
<b>NUMERO DE HUMO</b>		8		
<b>MUESTREO DE MATERIAL PARTICULADO</b>				
N.- puntos de travesía		8		
Temperatura ambiental (°C)		29.7		
Temperatura chimenea (°C)		198		
Presión barométrica (mmHg)		558.1		
Diferencia de presiones (mmH <sub>2</sub> O)		8.8		
Duración de muestreo (min)		150		
Volumen de gas medido (m <sup>3</sup> )		0.963		

**RESULTADOS: CARGAS CONTAMINANTES Y EMISION**

<b>CARGA CONTAMINANTE (Kg/h)</b>	
CO	2.13
NO <sub>x</sub>	7.22
SO <sub>2</sub>	34.13
Particulado	0.55

<b>TASA DE EMISION</b>		
EMISIÓN (Kg/m <sup>3</sup> Comb)		NORAMTIVA AMBIENTAL RUMIÑAHUI
CO	22.54	0.6
NO <sub>x</sub>	76.39	7.5
SO <sub>2</sub>	361.19	35
Particulado	5.80	2.2

<b>TASA DE EMISION</b>			
EMISIÓN (mg/Nm <sup>3</sup> ) [1]		NORAMTIVA AMBIENTAL TULAS	NORMA AMBIENTAL QUITO
CO	98.91	No aplica	300
NO <sub>x</sub>	512.86	550	700
SO <sub>2</sub>	1623.86	1650	1650
Particulado	129.15	150	200

<sup>[1]</sup> (mg/Nm<sup>3</sup>): miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, (1013mb de presión, y temperatura de 0°C), en base seca y corregida al 7% de oxígeno.

**6.2 PLAN DE CONTROL DE EMISIONES DE LAS FUENTES MUESTREADAS.****6.2.1 LEANSA.**

	<b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b>	
	<b>PLAN DE CONTROL DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>	
<b>INFORMACIÓN EMPRESARIAL</b>		
Nombre comercial:	LEANSA	<b>Ubicación</b>
Actividad:	Producción de lácteos.	Provincia: Pichincha
		Cantón: Rumiñahui
Encargado:	Ing. Uzeche	Parroquia: La Colina
Fecha de Muestreo:	29-11-07 y 30-11-07	Dirección: Km. 17.5 vía a Santa Clara.
<b>Objetivo</b>		
Reducir las emisiones de CO y NOx del caldero principal.		
<b>Acciones</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuir el exceso de aire de combustión en un 40%, ya que los valores muestreados son muy altos. Se sugiere implantar un mecanismo de recirculación de los gases de combustión, en el que una parte del flujo de gas se reinyecta a la zona de combustión, reduciendo el nivel de oxígeno y la temperatura. De esta forma se reduce la formación de NOx.</li> <li>• Para controlar la formación de CO se recomienda darle un mayor mantenimiento al caldero y equipos asociados al mismo, con el fin de obtener una mejor combustión.</li> <li>• Monitoreo mensual de control interno de las emisiones al realizarse los cambios sugeridos.</li> </ul>		
<b>Responsables</b>		
Ingeniero encargado del mantenimiento de la empresa.		

6.2.2 PRONACA.

	<p><b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE</b>  <b>LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE</b>  <b>MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b></p>		
<b>PLAN DE CONTROL DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>			
<b>INFORMACION EMPRESARIAL</b>			
Nombre comercial:	PRONACA	<b>Ubicación</b>	
Actividad:	Producción de alimento para animales.	Provincia:	Pichincha
		Cantón:	Quito
Encargado:	Sr. Chérrez	Parroquia:	Puembo
Fecha de Muestreo:	20-12-07 y 09-01-08	Dirección:	Vía Interoceánica, a 5 Km de la ciudad de Quito
<b>Objetivo</b>			
Disminuir el exceso de aire.			
<b>Acciones</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El único parámetro que se acerca al límite permisible es el correspondiente a los NOx. Para disminuir esta emisión se sugiere disminuir el exceso de aire (nivel de oxígeno) de combustión en un 30%.</li> </ul>			
<b>Responsables</b>			
Técnico encargado del funcionamiento del caldero.			

## 6.2.3 DANEC.

	<b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE</b> <b>LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE</b> <b>MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b>			
	<b>PLAN DE CONTROL DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>			
<b>INFORMACION EMPRESARIAL</b>				
Nombre comercial:	DANEC	<b>Ubicación</b>		
Actividad:	Producción de aceites, grasas, jabones, etc.	Provincia:	Pichincha	
		Cantón:	Rumiñahui	
Encargado:	Ing. Aguirre	Parroquia:		
Fecha de Muestreo:	17-01-08 y 18-01-08	Dirección:	Km. 1.5 vía a Amaguaña.	
<b>Objetivo</b>				
Disminuir las emisiones de CO, NOx, SO2, partículas y el exceso de aire.				
<b>Acciones</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debido a la baja eficiencia del caldero, y en vista de su tiempo en funcionamiento, tener en cuenta la alternativa de comprar uno nuevo. De no ser factible, o mientras se realiza el cambio, se sugiere lo siguiente:</li> <li>• Disminuir el exceso de aire en por lo menos un 50% e implementar un sistema de recirculación de gases, donde un flujo de gas se reinyecta en la zona de combustión, reduciendo la temperatura, el nivel de oxígeno y los NOx.</li> <li>• Un mantenimiento completo al caldero y sus equipos asociados reducirá la emisión de CO, al obtener una mejor combustión.</li> <li>• La tasa de SO2 y particulado pueden verse reducidas implantando un sistema de secado por aspersión de cal. En este sistema se pasa el gas con SOx a un depurador donde reacciona con microgránulos de cal, y se forma polvo, que junto con otras partículas se recogerán en un ciclón.</li> <li>• De manera general se aconseja la utilización de combustible de mejor calidad.</li> <li>• Realizar un monitoreo interno periódico para evaluar la eficiencia del caldero.</li> </ul>				
<b>Responsables</b>				
Ingeniero encargado del funcionamiento de los calderos.				

## 6.2.4 PINDATEX.

	<b>CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE</b> <b>LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE</b> <b>MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO</b>		
	<b>PLAN DE CONTROL DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION</b>		
<b>INFORMACION EMPRESARIAL</b>			
Nombre comercial:	PINDATEX	<b>Ubicación</b>	
Actividad:	Acabados de textiles.	Provincia:	Pichincha
		Cantón:	Rumiñahui
Encargado:	Ing. Pinto	Parroquia:	
Fecha de Muestreo:	22-01-08 y 24-01-08	Dirección:	Calle Recalex, Km. 26 vía a Aguas Calientes
<b>Objetivo</b>			
<p>1• Disminuir las emisiones de CO, NOx, SO2, partículas.</p> <p>2• Mejorar las instalaciones en el área de calderos para realizar un monitoreo.</p>			
<b>Acciones</b>			
<p>1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprar un nuevo caldero, en vista de que los todos los parámetros medidos sobrepasan la norma en forma considerable. De no ser posible, se recomienda una reparación y mantenimiento integral y las siguientes acciones:</li> <li>• Reducir el exeso de aire en un 10% e implementar un sistema de recirculación de gases, en el que una parte del flujo de gas se reinyecta en la fuente, para disminuir el nivel de oxígeno y la temperatura, y por consiguiente los NOx.</li> <li>• El mejor mantenimiento del caldero y la utilización de combustible de mejor calidad reducirá la tasa de CO.</li> <li>• Se puede controlar el SO2 y el particulado con un sistema de aspersion de cal, donde el gas con SO2 entra en un depurador y reacciona con microgránulos de cal formando partículas, que junto con otras se recogen en un filtro de tejido.</li> <li>• Realizar un monitoreo interno continuo para evaluar la eficiencia del caldero.</li> </ul> <p>2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir una plataforma de acceso al puerto de muestreo.</li> <li>• Mejorar la chimenea haciéndola uniforme para reducir la turbulencia del flujo de gas.</li> <li>• La profundidad del puerto de muestreo debe ser de mínimo 10 cm.</li> </ul>			
<b>Responsables</b>			
<p>Técnico encargado del funcionamiento del caldero.</p>			

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES.**

#### **Respecto a las Industrias y Autoridades.**

- De acuerdo a lo observado en la fase de campo de este estudio, se puede decir que la mayoría de las industrias del Cantón Rumiñahui carecen de los medios necesarios para poder llevar a cabo un muestreo de manera segura y eficiente. Esto se da porque existe un total desconocimiento, por parte de las empresas y las autoridades, sobre los métodos empleados para el muestreo de contaminantes en fuentes de combustión fijas.
- No existe la iniciativa por parte de las empresas para organizar una planificación seria para tratar los problemas de contaminación del aire, al contrario prefieren cancelar las multas pertinentes.

#### **Respecto a la Legislación.**

- La normativa ambiental del I. Municipio de Rumiñahui está en desacuerdo con la Ley Nacional. Uno de los puntos importantes en este desacuerdo son las unidades en las que se expresan las tasas de emisión (El I. M. expresa en  $\text{Kg/m}^3$  de combustible, mientras que el TULAS expresa en  $\text{mg/Nm}^3$  de flujo de gas).
- En el caso del límite permisible de emisión del monóxido de carbono para el I. Municipio de Rumiñahui, se nota que tiene un nivel muy elevado de exigencia, de tal forma que empresas, cuyos sistemas de emisión están en buen estado de funcionamiento, no podrían cumplir con este límite ( $0.6 \text{ Kg/m}^3$  de combustible).

**Respecto a la Metodología.**

- La determinación de las tasas de emisión de gases y material particulado en fuentes fijas de combustión, se fundamentan en la Ley de los Gases Ideales y el Principio de Bernoulli.
- La metodología para la ejecución del análisis de gases resulta eficaz y eficiente, ya que emplea el método de la celda electroquímica, permitiendo obtener los resultados de forma automática.
- Para la determinación de la emisión de material particulado, la metodología empleada es una adaptación del método ISO 9096 (Anexo 2) con el método EPA 17. Este método de adaptación toma datos promedio de los puntos de travesía, lo que representa un isocinetismo general.
- La metodología para la determinación de la emisión de partículas es compleja, ya que requiere de la obtención de una serie de datos que no se los puede conseguir inmediatamente en la medición en campo, como el porcentaje de isocinetismo.
- Para que un muestreo de material particulado se lleve a cabo, el flujo de gas debe ser lo suficientemente laminar.
- Es posible alcanzar un porcentaje de isocinetismo que se halle dentro del rango establecido y un buen margen de representatividad del muestreo, siempre y cuando se establezcan correctamente el número de puntos de travesía y su ubicación, y que las estimaciones en la fase de prueba (determinación de isocinetismo previo) sean lo más cercanos a la realidad.
- La variación de los valores de presión estática (PE), presión absoluta (Ps) y el peso molecular del gas seco (Ms) son mínimos en cada muestreo, en relación al peso molecular del aire y la presión barométrica presente en el sector donde se realiza el

muestreo. Por lo tanto, no implican cambios significativos en el porcentaje de isocinetismo.

- La temperatura y la diferencia de presiones son factores determinantes para el cálculo de la velocidad del gas en la chimenea, el volumen estimado a medirse, la elección del tamaño de la boquilla, y por consiguiente, el porcentaje de isocinetismo.
- La determinación de las cargas contaminantes y las tasas de emisión de gases y partículas son hechas a condiciones estándar de temperatura y presión, para lo cual, todos los cálculos previos deben ser hechos descartando la humedad del flujo de gas.
- El tamaño de la boquilla a emplearse depende totalmente de la capacidad de absorción de flujo que tenga el equipo de muestreo (caudal de absorción).
- *El caudal de absorción es igual al producto de la velocidad del gas en la chimenea por el área de la boquilla. De esta forma la velocidad del gas es la misma tanto en la chimenea como en la boquilla lo que dictamina que el muestreo sea isocinético. (Esto explica el Nanograma de Determinación de la Boquilla en función de la Velocidad del gas, que se encuentra en el Anexo 3).*
- La velocidad del gas en la chimenea es inversamente proporcional al tamaño de la boquilla.
- Para la fase de determinación del porcentaje de isocinetismo previo, el valor del volumen medido en campo debe ser estimado, es decir, tomado como un valor de volumen a medirse.
- El volumen a medirse en campo es el que determina el caudal de absorción al que el equipo debe trabajar en un tiempo dado, mediante la relación: volumen medido = caudal de absorción x tiempo.

### **Respecto a los equipos para las mediciones.**

- Existe un limitante en el equipo Thermo Andersen M9096, ya que es diseñado para cumplir la norma ISO. Este limitante es el tiempo que implica un muestreo.
- El equipo Bacharach 300 para el análisis de gases, y el equipo Testo Smoke Pump para la medición de número de humo, son muy buenos respaldos para las mediciones de material particulado.
- El equipo Thermo Andersen Air Velocity Data Logger presenta en un perfil de velocidades práctico para detectar las posibles anomalías en el funcionamiento de la fuente.
- El diámetro de la chimenea puede llegar a ser un limitante para un muestreo, debido a las extensiones del tubo Pitot tipo S.

### **Respecto a los Sistemas de Control de Contaminantes.**

- El valor de exceso de aire nos permite determinar métodos de tratamiento más prácticos, que permitan ahorrar costos en la implantación del sistema de control de contaminación.
- Las correcciones en la fuente de emisión pueden ser el mejor método para disminuir el tamaño y el funcionamiento necesarios de un sistema de tratamiento, o incluso eliminar su necesidad.

## **RECOMENDACIONES.**

### **Respecto a las Industrias y Autoridades.**

- El I. Municipio de Rumiñahui debe actualizarse en cuanto a los métodos que se emplean para los monitoreos de gases y material particulado, y establecerlos como parte de su legislación.
- Las industrias deben contar con las facilidades de logística e información mínimas para poder realizar un monitoreo en fuentes de combustión fijas. Se sugiere que estas facilidades se implanten en base al TULAS, Título VI, Anexo 3.
- La Escuela Politécnica del Ejército debería promover la actualización y mantenimiento de los equipos aptos para un monitoreo en fuentes fijas de combustión.
- La Escuela Politécnica del Ejército podría planificar la prestación de servicios a la comunidad en cuanto al monitoreo y análisis de las emisiones contaminantes en fuentes de combustión fijas.

### **Respecto a la Legislación.**

- Se sugiere que se revise, se evalúe y se actualice, en congruencia con la ley nacional, a las normas sobre las emisiones en fuentes de combustión fijas del Cantón Rumiñahui.

### **Respecto a la Metodología.**

- Lo óptimo para un monitoreo es que se lo lleve a cabo con tres personas: dos técnicos y un ayudante.
- En el caso de no disponer de los valores de peso molecular del gas seco y presión absoluta, se puede aproximar estos valores a 30g/gmol y a al valor de la presión barométrica del sector, respectivamente.
- En un muestreo de material particulado, de ser posible, basar las estimaciones requeridas en la fase de prueba para la determinación del isocinetismo previo en datos anteriores ya medidos.
- Procurar que el rango de isocinetismo previo esté en dentro de 95 al 105%, para que exista un margen aceptable de error al momento de realizar las mediciones reales.

### **Respecto a los Sistemas de Control de Contaminantes.**

- Al momento de determinar un sistema de tratamiento para las emisiones contaminantes en fuentes de combustión fijas, tener en cuenta que el problema de contaminación del aire puede ser traducido en un problema de contaminación del agua o el suelo, dependiendo de qué sistema de tratamiento se utilice.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.**

**TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL  
SECUNDARIA, LIBRO VI, ANEXO 3.**

**NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE  
COMBUSTION**

## **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 límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para emisiones de contaminantes del aire hacia la atmósfera desde fuentes fijas de combustión.
- Los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las cantidades emitidas de contaminantes del aire desde fuentes fijas de combustión.

## **1. OBJETO**

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar o conservar 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 permisibles de emisiones al aire desde diferentes actividades. La norma provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las emisiones al aire que se verifiquen desde procesos de combustión en fuentes fijas. Se provee también de herramientas de gestión destinadas a promover el cumplimiento con los valores de calidad de aire ambiente establecidos en la normativa pertinente.

## **2. DEFINICIONES**

*Nota: La mayoría de estas definiciones se hallan en el glosario de este documento.*

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:

### **2.11 Contaminantes comunes del aire**

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

### **2.16 Fuente fija existente**

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones ya sea en operación o que cuenta con autorización para operar, por parte de la Entidad Ambiental de Control, antes de Enero de 2003.

### **2.17 Fuente fija nueva**

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones que ingrese en operación a partir de Enero de 2003.

### **2.18 Fuente fija modificada**

Se entiende a aquella fuente fija existente que experimenta un incremento en su capacidad operativa y que implica mayores emisiones.

### **2.20 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.

### **2.21 Línea de muestreo**

Es el eje en el plano de muestreo a lo largo del cual se localiza los puntos de medición, y está limitada por la pared interna de la chimenea o conducto.

### **2.23 Mejor tecnología de control disponible (BACT por sus siglas en inglés)**

Limitación de emisiones al aire basada en el máximo grado de reducción de emisiones, considerando aspectos de energía, ambientales y económicos, alcanzable mediante la aplicación de procesos de producción y métodos, sistemas y técnicas disponibles.

### **2.24 Micrón**

Millonésima parte de un metro.

### **2.25 Mínima tasa de emisión posible (LAER por sus siglas en inglés)**

Es la tasa de emisión desde una fuente fija que refleja la limitación de la mayor exigencia en emisiones alcanzable en la práctica.

### **2.26 Modelo de dispersión**

Técnica de investigación que utiliza una representación matemática y física de un sistema, en este caso el sistema consiste de una o varias fuentes fijas de emisión, de las condiciones meteorológicas y topográficas de la región, y que se utiliza para predecir la(s) concentración(es) resultante(s) de uno o más contaminantes emitidos desde, ya sea una fuente fija específica o desde un grupo de dichas fuentes. La predicción de concentraciones de contaminantes, a nivel de suelo, para el caso de una o varias fuentes fijas, se especificará para receptores situados al exterior del límite del predio del propietario u operador de la(s) fuente (s) evaluadas.

## **2.29 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.

## **2.32 Opacidad**

Grado de reducción de luminosidad que ocasiona una sustancia al paso por ella de la luz visible.

## **2.33 Partículas Totales**

Para efectos de emisiones desde fuentes de combustión, se designa como partículas totales al material particulado que es captado en un sistema de muestreo similar en características al descrito en el método 5 de medición de emisiones de partículas, publicado por la US EPA.

## **3. CLASIFICACIÓN**

Esta norma establece los límites máximos permisibles, tanto de concentraciones de contaminantes comunes, a nivel del suelo, en el aire ambiente, como de contaminantes emitidos desde fuentes fijas de combustión. La norma establece la presente clasificación:

1. Límites permisibles de emisión de contaminantes al aire desde combustión en fuentes fijas.
2. Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión.
3. Límites permisibles de emisión de contaminantes al aire para procesos productivos:
  - a. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de cemento.
  - b. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de envases de vidrio.

- c. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de pulpa de papel.
- d. Límites permisibles de emisión desde procesos de fundición de metales ferrosos.
- e. Normas de emisión desde combustión de bagazo en equipos de combustión de instalaciones de elaboración de azúcar.
- f. Límites permisibles de emisión desde motores de combustión interna.

## **4. REQUISITOS**

### **4.1 De los límites permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión**

#### 4.1.1 De las fuentes fijas significativas de emisiones al aire

4.1.1.1 Para la aplicación de la presente norma técnica, se definen fuentes fijas significativas y fuentes fijas no significativas, de emisiones al aire por proceso de combustión.

4.1.1.2 Serán designadas como fuentes fijas significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (heat input) sea igual o mayor a tres millones de vatios ( $3 \times 10^6$  W), o, diez millones de unidades térmicas británicas por hora ( $10 \times 10^6$  BTU/h).

4.1.1.3 Para las fuentes fijas que se determinen como fuentes significativas, éstas deberán demostrar cumplimiento con los límites máximos permisibles de emisión al aire, definidos en esta norma técnica, en sus Tablas 1 y 2, según se corresponda. Para esto, la fuente deberá efectuar mediciones de la tasa actual de emisión de contaminantes. Si los resultados fuesen superiores a los valores máximos permisibles de emisión, la fuente fija deberá entonces establecer los métodos o los equipos de control necesarios para alcanzar cumplimiento con los valores máximos de emisión estipulados en esta norma.

4.1.1.4 Serán designadas como fuentes fijas no significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (heat input) sea menor a tres millones de vatios ( $3 \times 10^6$  W), o, diez

millones de unidades térmicas británicas por hora ( $10 \times 10^6$  BTU/h). Estas fuentes fijas de combustión no estarán obligadas a efectuar mediciones de sus emisiones actuales, y deberán proceder según se indica en el siguiente artículo.

4.1.1.5 Las fuentes fijas no significativas, aceptadas como tal por parte de la Entidad Ambiental de Control, demostrarán cumplimiento con la normativa mediante alguno de los siguientes métodos:

- a. El registro interno, y disponible ante la Entidad Ambiental de Control, del seguimiento de las prácticas de mantenimiento de los equipos de combustión, acordes con los programas establecidos por el operador o propietario de la fuente, o recomendados por el fabricante del equipo de combustión;
- b. resultados de análisis de características físicas y químicas del combustible utilizado, en particular del contenido de azufre y nitrógeno en el mismo;
- c. la presentación de certificados por parte del fabricante del equipo de combustión en cuanto a la tasa esperada de emisiones de contaminantes, en base a las características del combustible utilizado.
- d. mediante inspección del nivel de opacidad de los gases de escape de la fuente;
- e. mediante el uso de altura de chimenea recomendada por las prácticas de ingeniería;
- f. otros que se llegaren a establecer.

4.1.1.6 Para la verificación de cumplimiento por parte de una fuente fija no significativa con alguno de los métodos descritos, el operador u propietario de la fuente deberá mantener los debidos registros o certificados, a fin de reportar a la Entidad Ambiental de Control con una frecuencia de una vez por año.

4.1.1.7 No obstante de lo anterior, las fuentes fijas no significativas podrán ser requeridas, por parte de la Entidad Ambiental de Control, de efectuar evaluaciones adicionales de sus emisiones, en el caso de que estas emisiones excedan o comprometan las concentraciones máximas permitidas, a nivel del suelo, de contaminantes del aire. Estas últimas concentraciones de contaminantes en el aire ambiente se encuentran definidas en la norma correspondiente a calidad de aire.

4.1.1.8 Las fuentes fijas no significativas deberán someter, a consideración de la Entidad Ambiental de Control, los planos y especificaciones técnicas de sus sistemas de

combustión, esto como parte de los procedimientos normales de permiso de funcionamiento.

#### 4.1.2 Valores máximos permisibles de emisión

4.1.2.1 Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión existentes, son los establecidos en la Tabla 1 de esta norma.

**Tabla 1. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación antes de Enero de 2003**

CONTAMINANTE EMITIDO	COMBUSTIBLE UTILIZADO	VALOR	UNIDADES <sup>[1]</sup>
Partículas Totales	Sólido	355	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	355	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	1100	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	700	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	500	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	Sólido	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/Nm<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

<sup>[2]</sup> combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

4.1.2.2 Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión nuevas, son los establecidos en la Tabla 2 de esta norma.

**Tabla 2. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación a partir de Enero de 2003**

CONTAMINANTE EMITIDO	COMBUSTIBLE UTILIZADO	VALOR	UNIDADES <sup>[1]</sup>
Partículas Totales	Sólido	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	850	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	550	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	400	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	Sólido	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	1650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Notas: <sup>[1]</sup> mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

<sup>[2]</sup> combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

4.1.2.3 La Entidad Ambiental de Control utilizará los límites máximos permisibles de emisiones indicados en las Tablas 1 y 2 para fines de elaborar su respectiva norma (ver Reglamento a la Ley de Prevención y Control de Contaminación). La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de emisión de mayor exigencia, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe indicaren dicha necesidad.

4.1.2.4 El Ministerio del Ambiente definirá la frecuencia de revisión de los valores establecidos como límite máximo permitido de emisiones al aire. De acuerdo a lo establecido en el reglamento para la prevención y control de la contaminación, se analizará la conveniencia de unificar los valores de emisión para fuentes en operación antes de Enero de 2003 y posteriores a esta fecha. La revisión deberá considerar, además, las bases de datos de emisiones, así como de los datos de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente, efectúe la Entidad Ambiental de Control.

#### 4.1.3 Del cumplimiento con la normativa de emisiones máximas permitidas

4.1.3.1 Las fuentes fijas de emisiones al aire por combustión, existentes a la fecha de promulgación de esta norma técnica, dispondrán de plazos, a ser fijados mediante acuerdo entre el propietario u operador de la fuente fija y la Entidad Ambiental de Control, a fin de adecuar la emisión de contaminantes a niveles inferiores a los máximos permisibles. El otorgamiento de estos plazos queda supeditado, en cada caso, a los estudios y evaluaciones que realice la Entidad Ambiental de Control. En ningún caso estos plazos serán mayores a cinco años, de acuerdo a lo establecido en el reglamento.

4.1.3.2 Dentro de los términos que especifiquen las respectivas reglamentaciones, todas las fuentes fijas deberán obtener su respectivo permiso de funcionamiento, el cual será renovado con la periodicidad que determine la Entidad Ambiental de Control. Esta última queda también facultada para fijar las tasas que correspondan por la retribución del servicio.

4.1.3.3 Esquema Burbuja.- de existir varias fuentes fijas de emisión, bajo la responsabilidad sea de un mismo propietario y/o de un mismo operador, y al interior de una misma región, la emisión global de las fuentes podrá calcularse mediante una fórmula que pondere las fuentes fijas presentes en la instalación. Se establece la siguiente fórmula:

$$E_{global} = \frac{A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + \dots + A_i * E_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

Donde:

$E_{global}$ : tasa de emisión global para el conjunto de fuentes fijas de combustión,

$A_i$  : factor de ponderación, y que puede ser el consumo de combustible de la fuente número i, o el caudal de gases de combustión de la respectiva fuente número i,

$E_i$  : tasa actual de emisión determinada para cada fuente.

El resultado a obtenerse con la ecuación indicada, y que representa el equivalente ponderado para un grupo de fuentes fijas de combustión, deberá ser comparado con el

valor máximo de emisión permitida descrito en esta normativa, resultado equivalente para una sola fuente fija de combustión.

#### 4.1.4 Fuentes fijas de combustión existentes, nuevas y modificadas

4.1.4.1 Toda fuente fija de combustión, que experimente una remodelación, una modificación sustancial de la misma, o un cambio total o parcial de combustible, deberá comunicar a la Entidad Ambiental de Control este particular. Para el caso de una fuente fija significativa, se deberá comunicar además una evaluación de las emisiones esperadas una vez que el proyecto de remodelación o modificación culmine.

4.1.4.2 Las fuentes fijas significativas nuevas, o fuentes existentes remodeladas o modificadas sustancialmente, como parte integral del estudio de impacto ambiental requerido, deberán evaluar su impacto en la calidad del aire mediante el uso de modelos de dispersión. Las fuentes existentes, significativas, deberán también proceder a evaluar su impacto en la calidad del aire mediante modelos de dispersión, esto de ser requerido en los estudios de auditoria ambiental o de estudio de impacto ambiental expost. El modelo de dispersión calculará la concentración esperada de contaminantes del aire a nivel del suelo, que se espera sean emitidos desde las fuentes fijas nuevas, y se procederá a determinar si estas concentraciones calculadas cumplen o no con la norma de calidad de aire. Para efectos de determinación de cumplimiento con la norma, la concentración calculada para cada contaminante del aire evaluado, atribuible a la operación de las fuentes fijas nuevas, deberá ser adicionada a la concentración existente de cada contaminante, según se describe en el siguiente artículo.

4.1.4.3 Una fuente fija nueva, remodelada o modificada, y que se determine como significativa, deberá establecer aquellos contaminantes emitidos por la misma, que son significativos para con la calidad del aire ambiente. Para tal efecto se utilizará un modelo de dispersión de tipo preliminar, ejemplo SCREEN, de la US EPA, mediante el cual se verificará si las concentraciones calculadas por este modelo, para cada contaminante modelado, sobrepasan o no los valores estipulados en la Tabla 3. Si la predicción mediante modelo indica que la concentración de un contaminante supera el valor presentado en la Tabla 3, entonces aquel contaminante se designa como significativo para la fuente. La Entidad Ambiental de Control solicitará que la fuente proceda a la aplicación de un modelo

detallado, únicamente para los contaminantes significativos que se determinen. Eventualmente, la Entidad Ambiental de Control implementará programas de mediciones de concentraciones, a nivel de suelo, de los contaminantes significativos, una vez que la fuente ingrese en operación.

**Tabla 3. Valores de incremento de concentración de contaminantes comunes, a nivel del suelo, para definición de contaminantes significativos <sup>[1]</sup>**

<b>CONTAMINANTE / PERÍODO DE TIEMPO</b>	<b>CRITERIO DE SIGNIFICANCIA, EXPRESADO EN MICROGRAMOS METRO CÚBICO DE AIRE</b>
<b>Óxidos de Nitrógeno NOx</b>	
Anual	1,0
<b>Dióxido de Azufre SO2</b>	
Anual	1,0
24-Horas	5,0
3-Horas	25,0
<b>Partículas</b>	
Anual	1,0
24-Horas	5,0

Nota:

<sup>[1]</sup> Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y de 1 013 milibares de presión.

4.1.4.4 La fuente fija significativa, nueva, remodelada o modificada sustancialmente, acordará con la Entidad Ambiental de Control la inclusión o no, dentro de la evaluación mediante modelo de dispersión, de otras fuentes fijas existentes en la región en que se instalará la fuente nueva, o en que se ubica la fuente modificada o remodelada. El estudio de impacto ambiental, requerido por la fuente como parte de los permisos de operación, establecerá cuáles fuentes fijas existentes deberán ser incluidas en el modelo de dispersión a aplicarse. La Entidad Ambiental de Control deberá proveer, a la fuente nueva, de los resultados de las bases de datos administradas por la misma, esto es, bases de datos de emisiones de fuentes fijas significativas existentes, y, bases de datos de los niveles de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente. El área de influencia, sea de una

sola fuente nueva evaluada, o del conjunto de varias fuentes, se determinará mediante el trazado de la curva de igual concentración para todos los contaminantes que sobrepasen los valores establecidos en la Tabla 3.

4.1.4.5 De tratarse de una o varias fuentes fijas nuevas significativas, o varias fuentes existentes modificadas, la evaluación deberá efectuarse mediante un modelo de dispersión del tipo detallado, con capacidad para incluir diferentes fuentes fijas, y con capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para períodos de tiempo mayores a una hora, e inclusive, de predecir la concentración anual de un determinado contaminante. Para esto, se utilizará un modelo de dispersión de características técnicas similares a ISC, de la US EPA. Para efectuar predicciones de concentraciones de contaminantes por períodos de hasta un año, el modelo de tipo detallado requerirá el uso de datos meteorológicos hora por hora, y de extensión también de un año. La fuente fija significativa evaluará su impacto en la calidad del aire previa revisión de los datos meteorológicos, hora por hora, de los últimos tres años, como mínimo, previos a la etapa de proyecto de la nueva fuente. Los datos meteorológicos a utilizarse deberán ser representativos para la ubicación geográfica de la fuente fija a evaluarse. El uso de un modelo de dispersión del tipo detallado se extenderá también para el caso de un conjunto de fuentes fijas nuevas, o fuentes existentes remodeladas o modificadas, que estuvieren bajo la responsabilidad de una misma organización u operador, y en que se determine que la emisión global de dicho conjunto de fuentes (artículo 4.1.3.3) es significativa.

4.1.4.6 Las fuentes fijas nuevas significativas, a instalarse en las inmediaciones de áreas que se designen como protegidas, tales como parques nacionales, reservas de fauna, bosques protectores, entre otros, que se encuentren debidamente designados por la Entidad Ambiental de Control, deberán solicitar a esta autoridad la ejecución de un programa de monitoreo inicial de concentraciones de contaminantes del aire a nivel de suelo, previo al inicio de operaciones de la fuente o fuentes, en uno o más sitios designados al interior de dichas áreas protegidas. El estudio de impacto ambiental que ejecute la fuente fija nueva, determinará el número y ubicación del sitio, o los sitios, de medición de concentraciones de contaminantes del aire. El programa de monitoreo inicial incluirá, como mínimo, la determinación de concentraciones de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, y material particulado PM10. Los resultados de este programa permitirán determinar las concentraciones iniciales de contaminantes en ausencia de la nueva fuente, lo cual además

permitirá establecer, a futuro, el nivel de cumplimiento con las normas de calidad de aire una vez que la fuente fija ingrese en operación.

4.1.4.7 Todas las fuentes fijas nuevas, significativas o no, a instalarse en áreas cuyas concentraciones a nivel de suelo cumplen con la norma de calidad de aire ambiente, estarán obligadas a hacer uso de la denominada Mejor Tecnología de Control Disponible (BACT por sus siglas en inglés), lo cual deberá ser justificado en el estudio ambiental a presentarse ante la Entidad Ambiental de Control. Las emisiones que se obtengan en la fuente que utilice tecnología BACT no deberán ser mayores en magnitud a los valores aplicables para una fuente existente.

4.1.4.8 Las fuentes fijas nuevas no podrán instalarse en un área en que las concentraciones de contaminantes comunes del aire ambiente no se encuentren en cumplimiento con la norma de calidad aquí estipulada, o, en aquellas áreas en que dichas concentraciones de contaminantes se encuentren cerca de incumplimiento. Para ser autorizadas a su instalación, en áreas en no cumplimiento con la norma de calidad de aire, las fuentes fijas nuevas utilizarán la denominada tecnología de Mínima Tasa de Emisión Posible (LAER por sus siglas en inglés), o en su lugar, cuando estas fuentes nuevas reemplacen a una o varias fuentes fijas existentes pero garantizando un estándar de emisión (cantidad de contaminante emitido) y un estándar de desempeño (cantidad de contaminante emitido por unidad de combustible utilizado) considerablemente menor al de la o las fuentes a ser reemplazadas. La Entidad Ambiental de Control deberá emitir la autorización correspondiente para ejecutar este esquema de operación para una fuente nueva. Un esquema similar al descrito se aplicará para fuentes existentes pero modificadas o remodeladas sustancialmente.

4.1.4.9 El estudio ambiental para una fuente fija nueva, en un área en no cumplimiento con la norma de calidad de aire ambiente, justificará las tecnologías o métodos que implementará la fuente fija a fin de alcanzar la mínima tasa de emisión, y por tanto, no inducir a un incumplimiento con la norma de calidad de aire, o mejorar en términos absolutos la calidad del aire ambiente de la región.

4.1.4.10 Las fuentes fijas nuevas significativas determinarán la altura apropiada de chimenea mediante la aplicación de modelos de dispersión. La altura seleccionada de chimenea deberá considerar el efecto de turbulencia creado por la presencia de edificaciones adyacentes a la chimenea, caracterizándose dicho efecto por la ocurrencia de

altas concentraciones de contaminantes emitidos previamente junto a la estructura o edificación.

#### 4.1.5 Disposiciones generales

4.1.5.1 Se prohíbe expresamente la dilución de las emisiones al aire desde una fuente fija con el fin de alcanzar cumplimiento con la normativa aquí descrita.

4.1.5.2 Se prohíbe el uso de aceites lubricantes usados como combustible en calderas, hornos u otros equipos de combustión, con excepción de que la fuente fija de combustión demuestre, mediante el respectivo estudio técnico, que cuenta con equipos y procesos de control de emisiones producidas por esta combustión, a fin de no comprometer la calidad del aire al exterior de la fuente, e independientemente de si la fuente fija es significativa o no significativa. Los planos y especificaciones técnicas de la instalación, incluyendo las previsiones de uso de aceites lubricantes usados, sea como combustible principal o como combustible auxiliar, o como combinación de ambos, se sujetarán a las disposiciones de la normativa aplicable para el manejo de desechos peligrosos y de su disposición final. La Entidad Ambiental de Control emitirá el respectivo permiso de operación para las fuentes que utilicen aceites lubricantes usados como combustible, permiso que será renovado cada dos años, previo el respectivo dictamen favorable, considerando los requerimientos estipulados tanto aquí como en la normativa aplicable a desechos peligrosos y su disposición final.

4.1.5.3 Aquellas fuentes fijas que utilicen como combustible otros que no sean combustibles fósiles, serán evaluadas, en primer lugar, en base al criterio de determinar si se trata de fuentes significativas o no. Para una fuente significativa, que utilice combustibles no fósiles, tales como biomasa, se aplicarán los valores máximos de emisión descritos en este reglamento en lo referente a fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos. Para fuentes no significativas, la Entidad Ambiental de Control podrá solicitar evaluaciones adicionales tendientes a prevenir el deterioro de la calidad del aire.

4.1.5.4 Toda fuente fija, sea significativa o no, deberá comunicar a la Entidad Ambiental de Control cualquier situación anómala, no típica, que se presente en la operación normal de la fuente, y en la que se verificaron emisiones de contaminantes superiores a los valores máximos establecidos en este reglamento. Este requisito no se aplica para el caso del

período de arranque de operación de la fuente, o para el caso del período de limpieza por soplado de hollín acumulado en la fuente, siempre que estos períodos no excedan quince (15) minutos y la operación no se repita más de dos veces al día. Cuando por las características de los procesos y/o de los equipos de combustión se justifique técnicamente que se requiere mayor tiempo para su arranque o limpieza con soplado de hollín, se deberá obtener la aprobación de la Entidad Ambiental de Control.

4.1.5.5 Para las fuentes fijas significativas, se requerirá que estas cuenten, por lo menos, con equipos básicos de control de emisiones de partículas, esto a fin de mitigar aquellas emisiones que se registren durante períodos de arranque o de soplado de hollín en la fuente. Los equipos básicos de control comprenden equipos tales como separadores inerciales (ciclones). Además, la Entidad Ambiental de Control podrá requerir, por parte del regulado, la instalación de equipos de control de emisiones de partículas adicionales a los equipos básicos descritos, siempre que la evaluación técnica y económica del equipo de control a ser instalado así lo determine.

4.1.5.6 Toda fuente fija significativa está obligada a presentar a la Entidad Ambiental de Control los resultados que se obtengan de los programas de medición de emisiones que deban ejecutarse. La Entidad Ambiental de Control establecerá una base de datos con las emisiones de todas las fuentes bajo su control, así como establecerá los procedimientos de mantenimiento y de control de calidad de la misma.

## **4.2 Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión**

### **4.2.1 General**

4.2.1.1 Para demostración de cumplimiento con la presente norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión, los equipos, métodos y procedimientos de medición de emisiones deberán cumplir requisitos técnicos mínimos, establecidos a continuación. Además, la fuente fija deberá proveer de requisitos técnicos mínimos que permitan la ejecución de las mediciones.

#### 4.2.2 Requisitos y métodos de medición

4.2.2.1 A fin de permitir la medición de emisiones de contaminantes del aire desde fuentes fijas de combustión, estas deberán contar con los siguientes requisitos técnicos mínimos:

- a. plataforma de trabajo, con las características descritas en la Figura 1,
- b. escalera de acceso a la plataforma de trabajo,
- c. suministro de energía eléctrica cercano a los puertos de muestreo.

4.2.2.2 Método 1: definición de puertos de muestreo y de puntos de medición en chimeneas.- este método provee los procedimientos para definir el número y ubicación de los puertos de muestreo, así como de los puntos de medición al interior de la chimenea.

4.2.2.3 Número de puertos de muestreo.- el número de puertos de muestreo requeridos se determinará de acuerdo al siguiente criterio:

- a. dos (2) puertos para aquellas chimeneas o conductos de diámetro menor 3,0 metros,
- b. cuatro (4) puertos para chimeneas o conductos de diámetro igual o mayor a 3,0 metros.

4.2.2.4 Para conductos de sección rectangular, se utilizará el diámetro equivalente para definir el número y la ubicación de los puertos de muestreo.

4.2.2.5 Ubicación de puertos de muestreo.- los puertos de muestreo se colocarán a una distancia de, al menos, ocho diámetros de chimenea corriente abajo y dos diámetros de chimenea corriente arriba de una perturbación al flujo normal de gases de combustión (ver Figura 1. Se entiende por perturbación cualquier codo, contracción o expansión que posee la chimenea o conducto. En conductos de sección rectangular, se utilizará el mismo criterio, salvo que la ubicación de los puertos de muestreo se definirá en base al diámetro equivalente del conducto.

4.2.2.6 Número de puntos de medición.- cuando la chimenea o conducto cumpla con el criterio establecido en 4.2.2.5, el número de puntos de medición será el siguiente:

- a. doce (12) puntos de medición para chimeneas o conductos con diámetro, o diámetro equivalente, respectivamente, mayor a 0,61 metros,
- b. ocho (8) puntos de medición para chimeneas o conductos con diámetro, o diámetro equivalente, respectivamente, entre 0,30 y 0,60 metros, y,

c. nueve (9) puntos de medición para conductos de sección rectangular con diámetro equivalente entre 0,30 y 0,61 metros.

4.2.2.7 Para el caso de que una chimenea no cumpla con el criterio establecido en 4.2.2.5, el número de puntos de medición se definirá de acuerdo con la Figura 2. Al utilizar esta figura, se determinarán las distancias existentes tanto corriente abajo como corriente arriba de los puertos de muestreo, y cada una de estas distancias será dividida para el diámetro de la chimenea o conducto, esto a fin de determinar las distancias en función del número de diámetros. Se seleccionará el mayor número de puntos de medición indicado en la figura, de forma tal que, para una chimenea de sección circular, el número de puntos de medición sea múltiplo de cuatro. En cambio, para una chimenea de sección rectangular, la distribución de puntos de medición se definirá en base a la siguiente matriz (Tabla 4).

**Tabla 4. Distribución de puntos de medición para una chimenea o conducto de sección rectangular**

NUMERO DE PUNTOS DE MEDICIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS
9	3 x 3
12	4 x 3
16	4 x 4
20	5 x 4
25	5 x 5
30	6 x 5
36	6 x 6
42	7 x 6
49	7 x 7

4.2.2.8 Ubicación de los puntos de medición en chimeneas de sección circular.- determinado el número de puntos de medición, los puntos se deberán distribuir, en igual número, a lo largo de dos diámetros perpendiculares entre sí, que estén en el mismo plano de medición al interior de la chimenea o conducto. La ubicación exacta de cada uno de los puntos, a lo largo de cada diámetro, se determinará según la Tabla 5.

4.2.2.9 Ubicación de los puntos de medición en chimeneas de sección rectangular.- para el número de puntos de medición determinado, se dividirá la sección transversal de la chimenea o conducto en un número de áreas rectangulares igual al número de puntos de medición determinado. Luego, cada punto de medición se ubicará en el centro de cada área rectangular definida Figura 3.

4.2.2.10 Método 2: procedimiento para la determinación de la velocidad y gasto volumétrico de gases de escape en chimenea o conducto. Este método comprende:

- a. Uso de un tubo de Pitot, del tipo estándar o del tipo S, para medir la presión dinámica de la corriente de gases de escape.
- b. Medición de la temperatura del gas dentro de la chimenea.
- c. Barómetro para medir presión atmosférica.
- d. Analizador de gases para determinar el peso molecular húmedo del gas en chimenea (ver método 3).
- e. Cálculo de la velocidad del gas.
- f. Determinación del área transversal del ducto o chimenea.

**Tabla 5. Ubicación de puntos de medición en chimeneas o conductos de sección circular**

# de Punto	Número de puntos de medición en un diámetro de chimenea											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14.6	6.7	4.4	3.2	2.6	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1
2	85.4	25	14.6	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3		75	29.6	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6	5.5
4		93.3	70.4	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5			85.4	67.7	34.2	25	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6			95.6	80.6	65.8	35.6	26.9	22	18.8	16.5	14.6	13.2
7				89.5	77.4	64.4	36.6	28.3	23.6	20.4	18	16.1
8				96.8	85.4	75	63.4	37.5	29.6	25	21.8	19.4
9					91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.2	23
10					97.4	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11						93.3	85.4	78	70.4	61.2	39.3	32.3
12						97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13							94.3	87.5	81.2	75	68.5	60.2
14							98.2	91.5	85.4	79.6	73.8	67.7
15								95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16								98.4	92.5	87.1	82	77
17									95.6	90.3	85.4	80.6
18									98.6	93.3	88.4	83.9
19										96.1	91.3	86.8
20										98.7	94	89.5
21											96.5	92.1
22											98.9	94.5
23												96.8
24												98.9

Nota: Valores como porcentaje del diámetro de la chimenea, y a ser contados desde la pared interior de la chimenea hasta el punto de medición.

4.2.2.11 Para la aplicación del procedimiento, el tubo Pitot, previamente calibrado, se introducirá en el conducto o chimenea, en el punto de medición seleccionado, y se tomará lectura de la presión de velocidad. Este procedimiento se repetirá para cada uno de los puntos de medición seleccionados. La velocidad promedio en el conducto o chimenea será el valor obtenido, mediante la siguiente ecuación, para el promedio aritmético de todas las lecturas de presión de velocidad registradas.

$$V = K_p C_p \sqrt{\Delta P} \sqrt{\frac{T_s}{P_s M_s}}$$

Donde:

V: velocidad del gas en chimenea (m/s ó ft/s);

Kp: constante de la ecuación de velocidad (34,97 sistema internacional ó 85,49 unidades inglesas);

Cp: coeficiente del tubo Pitot, provisto por fabricante (adimensional);

$\Delta P$ : presión de velocidad promedio (mm. H<sub>2</sub>O ó pulg. H<sub>2</sub>O);

Ts: temperatura absoluta del gas en chimenea (°K ó °R);

Ps: presión total absoluta en chimenea = presión atmosférica + presión estática en chimenea (mm Hg ó pulg. Hg);

Ms: peso molecular húmedo del gas en chimenea (g/g-mol ó libras/libra-mol);

El gasto volumétrico de la fuente fija de combustión se obtendrá multiplicando la velocidad promedio del gas por el área transversal del conducto o chimenea en el sitio de medición.

4.2.2.12 Método 3: procedimiento para la determinación del peso molecular seco de los gases de escape. Este método comprende:

- a. Uso de un analizador de gases para determinación de contenido de dióxido de carbono, oxígeno y monóxido de carbono en los gases de escape. El analizador de gases podrá ser cualquiera de los modelos disponibles localmente, tales como Fyrite, Orsat o analizadores con tecnología de celdas electroquímicas. Se debe reconocer que algunos de estos instrumentos proveen resultados para dos de los tres parámetros requeridos, por lo que se aceptará el uso de cartas, figuras, nomogramas, ecuaciones, u otros medios, que permitan determinar el tercer parámetro a partir de dos parámetros conocidos.
- b. El peso molecular seco (Md), se determinará mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Md = 0.44\% \text{ CO}_2 + 0.32\% \text{ O}_2 + 0.28\% \text{ CO} + 0.28\% \text{ N}_2$$

El porcentaje de nitrógeno N<sub>2</sub> se obtendrá restando del 100%, el % de CO<sub>2</sub>, el % de O<sub>2</sub> y el % de CO.

c. Cuando no sea posible determinar el contenido de dióxido de carbono, de oxígeno y de monóxido de carbono en los gases de escape, se podrá utilizar el valor de 30,0 (treinta) para el peso molecular seco, siempre que la fuente fija opere con combustibles fósiles sólido, líquido o gaseoso.

4.2.2.13 Método 4: procedimiento para la determinación de contenido de humedad de los gases de escape. Este método comprende:

a. Extracción de una muestra a un gasto constante. Se procurará que el volumen de gas colectado sea, por lo menos, de 0,60 metros cúbicos, a condiciones de referencia, y el gasto de succión del gas no sea mayor a 0,020 metros cúbicos por minuto (0,75 pies cúbicos por minuto). La colección de gas se efectuará con la sonda provista por el equipo de medición, y contará con dispositivo de calentamiento de la misma, a fin de evitar la condensación de humedad.

b. Remoción de la humedad de la muestra. El equipo a utilizarse será, en diseño, igual al utilizado en el método 5, determinación de emisión de partículas. El equipo consiste de una sección de cuatro impactadores o envases de vidrio, de los cuales dos serán llenados con agua, y el cuarto impactador será llenado con sílica gel. Previo a la medición se registrará el peso de estos tres envases, tanto llenos con agua como llenos con sílica gel. Todos los impactadores se encontrarán alojados en una caja, llenada con hielo, a fin de permitir la condensación de la humedad presente en los gases de chimenea.

c. Determinación gravimétrica y volumétrica de la humedad colectada. Posterior a la toma de muestra, se determinará el contenido de humedad mediante el incremento de volumen de agua colectada en los impactadores, y, mediante el incremento de peso en el impactador llenado con sílica gel.

4.2.2.14 Los resultados que se obtengan, de volumen de agua colectada y de peso de agua colectada, serán corregidos a las condiciones de referencia. El contenido de humedad, en los gases de chimenea, será la razón entre el volumen total de agua colectada dividido para dicho volumen más el volumen de gas seco, este último determinado por el equipo de muestreo.

4.2.2.15 Como alternativa al método descrito, serán aceptables los métodos de estimación tales como técnicas de condensación, técnicas psicrométricas mediante temperatura de

bulbo seco y de bulbo húmedo, cálculos estequiométricos, experiencias previas, entre otros.

4.2.2.16 Método 5: procedimiento para la determinación de emisión de partículas desde la fuente fija. Este método comprende:

- a. Colección de muestras mediante el equipo denominado tren isocinético. Este equipo consiste de cuatro secciones principales: la sonda de captación de partículas, la sección de filtro, la sección de condensación de humedad, o de impactadores, y, la sección de medidor de volumen de gas seco muestreado. Las mediciones a efectuarse deberán incluir la descripción técnica del equipo tren isocinético, el cual necesariamente deberá proveer las especificaciones del fabricante, y en las que se especifique que el equipo cumple con el método promulgado por la US EPA.
- b. Las muestras de partículas serán colectadas, en cada uno de los puntos de muestreo al interior de la chimenea, definidos en el método 1, durante un período de cinco (5) minutos en cada uno de dichos puntos. En ningún caso el tiempo de muestreo, en cada punto, será inferior a tres (3) minutos.
- c. La condición de isocinetismo aceptada deberá estar comprendida entre 90 y 110%.
- d. Previo a la ejecución de mediciones, se deberá efectuar una prueba de detección de fugas en el equipo de muestreo, una vez armado en el sitio.
- e. La masa de partículas se determinará gravimétricamente, esto es, mediante la diferencia de peso en el filtro a la finalización de la medición con respecto al peso previo al inicio de la misma.
- f. Además, se determinará el peso de aquellas partículas captadas en la sonda de muestreo. Para esto, se realizará un enjuague del interior de la sonda, de la boquilla de succión de la sonda, y de accesorios de esta, utilizando para el efecto acetona. El líquido colectado será almacenado en un frasco de vidrio, y llevado a laboratorio, en donde será transferido a un vaso de precipitación, será registrado su peso inicial, y se dejará evaporar el solvente a temperatura y presión ambiente. El vaso será secado por un período de 24 horas y registrado su peso final.
- g. La masa total de partículas colectadas será la suma de las partículas obtenidas en el filtro más aquellas captadas al interior de la sonda de muestreo.

h. La concentración de partículas emitidas, a expresarse en miligramos por metro cúbico de aire seco, será la masa total de partículas dividida para el volumen total de gas seco muestreado, y corregido a las condiciones de referencia.

4.2.2.17 Métodos para determinación de emisión de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno desde una fuente fija.- Esta determinación se realizará mediante uno de los dos sistemas de medición aquí propuestos, estos son, con el uso de instrumentación basada en analizadores portátiles, o, con el uso de los procedimientos de colección, recuperación y análisis en laboratorio de muestras colectadas. Se especificará claramente el método utilizado en la medición de emisiones.

4.2.2.18 Uso de analizadores portátiles.- se utilizarán equipos disponibles en el mercado, que reporten las emisiones de dióxido de azufre y/o de óxidos de nitrógeno en base a técnicas tales como de fluorescencia, ultravioleta, e infrarrojo no dispersivo, para el caso de dióxido de azufre, o, de quimiluminiscencia, para el caso de óxidos de nitrógeno. Otra opción consiste en la utilización de analizadores portátiles, que operan con tecnología de celdas electroquímicas, y diseñados para medición también de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno.

4.2.2.19 De utilizarse analizadores portátiles, sea con cualquiera de las técnicas descritas en 4.2.2.18, estos equipos deberán contar con los respectivos certificados de calibración, otorgados por el fabricante de los mismos.

4.2.2.20 Los analizadores deberán contar con los accesorios que permitan el acondicionamiento de la muestra de gases en chimenea, previo al ingreso de la misma a la sección de medición. El sistema de medición deberá contar con una sonda de admisión del gas en chimenea, provista de sección de calentamiento o similar, que garanticen la no condensación de vapor de agua presente en la muestra y evitar así la consiguiente absorción de dióxido de azufre o de óxidos de nitrógeno en el líquido condensado. Si el analizador reporta los resultados en base seca, el sistema de medición deberá contar con una unidad de condensación, o dispositivo similar, que garanticen la purga o evacuación del vapor de agua condensado, y al mismo tiempo, minimice el contacto entre la muestra de gases y el líquido condensado. Se aceptarán también equipos analizadores que determinen concentraciones de SO<sub>2</sub> y/o de NO<sub>x</sub> en base húmeda, siempre que los resultados sean convertidos a concentración en base seca mediante métodos apropiados.

4.2.2.21 Los analizadores que utilicen la técnica de celdas electroquímicas deberán contar con celdas individuales tanto para medir el óxido nitroso NO como el dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> y reportarán los resultados de emisión de óxidos de nitrógeno como la suma de óxido nitroso (NO) y de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). En el caso de analizadores que utilicen la técnica de quimiluminiscencia, los resultados se reportarán directamente como total de óxidos de nitrógeno expresados como NO<sub>2</sub>.

4.2.2.22 La medición de NO<sub>x</sub> y de SO<sub>2</sub>, utilizando cualquier tipo de equipo analizador portátil, se efectuará seleccionando el número de puntos al interior de la sección de chimenea que se determine según lo descrito en el método 1 de esta norma técnica.

4.2.2.23 Método de laboratorio para SO<sub>2</sub>.- el método consiste en la retención de SO<sub>2</sub> por medio de una reacción química irreversible y la posterior determinación de la concentración mediante titulación de bario-torina. En este método, se colectará una muestra de gas en un equipo similar al tren de muestreo descrito en el método 5. Los reactivos necesarios, así como las características de los componentes del equipo serán aquellos descritos en el método 6 promulgado por la US EPA (40 CFR 60). El equipo deberá contar con un medidor del volumen de gas seco colectado. La muestra se colectará en un único punto, situado en el centro geométrico interior de la chimenea o conducto, y durante un período de treinta (30) minutos, a fin de asegurar la representatividad de la muestra. Se inspeccionará cada cinco (5) minutos la proporcionalidad del flujo seleccionado. Para una medición completa, se colectarán seis (6) muestras individuales.

4.2.2.2.4 Método de laboratorio para NO<sub>x</sub>.- se colecta una muestra en un frasco al que se ha efectuado vacío previamente, este envase contiene una solución absorbente diluida de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno. La muestra es posteriormente analizada en laboratorio colorimétricamente, utilizándose el procedimiento del ácido fenoldisulfónico. Los reactivos necesarios, los procedimientos de preparación, muestreo y recuperación de muestras, así como las características de los procedimientos de análisis de las muestras, serán aquellos descritos en el método 7 promulgado por la US EPA (40 CFR 60). Los resultados se expresarán como NO<sub>2</sub>. La muestra se colectará en un único punto, situado en el centro geométrico interior de la chimenea o conducto. Para una medición completa, se colectarán doce (12) muestras individuales.

#### 4.2.3 De la frecuencia de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión

4.2.3.1 Las fuentes fijas que se determine requieran de monitoreo de sus emisiones al aire, efectuarán los respectivos trabajos de medición y reporte de resultados, al menos, una vez cada seis meses.

4.2.3.2 Requerimientos de Reporte.- Se elaborará un reporte con el contenido mínimo siguiente:

- a) Identificación de la fuente fija (Nombre o razón social, responsable, dirección);
- b) ubicación de la fuente fija, incluyendo croquis de localización y descripción de predios vecinos;
- c) nombres del personal técnico que efectuó la medición;
- d) introducción, la cual describirá el propósito y el lugar de la medición, fechas, contaminantes objeto de medición, identificación de observadores presentes, tanto de la fuente como representantes de la Entidad Ambiental de Control (de aplicarse);
- e) resumen de resultados, incluyendo los resultados en sí obtenidos, datos del proceso de combustión, emisiones máximas permitidas para la fuente;
- f) características de operación de la fuente fija, esto es, descripción del proceso y de equipos o técnicas de control o reducción de emisiones (de aplicarse), descripción de materias primas o combustibles utilizados, propiedades relevantes de estos, y cualquier información relevante para con la operación de la fuente;
- g) métodos de muestreo y de análisis utilizados, describiendo la ubicación de los puertos de muestreo y de los puntos de medición al interior de la chimenea, descripción de los equipos y/o accesorios utilizados en la recolección de muestras o medición, procedimientos o certificados de calibración empleados, y una breve discusión de los procedimientos de muestreo y de análisis de resultados seguidos, incluyendo cualquier desviación en el procedimiento, y las debidas justificaciones técnicas;
- h) anexos, los cuales incluirán cualquier información de respaldo.

### 4.3 De los límites máximos permisibles de emisiones al aire para procesos específicos

#### 4.3.1 Elaboración de cemento

**Tabla 6. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de cemento**

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES [1]
Partículas Totales	Horno de clínker	150	50	mg/Nm <sup>3</sup>
	Enfriador de clínker	100	50	
Óxidos de Nitrógeno	--	1 800	1 300	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	--	800	600	mg/Nm <sup>3</sup>

Notas:

[1] mg/m<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

#### 4.3.2 Elaboración de vidrio

**Tabla 7. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de vidrio**

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES [1]
Partículas Totales	--	250	200	mg/Nm <sup>3</sup>
Óxidos de Nitrógeno	--	1 200	1 000	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	--	1 800	1 500	mg/Nm <sup>3</sup>

Notas:

[1] mg/m<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno. Esta norma no se aplica cuando se utilice inyección de oxígeno en los quemadores.

4.3.3 Elaboración de pulpa de papel**Tabla 8. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de pulpa de papel**

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES
Partículas Totales	Pasta por proceso kraft o por bisulfito	250	150	mg/Nm <sup>3</sup> <sup>[1]</sup>
Dióxido de Azufre	--	10	5	kg/ton pasta <sup>[2]</sup>

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C.

<sup>[2]</sup> kg/ton pasta: kilogramos por tonelada de pasta.

4.3.4 Fundición de metales**Tabla 9. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fundición de metales**

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES <sup>[1]</sup>
Partículas Totales	Cubilotes	600	250	mg/m <sup>3</sup>
	De 1 a 5 t/h			
	Mayor 5 t/h	300	150	mg/m <sup>3</sup>
	Arco eléctrico	350	250	mg/m <sup>3</sup>
Menor 5 t				
	Mayor 5 t	150	120	mg/m <sup>3</sup>

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

4.3.5 Elaboración de azúcar: equipos de combustión que utilizan bagazo como combustible**Tabla 10. Límites máximos permisibles de emisiones al aire desde combustión de bagazo en equipos de instalaciones de elaboración de azúcar**

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES
Partículas Totales	--	300	150	mg/m <sup>3</sup> [1]

Notas:

[1] mg/m<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos a 12% de O<sub>2</sub>, en base seca.

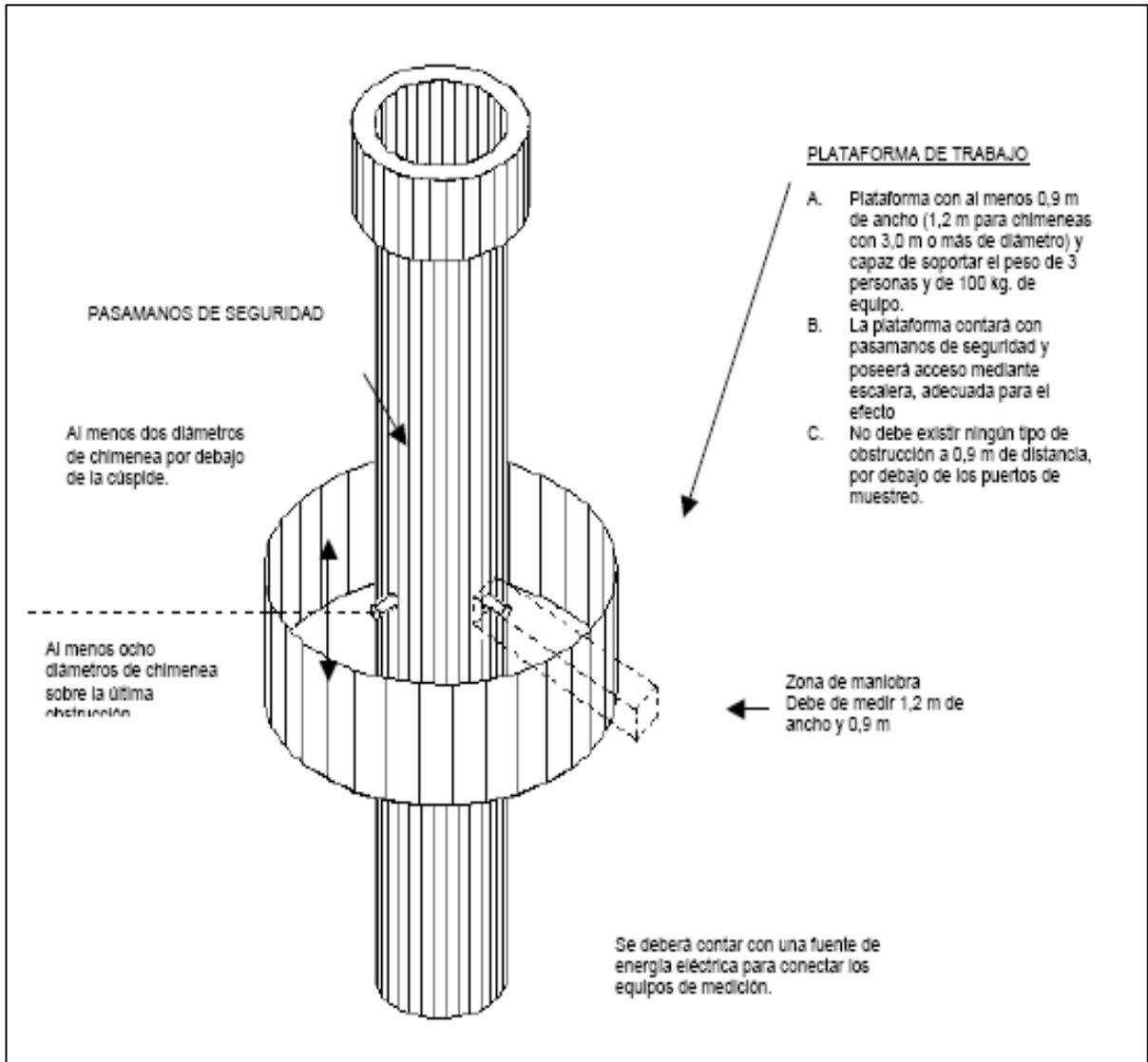
4.3.6 Motores de Combustión Interna**Tabla 11. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna**

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES [1]
Partículas Totales	--	350	150	mg/m <sup>3</sup>
Óxidos de Nitrógeno	--	2 300	2 000	mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	--	1 500	1 500	mg/m <sup>3</sup>

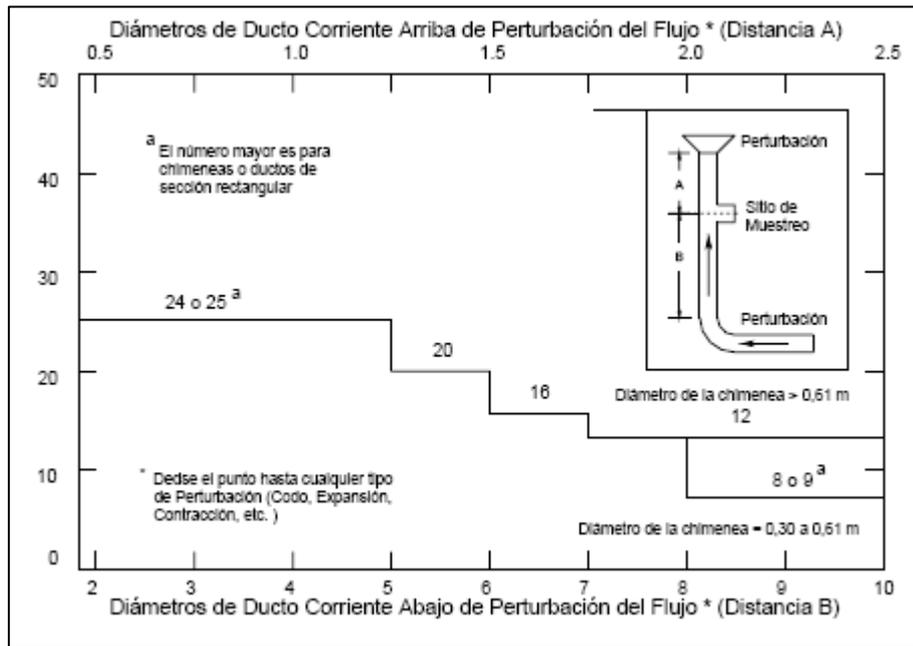
Notas:

[1] mg/m<sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos a 15% de O<sub>2</sub>, en base seca.

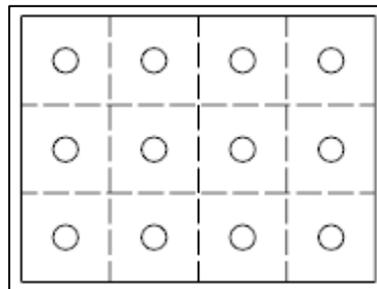
**Figura 1. Requisitos para ejecución de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas**



**Figura 2. Número de puntos de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas**



**Figura 3. Ejemplo de puntos de medición de emisiones al aire en conducto de sección rectangular (12 áreas iguales con punto de medición en centroide de cada área)**



## **ANEXO 2**

### **MÉTODO UNE-ISO 9096 (EMISIÓN DE FUENTES ESTACIONARIAS)**

Es el método principal para el cuál el equipo Thermo Andersen M9096 fue diseñado, y basa su operación en la extracción de gas en un período de tiempo (60min. a 90 min. aprox.) y caudal de absorción determinados, con el fin de alcanzar un volumen deseado.

La muestra de material particulado medida en los diferentes puntos de travesía, es separada mediante un filtro prepesado, el cual al finalizar el muestreo, será secado y nuevamente pesado, determinando el incremento de peso, lo que se atribuye a la cantidad de material particulado de la muestra de gas absorbida.

Cabe recalcar que el muestreo debe ser realizado bajo condiciones de isocinetismo, para lo cual se debe determinar el perfil de velocidades en los diferentes punto de travesía determinados mediante el método EPA1; este perfil indica si la velocidad en la chimenea es lo suficientemente estable para alcanzar isocinetismo a cierto caudal de extracción y con una boquilla determinada (Anexo 4).

Una vez culminado el muestreo, éste deberá ser validado para ver si cumple con las condiciones de isocinetismo (100% +/- 5%) mediante la Ecuación 1.

$$\%I = \frac{V_n}{V_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

$V_n$  (m/s) = Velocidad del flujo de gas en la boquilla.

$V_s$  (m/s) = Velocidad del flujo de gas en la chimenea.

Para el cálculo de  $V_n$  necesitamos conocer el caudal de absorción ( $Q$ ) en  $m^3/s$ , y el área transversal de la boquilla ( $A_n$ ) en  $m^2$ .  $V_n$  se calcula utilizando la Ecuación 2.

$$V_n = \frac{Q}{A_n} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Es recomendable calcular %I para cada punto de travesía, y al final sacar un promedio final de isocinetismo.

Para el cálculo exacto de Q, en cada punto de travesía se transforma el volumen de gas seco recolectado ( $V_m$ ) en ese punto a  $m^3/s$ , de acuerdo al tiempo medido en el punto de travesía en el cual se realiza el análisis.

Una vez validado el muestreo se calcula el volumen de gas seco medido en condiciones estándar, para lo cual se utiliza la Ecuación 3.

$$V_{std} = \frac{P_s \times V_m \times T_{std}}{T_s \times P_{std}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

$V_{std}$  = Volumen de gas seco en condiciones estándar en  $m^3$

$V_m$  = Volumen de gas seco medido en  $m^3$

$T_{std}$  = Temperatura a condiciones estándar en grados Kelvin

$T_s$  = Temperatura de la chimenea en grados Kelvin

$P_{std}$  = Presión en condiciones estándar

$P_s$  = Presión absoluta de la chimenea

Calculado el  $V_{std}$ , se determina la concentración de particulado de acuerdo a la Ecuación 4.

$$C = \frac{M}{V_{std}} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

$C$  = Concentración de particulado en  $mg/m^3$

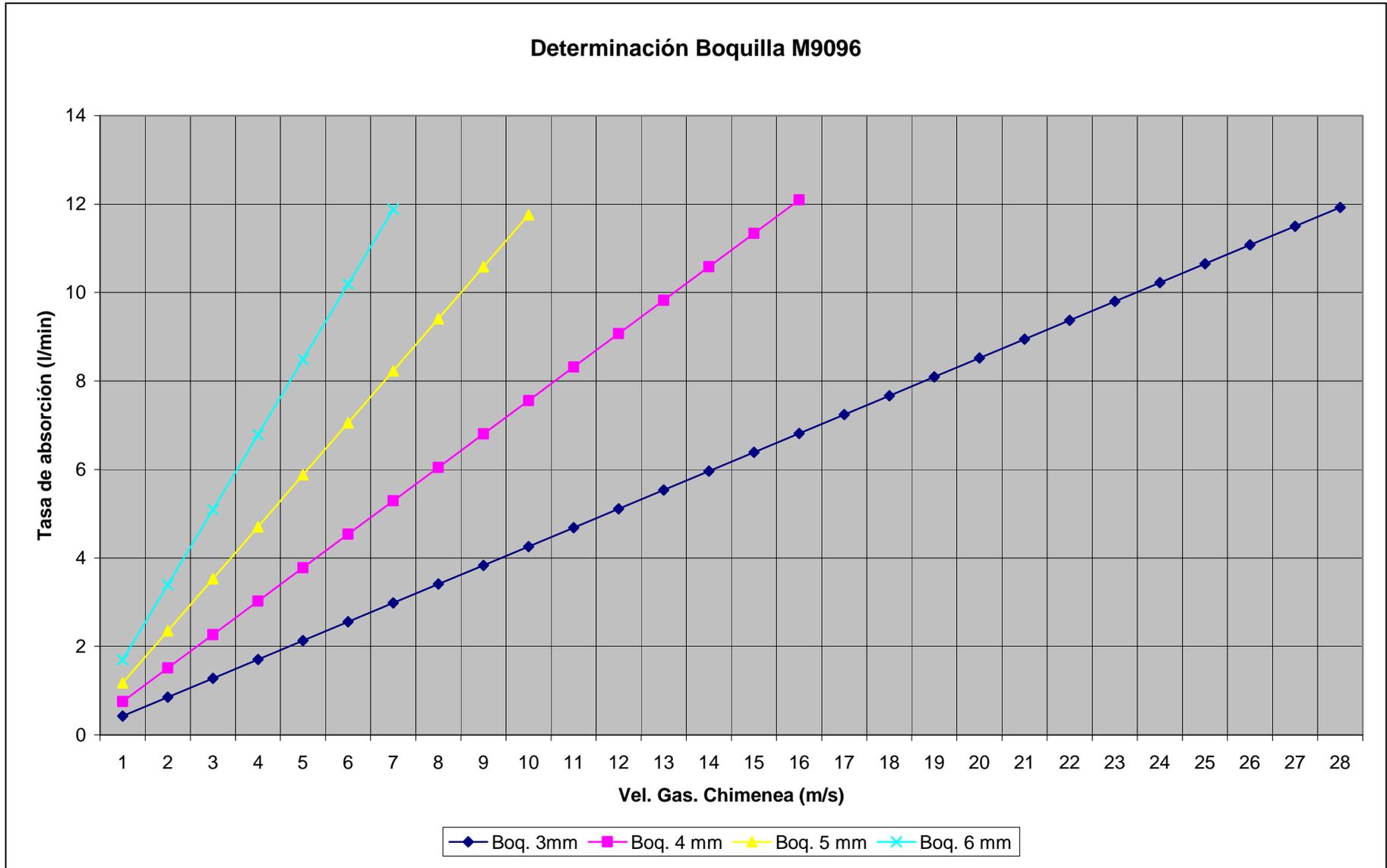
$M$  = *Total* de partículas recolectadas en mg.

$V_{std}$  = Volumen de gas seco en condiciones estándar en  $m^3$

Por último se calcula la emisión de acuerdo a la ley que rija el proceso.

### **ANEXO 3**

## **NANOGRAMA DE DETERMINACIÓN DE LA BOQUILLA EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL GAS**



## **ANEXO 4**

### **HOJAS TÉCNICAS**

MUESTREO GASES Y PARTICULADO: GUÍA DE INFORMACIÓN EMPRESARIAL			
<b>Datos Generales de la empresa</b>		<b>Características fuente</b>	
Razón Social		Marca	
Nombre comercial		Modelo	
Actividad		Potencia	
Principales productos		Capacidad	
		Función	
<b>Ubicación de la empresa</b>		<b>Observaciones</b>	
Provincia			
Cantón			
Parroquia			
Dirección			
Referencia			
Teléfonos			
<b>Régimen de Funcionamiento de la fuente</b>		<b>Fechas para muestreos</b>	
Horas/día			
Días/mes			
Meses/año			

**TABLA DE CAMPO: MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO**

<b>Empresa:</b>		<b>DATOS CHIMENEA</b>				<b>Id.</b>		<b>CONTROL DE GASES</b>																																		
	<b>Fecha muestreo:</b>	<b>Altura (m)</b>				<b>Combustible</b>		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" style="text-align:center;"><b>MUESTREOS</b></td> </tr> <tr> <td style="width:15%;"><b>GASES</b></td> <td style="width:15%;">1</td> <td style="width:15%;">2</td> <td style="width:15%;">3</td> </tr> <tr><td>O2 (%)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>CO (ppm)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>CO2 (%)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>NO x (ppm)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>SO2 (ppm)</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Ex. Aire (%)</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			<b>MUESTREOS</b>				<b>GASES</b>	1	2	3	O2 (%)				CO (ppm)				CO2 (%)				NO x (ppm)				SO2 (ppm)				Ex. Aire (%)			
<b>MUESTREOS</b>																																										
<b>GASES</b>	1	2	3																																							
O2 (%)																																										
CO (ppm)																																										
CO2 (%)																																										
NO x (ppm)																																										
SO2 (ppm)																																										
Ex. Aire (%)																																										
		<b>Diámetro (m)</b>				<b>Tipo</b>																																				
		<b>Dist. A (m)</b>				<b>Consumo</b>																																				
		<b>Dist. B (m)</b>																																								
		<b>Prof. Puerto (m)</b>																																								
<b>CONTROL DE FLUJO</b>																																										
<b>PE (mb)</b>				<b>Ts (°C)</b>				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:15%;"><b>Peso molecular</b></td> <td style="width:15%;"></td> <td colspan="2" style="width:15%;"><b>NÚMERO HUMO</b></td> <td style="width:15%;"></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align:center;"><b>MUESTREOS</b></td> <td style="width:15%;">1</td> <td style="width:15%;">2</td> <td style="width:15%;">3</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align:center;"><b>Ts Bacharach (°F)</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			<b>Peso molecular</b>		<b>NÚMERO HUMO</b>			<b>MUESTREOS</b>			1	2	3	<b>Ts Bacharach (°F)</b>																				
<b>Peso molecular</b>		<b>NÚMERO HUMO</b>																																								
<b>MUESTREOS</b>			1	2	3																																					
<b>Ts Bacharach (°F)</b>																																										
<b>dP prom (mb)</b>				<b>Hora inicio</b>		<b>Hora fin</b>																																				
<b>TRAVESÍA (cm)</b>	<b>PUNTO</b>	<b>Tiempo Acumulado</b>	<b>Tm (°C)</b>	<b>Pb (mb)</b>	<b>V inicial (m3)</b>	<b>V final (m3)</b>																																				
	1																																									
	2																																									
	3																																									
	4																																									
	5																																									
	6																																									
	7																																									
	8																																									
	9																																									
	10																																									
	11																																									
	12																																									
	13																																									
	14																																									
	15																																									
	16																																									
	17																																									
	18																																									
	19																																									
	20																																									
	21																																									
	22																																									
	23																																									
	24																																									
<b>Valor final</b>																																										
<b>CONTROL DE PESOS</b>																																										
		<b>Peso inicial (g)</b>		<b>Peso final (g)</b>																																						
Filtro 1																																										
Filtro 2																																										
Filtro 3																																										
Sílica gel																																										
Acetona																																										
Residuos caja petri																																										
<b>Información requerida</b>																																										
dP	diferencia de presión																																									
Pb	presión barométrica																																									
PE	presión estática																																									
Tm	temperatura ambiente																																									
Ts	temperatura de chimenea																																									
V	volumen medido																																									



**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE  
LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE  
MUESTREO DE GASES Y MATERIAL PARTICULADO**

**REPORTE DE MUESTREO DE GASES Y PARTICULADO EN FUENTES FIJAS DE COMBUSTION**

**INFORMACION EMPRESARIAL**

Nombre comercial:		<b>Ubicación</b>	
Actividad:		Provincia:	
		Cantón:	
Encargado:		Parroquia:	
Fecha de Muestreo:		Dirección:	

**INFORMACION DEL CALDERO Y CHIMENEA**

Marca del caldero	
Tipo de combustible	
Consumo de combustible (gal/h)	
Altura de chimenea (m)	
Diámetro de chimenea (m)	
Distancia A del puerto de muestreo (m)	
Distancia B del puerto de muestreo (m)	
Número de puertos de muestreo	

**MUESTREO DE GASES**

<b>GASES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
O <sub>2</sub> (%)	0	0	0	
CO <sub>2</sub> (%)	0	0	0	
CO (ppm)	0	0	0	
NO <sub>x</sub> (ppm)	0	0	0	
SO <sub>2</sub> (ppm)	0	0	0	
Exceso de aire (%)	0	0	0	

**NUMERO DE HUMO**

6

**MUESTREO DE MATERIAL PARTICULADO**

N.- puntos de travesía	
Temperatura ambiental (°C)	
Temperatura chimenea (°C)	
Presión barométrica (mmHg)	
Diferencia de presiones (mmH <sub>2</sub> O)	
Duración de muestreo (min)	
Volumen de gas medido (m <sup>3</sup> )	

**RESULTADOS: CARGAS CONTAMINANTES Y EMISION**

CARGA CONTAMINANTE (Kg/h)	
CO	
NOx	
SO2	
Particulado	

TASA DE EMISION	
EMISION (Kg/m3 Comb)	NORAMTIVA AMBIENTAL RUMIÑAHUI
CO	0.6
NOx	3
SO2	12
Particulado	0.5

TASA DE EMISION		
EMISION (mg/Nm3) [1]	NORAMTIVA AMBIENTAL TULAS	NORMA AMBIENTAL QUITO
CO	No aplica	250
NOx	550	500
SO2	1650	1650
Particulado	150	150

<sup>[1]</sup> (mg/Nm<sup>3</sup>): miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, (1013mb de presión, y temperatura de 0°C), en base seca y corregida al 7% de oxígeno.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**Responsables:**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS

- Orozco C., Pérez A., Gonzáles M, Rodríguez F., Alfayate J., *Contaminación Ambiental*, 1º Edición, Editorial Thomson, Madrid, 2003.
- Alley Robert and Associates Inc, *Manual de Control de la Calidad del Aire*, Tomo 2, Capítulo 19, 1º Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2001,
- Ross R. D., *La Industria y la Contaminación del Aire*, , Capítulo 6, 1º Edición, Editorial Diana, México, 1974

### LEYES

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, de la Calidad Ambiental; Título IV, Reglamento a la ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; Anexo 3, Normas de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión.
- Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental (LPCCA).
- Ordenanza para la prevención y control de la contaminación por desechos industriales, florícolas y de servicios en el Cantón Rumiñahui, que se rige a los niveles de contaminación permitidos por la LPCCA y sus reglamentos pertinentes
- Normas Técnicas para la Aplicación de la Codificación del Título V, “del Medio Ambiente”, Libro segundo, Capítulo III: Normas Técnicas de Emisiones y Descargas, del Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, de la Calidad Ambiental; Título IV, Reglamento a la ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; Anexo 4.

### MANUALES

- Clean Air, Express, *Isokinetic Metering Console Manual*
- Thermo Andersen, M9096, *Instruction Manual*

- Testo, Smoke Pump, *Instruction Manual*

## PÁGINAS WEB

- EPA, Método 17, STATIONARY SOURCES, IN STACK SAMPLING  
[www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-17a.pdf](http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-17a.pdf), 2000, 2007.
- Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos,  
[www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002804.htm](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002804.htm), 2007, 2007.
- Consultora Estructplan, Gases Contaminantes,  
[www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=618](http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=618), 2007, 2007.
- Biblioteca de la Universidad de Navarra (UNAV), Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente,  
[www.esi.unav.es/ASIGNATURAS/ECOLOGIA/hIPERTEXTO/10CAtm1/330Smog.htm](http://www.esi.unav.es/ASIGNATURAS/ECOLOGIA/hIPERTEXTO/10CAtm1/330Smog.htm), 2003, 2007.
- Programa de Coordinación de la Información sobre Medio Ambiente, Comunidad Europea, [www.corine.org](http://www.corine.org), 1995, 2007.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), *El Dióxido de Azufre y sus efectos sobre las plantas*, [www.oms.org](http://www.oms.org), 2000, 2007.
- [www.bacharach.com](http://www.bacharach.com), 2005, 2007
- [www.westechinstruments.com](http://www.westechinstruments.com)
- Aplicaciones Industriales  
[www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3](http://www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3), 2007, 2007.
- Dispositivos de control para emisiones de partículas, [www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org), 2008, 2008.
- Ventura scrubber, en [wikipedia.org/wiki/Venturi\\_scrubber](http://wikipedia.org/wiki/Venturi_scrubber), 2008, 2008.

Fecha de entrega: Sangolquí, 20 de abril del 2008.

DANIEL HEREDIA M.

AUTOR

DIEGO PÁEZ M.

AUTOR

ING. FRANCISCO LEÓN L.

COORDINADOR DE CARRERA

DR. MARIO LOZADA

SECRETARIO ACADÉMICO