

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



**DIAGNÓSTICO DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR  
LOS INGENIOS AZUCAREROS DE EL SALVADOR**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:**

ANYA JEANNETTE CASTILLO MARTINEZ  
DINORA JUDITH RIVERA GARCÍA

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

LICENCIATURA EN QUÍMICA Y FARMACIA

AGOSTO 2004

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA



**©2004, DERECHOS RESERVADOS**

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento,  
sin la autorización escrita de la Universidad de El Salvador

<http://virtual.ues.edu.sv/>

**SISTEMA BIBLIOTECARIO, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

## **Rectora**

Dra. María Isabel Rodríguez

## **Secretaria General**

Lic. Alicia Margarita Rivas de Recinos

## **Facultad de Química y Farmacia**

## **Decano**

Lic. Salvador Castillo Arévalo

## **Secretaria**

Msc. Miriam del Carmen Ramos de Aguilar

## **Comité de Trabajos de Graduación**

### **Coordinadora General**

Lic. María Concepción Odette Rauda Acevedo

### **Coordinadora de Área de Gestión Ambiental: Toxicología y Química Legal**

Lic. María Luisa Ortiz de López

### **Coordinadora de Área de Gestión Ambiental: Calidad Ambiental**

Lic. Cecilia Gallardo de Velásquez

### **Docente Directora**

Lic. Sandra Peraza de Ramírez

### **Docente Directora**

Ing. Ada del Carmen Durán

## **Dedicatoria**

Dios Todopoderoso.

Mis queridos Padres : Víctor y Sandra.

Mis hermanos: Guadalupe y Víctor Alejandro.

## **Agradecimientos**

Dios: por darme la vida y la perseverancia para poder finalizar esta etapa de mi vida.

Mis padres: por su amor, confianza y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y por poner en mí, el deseo de superarme.

Mis hermanos: porque con su cariño llenan de alegría los momentos difíciles de mi vida.

Xiomara, Karla y Priscila: por darme su amistad, su cariño y por compartir conmigo mis alegrías y tristezas.

Familia Castillo Zelaya y a la familia Hernández: por darme la oportunidad de entrar en su hogares.

Dinora: por ayudarme a superar los momentos difíciles de mi vida, por sus consejos y por compartir este reto conmigo.

Mis amigos, amigas y a todos mis familiares que de una forma u otra contribuyeron a realizar este triunfo.

Anya Castillo Martínez

## **Agradecimientos**

Dios Todopoderoso por habernos brindado la sabiduría necesaria para realizar este trabajo de graduación.

Lic. Sandra Peraza de Ramírez: por haber trabajado con nosotras con perseverancia y habernos dado el impulso para concluir nuestro trabajo.

Ing. Ada del Carmen Durán: por su valiosa ayuda y su especial interés en nuestro trabajo.

Coordinadora general y coordinadoras de área: por sus valiosos aportes y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A los ingenios azucareros del país por proporcionarnos las facilidades de realizar este trabajo al dejarnos ingresar a sus instalaciones.

## **Dedicatoria**

Dios por iluminarme y darme la capacidad y la fuerza en el transcurso de mi carrera y mi vida.

Mi madre Lic. Nora García de Rivera quién con amor me apoyó y confió en mi en todo momento.

Mi padre Dr. Javier Rivera Lazo quien con amor me brindó la oportunidad de ganarme este título y concluir con éxito mis estudios.

Mi abuelita Margarita Álvarez y hermanos Rodrigo, Ana, Fernando, Vilma, Sandra y Omar por su cariño y confianza.

Dinora Rivera García

# INDICE

	Pág
INTRODUCCIÓN	xi
OBJETIVOS	
Capítulo I : <b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	18
1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	19
1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES	20
1.2.1 Clasificación Físico-Química	20
1.2.2 Clasificación según su origen	22
1.3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE	23
1.4 INFLUENCIA DE LA COMBUSTIÓN EN LA GENERACIÓN DE CONTAMINANTES	24
1.5 ELABORACIÓN DE AZÚCAR DE CAÑA	26
1.5.1 Listado de Operaciones Unitarias	26
1.6 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	30
1.6.1 Ciclo de la producción limpia	31
Capítulo II: <b>METODOLOGÍA</b>	32
2.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	33
2.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO	34
2.2.1 Selección de las zonas de estudio	34
2.2.2 Obtención de los datos del cuestionario de Control de Emisiones de Fuentes Fijas	34
2.2.3 Elaboración de Inventario de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas	35
2.2.4 Elaboración del balance de materia	35
2.2.4.1 Cálculos para la cuantificación de materia sólida emitida	35

2.2.5	Parte Experimental	38
2.2.5.1	Selección de las zonas de muestreo	38
2.2.5.2	Método de Análisis	38
2.2.5.3	Fundamento del Método	38
2.2.5.4	Material y Equipo	39
2.2.5.5	Recolección de Muestras	39
2.2.5.6	Proceso de Análisis	40
2.2.5.7	Cálculos	40
Capítulo III:	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	44
3.1	Posición geográfica de los ingenios azucareros de El Salvador	45
3.2	Datos obtenidos del cuestionario de control de emisiones de fuentes fijas de los ingenios visitados	46
3.3	Datos obtenidos en la elaboración del balance de materia	63
3.4	Datos obtenidos en la medición de partículas respirables presentes en puntos críticos de contaminación dentro de las instalaciones de los ingenios	64
3.5	Datos obtenidos en la identificación de ingenios que aplican parámetros para obtener una producción limpia	68
Capítulo IV:	<b>CONCLUSIONES</b>	69
Capítulo V:	<b>RECOMENDACIONES</b>	73
	BIBLIOGRAFÍA	77
	GLOSARIO	81
	ANEXOS	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1. Esquema de una Combustión Incompleta	24
Figura N°2. Diagrama de Flujo de los Gases de Combustión para un Ingenio Azucarero	25
Figura N°3. Diagrama General de Flujo para un Ingenio Azucarero	29
Figura N°4. Posición Geográfica de los Ingenios Azucareros de El Salvador	45
Figura N°5. Fotografía de las Instalaciones Exteriores de un Ingenio Azucarero	91
Figura N°6. Fotografía de la vista exterior de las chimeneas de un Ingenio Azucarero	92
Figura N°7 Fotografía de una columna de Emisión proveniente de una chimenea	93
Figura N°8. Fotografía de una bomba de flujo constante colocada en un punto de muestreo dentro de las Instalaciones de un ingenio	94

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N°1. Características del Proceso de Combustión	51
Tabla N°2. Características de la Descarga de Emisiones	52
Tabla N°3. Equipos de Control en la Fuente	54
Tabla N°4 Promedio de Azúcar de Caña	61
Tabla N°5. Registro del Consumo de Bagazo utilizado como combustible	62
Tabla N°6. Cuantificación de Materia Sólida	63
Tabla N°7. Resultados de pesos de casets utilizados para muestra y blancos, caudal al cual se realizó la medición y tiempo de muestreo.	64
Tabla N°8. Ubicación de los casets en las zonas de muestreo	66
Tabla N°9. Cantidad de Material Particulado suspendido en el aire.	67
Tabla N°10. Parámetros necesarios para aplicar una Producción Limpia	68

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°1. Identificación de las Fuentes Emisoras	46
Cuadro N°2. Características del Proceso de Producción	49
Cuadro N°3. Condiciones de la Fuente Emisora	50
Cuadro N°4. Monitoreo de Emisiones Atmosféricas	56
Cuadro N°5. Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas	58

## **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCION

El azúcar se produce en todas las hojas de las plantas terrestres conocidas, por el proceso llamado fotosíntesis, mediante la acción de la luz solar en la combinación de dióxido de carbono y agua en las células que contiene clorofila. La especie humana ha perdurado debido a que el azúcar y varios otros nutrientes están diseminados tan ampliamente y son tan disponibles en los alimentos que comemos. (11)

La principal fuente de producción mundial de azúcar es la proveniente de la Caña de Azúcar que es una hierba gigante del género *Saccharum* (11). Las amplias variaciones en el tamaño, el color y el aspecto son resultado de las diversas condiciones del terreno, del clima, de los métodos de cultivo y de la selección local. La Planta donde se da la serie de procesos de transformación de la caña de azúcar, así como la producción de azúcar y demás productos derivados (bagazo, cachaza y melaza) se conoce como Ingenio Azucarero, acá se llevan a cabo las operaciones desde la extracción del jugo hasta la obtención de azúcar cristalizada.

Los ingenios en su proceso de producción, utilizan para su funcionamiento calderas industriales para generar energía en el proceso de transformación de la caña de azúcar en azúcar de caña, enviando así sus emisiones a la atmósfera las cuales salen a través de chimeneas, dichas emisiones deben ser controladas para evitar una contaminación atmosférica. Por otra parte este tipo de industria utiliza como combustible el bagazo de la misma caña de azúcar utilizada como materia prima, generando así material particulado que al ser expuesto al trabajador sin

protección alguna y por períodos de tiempo no adecuados puede llegar a causar daños en su salud.

En El Salvador, el azúcar de caña generó para el año 2001 un Producto Interno Bruto (PIB) de 106.971,428.6 millones de dólares <sup>(3)</sup> , mostrando esta cifra su alto valor tanto económico como nutricional, pero a pesar de ello la industria azucarera no escapa de ser una fuente de contaminación atmosférica, ya que provoca la presencia de ciertas sustancias como: cenizas, humos, óxidos de azufre, dióxido de carbono <sup>(14)</sup>, capaces de afectar la salud de las personas así como causar perjuicios y deterioro del entorno; como otras actividades que están íntimamente relacionadas con el desarrollo económico y social del país.

El presente trabajo tiene como finalidad elaborar un Diagnóstico de Emisiones Atmosféricas generadas por los Ingenios Azucareros con el objeto de identificar los tipos de contaminantes específicos producidos por este sector de acuerdo al tipo de materia prima utilizada, además cuantificar las partículas respirables molestas a las cuales están expuestos los trabajadores de los ingenios en una jornada de trabajo, así como también proponer medidas de higiene y seguridad ocupacional a los ingenios azucareros y la aplicación de una producción limpia en sus procesos. Esta investigación se realizó de manera conjunta con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) a través del programa de Gestión Ambiental que persigue realizar una evaluación de la calidad del aire.

La selección de los ingenios a muestrear se determinó a través de los registros proporcionados por la Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC)

tomando como muestra la totalidad de Ingenios Azucareros con producción activa, los cuales son ocho y se mencionan a continuación:

Compañía Azucarera Salvadoreña S.A. de C.V., Industrias Agrícolas San Francisco S.A. de C.V. ,Ingenio Chanmico S.A.,Ingenio El Angel S.A. de C.V., Ingenio La Cabaña S.A. de C.V., Ingenio La Magdalena S.A.,Injiboa S.A., Ingenio Chaparrastique S.A. ;ubicados en diversas regiones del territorio salvadoreño (ver figura N° 4 ).

Este diagnóstico se elaboró haciendo uso de instrumentos como un Cuestionario de Control de Fuentes Fijas (ver anexo #1) dirigido a cada uno de los ingenios visitados y una Bomba de Flujo Constante Portátil (ver anexo #5) para hacer la toma de muestras de material particulado respirable.

Tanto la obtención del cuestionario de control de emisiones de fuentes fijas como la medición de material particulado respirable se realizó durante los meses del período de zafra de los años 2002 - 2003, el cual comprende los meses de noviembre y diciembre del año dos mil dos y de enero a abril del año dos mil tres. Esta recopilación de información puede servir como base para aplicar medidas que prevengan la contaminación atmosférica y la exposición a material particulado aplicando las medidas correctivas necesarias, además puede mostrar si los ingenios están aplicando producción limpia en sus operaciones, ya que hasta la fecha es el primer trabajo de investigación orientado a la elaboración de un diagnóstico de emisiones atmosféricas por parte del sector azucarero ya que otros trabajos han sido orientados pero para el área de seguridad e higiene ocupacional.

## **OBJETIVOS**

## **1.0 OBJETIVO GENERAL**

Diagnosticar las Emisiones Atmosféricas generadas por los Ingenios Azucareros de El Salvador.

## **2.0 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

2.1 Identificar la posición geográfica de los Ingenios Azucareros de El Salvador.

2.2 Determinar por medio de un Cuestionario de Control de Fuentes Fijas:

Identificación de Fuentes Emisoras, Características del Proceso de Producción, Condiciones de la Fuente Emisora, Características de la Combustión y Descarga de Emisiones, Control en la Fuente, Régimen de Operación y Monitoreo de Emisiones.

2.3 Identificar el promedio de azúcar de caña producida por cada uno de los ingenios azucareros con producción activa y elaborar un balance de materia por medio de datos recolectados en el cuestionario de control de fuentes fijas.

2.4 Determinar mediante la utilización de una bomba de flujo constante portátil las partículas respirables presentes en los puntos críticos de contaminación dentro de las instalaciones de los ingenios azucareros.

2.5 Identificar los ingenios azucareros que aplican producción limpia.

2.6 Proponer medidas de higiene y seguridad ocupacional a los ingenios azucareros, así como la aplicación de una producción limpia en sus procesos.

**CAPITULO I**  
**FUNDAMENTO TEÓRICO**

## 1.0 FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El tema de la contaminación ambiental en los últimos años ha tenido mayor atención por parte de todos los sectores ( social, gubernamental, industrial, etc.). Todas las actividades del hombre , el metabolismo de la materia viva y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la tierra van acompañados de emisiones de gases, de vapores, de polvos o aerosoles que quedan en suspensión en la atmósfera. (2)

Los principales contaminantes de la atmósfera producidos por el hombre son los productos de la combustión, liberados en cantidades cada vez mayores por causa de combustibles para la calefacción doméstica e industrial, el transporte y otras aplicaciones. (2)

Debido a ello, el hombre se ve obligado a hacer uso de la higiene y seguridad industrial en sus actividades, ya que es la ciencia que reúne un cuerpo organizado de conocimientos técnicos y prácticos necesarios para el reconocimiento, evaluación y control de los contaminantes existentes en el puesto de trabajo dando como resultado una mejor calidad de vida para el trabajador y un mejoramiento de las condiciones del medio ambiente. (14)

**Contaminación Atmosférica:** es la presencia de sustancias indeseables en el aire, en cantidades tales que produzca efectos nocivos a la salud humana, la vegetación, los bienes humanos y el medio ambiente en general.

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

### 1.2.1 CLASIFICACIÓN FÍSICO-QUÍMICA <sup>(4)</sup>

Los contaminantes químicos se agrupan tradicionalmente según presenten forma molecular o de agregados moleculares, lo que da lugar a conceptos típicos de gases, vapores, nieblas, humos, polvos y fibras que se comentan a continuación.

#### FORMA MOLECULAR

Gases no proceden de un proceso de evaporación y en condiciones normales de presión y temperatura no coexisten con la fase líquida.

Vapores proceden de un proceso de evaporación y en condiciones normales de presión y temperatura coexisten con la fase líquida.

#### FORMA DE AGREGADOS MOLECULARES: AEROSOLES

Líquidos la suspensión dispersa de materiales líquidos en el aire producida por condensación o dispersión se conoce como *niebla*.

Sólidos la suspensión dispersa de materias sólidas en el aire producida por procesos mecánicos o por remolino recibe el nombre de *polvo*.

Los polvos son considerados como molestos cuando presentan escasos efectos adversos sobre los pulmones, no producen trastornos orgánicos significativos y no tienen efectos tóxicos, siempre que la exposición se mantenga controlada.

Las concentraciones excesivas de polvos molestos en el aire pueden reducir la visibilidad, producir depósitos molestos en los ojos, oídos y conductos nasales.

Un factor determinante en los efectos en la salud es el tamaño de las partículas de los polvos debido al grado de penetración y permanencia que ellas tienen en el sistema respiratorio, así tenemos (7):

- Si el tamaño de las partículas oscila entre  $\leq 10\mu$  y  $\geq 5\mu$ , estas son fácilmente eliminadas por medio del aparato respiratorio.
- Si el tamaño de la partícula es menor a  $5\mu$  se deposita en las vías aéreas del sistema respiratorio y bronquios.
- Si el tamaño de la partícula es menor a  $2.5\mu$  se deposita en bronquiólos y alvéolos.

Algunos de los ejemplos de compuestos o sustancias cuyas partículas se les considera molestas son: almidón, carbonato cálcico, dióxido de titanio, caolín, mármol, sacarosa, etc. Para las sustancias comprendidas en esta categoría se recomienda un límite de  $10\text{ mg/ m}^3$  (10).

Si el diámetro aerodinámico medio de las partículas es inferior a un tercio de su longitud, se les denomina *fibras*. Cuando la suspensión se ha producido por procesos térmicos y/o químicos se llama *humo*.



### 1.2.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ORIGEN <sup>(14)</sup>

Los contaminantes de acuerdo a su origen se clasifican en: contaminantes primarios y contaminantes secundarios.

**CONTAMINANTES PRIMARIOS.** Son aquellos que se originan en un punto de emisión, que revisten gran importancia por causar efectos notables sobre la salud o ser indicadores de contaminación, ellos son: humo y materia en suspensión, dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), compuestos orgánicos volátiles (CVO), monóxido de carbono (CO), partículas con tamaño menor o igual  $10 \mu$  ( $\text{PM}_{10}$ ) etc.

Dentro de esta clasificación se encuentran los emitidos por los ingenios azucareros, ya que por la naturaleza de sus actividades estos generan: Cenizas, Humos, Óxidos de azufre, Dióxido de Carbono.

**CONTAMINANTES SECUNDARIOS.** Son los contaminantes primarios que al tener contacto con la atmósfera tienen reacciones químicas uniéndose a otros componentes, como: ácido sulfúrico y sulfatos, ozono y otros contaminantes fotoquímicos.

Una de las transformaciones más importantes que ocurre es la solución y oxidación del  $\text{SO}_2$  que produce ácido sulfúrico y sulfatos. La solución puede producirse en superficies libres de agua o terrenos húmedos y otras superficies sólidas, en la vegetación, y en las gotas de agua que compone la niebla, la lluvia y las nubes.

### 1.3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE <sup>(14)</sup>

#### a) FUENTES TECNOLÓGICAS

Fuente móvil: Fuente emisora de contaminantes que no se encuentra en un lugar permanente.

Fuente fija: Fuente emisora de contaminantes que se encuentra en un lugar permanente. Se utiliza esta nomenclatura por el término industria , puesto que casi todas las actividades actuales son generadoras de agentes de contaminación. La gran cantidad de tipos de industrias que existen, la gama extraordinaria de materias primas que se utilizan y la diversidad de tecnologías empleadas no permite generalizar, de forma que cuando se trata de valorar la contaminación atmosférica causada por estas, debe efectuarse un análisis a cada proceso en particular. <sup>(5)</sup>

#### b) FUENTES NATURALES

El agente de contaminación natural más corriente es el polvo transportado por el viento, aunque las materias biológicas, las esporas, los pólenes y las bacterias pueden a veces producirse en cantidades suficientes para plantear problemas lejos de sus fuentes.

#### c) FUENTES AGRÍCOLAS

Las prácticas agrícolas pueden crear materias biológicas contaminadoras, pero los contaminantes más importantes son los insecticidas y herbicidas que se utilizan en la agricultura.

## 1.4 INFLUENCIA DE LA COMBUSTIÓN EN LA GENERACIÓN DE CONTAMINANTES <sup>(14)</sup>

Todo combustible, sea leña, gas, kerosina, gasolina o diesel, requiere aire para proveer el oxígeno necesario para su combustión.

Al obtener una buena combustión se logrará una mayor eficiencia en el proceso y menor emisión de contaminantes a la atmósfera. La combustión puede ser completa e incompleta.

**COMBUSTIÓN INCOMPLETA.** Se caracteriza por mayor emisión de gases, humos, cenizas y material particulado, además de necesitar un mayor consumo de combustible. Donde cualquier hidrocarburo produce dióxido de carbono, monóxido de carbono, agua, cenizas u otros productos, de acuerdo a la composición química del combustible.

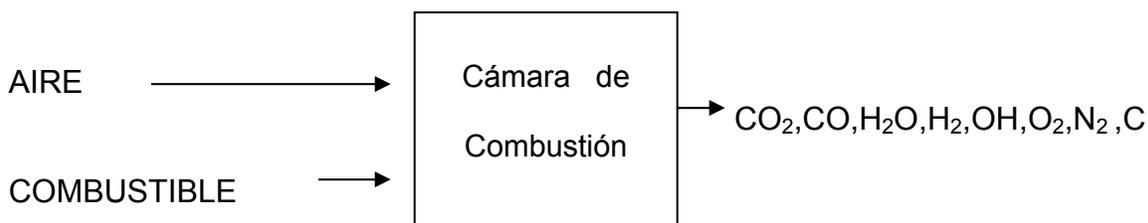


Figura N°1. Esquema de una combustión incompleta.

Razones de una combustión incompleta:

1. Falta de oxígeno
2. Exceso de suministro de combustible
3. Exceso de aire
4. Disociación a alta temperatura
5. Sobrecarga
6. Restricción en el sistema de escape

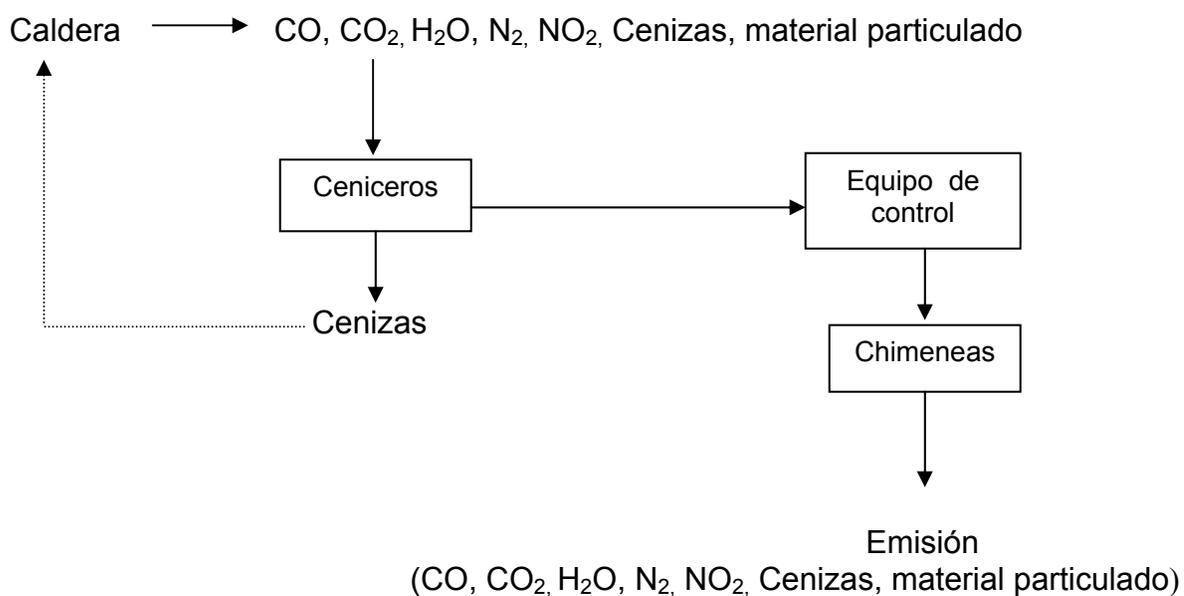


Figura N°2. Diagrama de flujo de los gases de combustión para un ingenio azucarero.

En las chimeneas, hornos y motores se emiten gases de escape o humos que son llamados productos de combustión. Su composición depende de la clase de combustible utilizado, de la relación de aire y combustible, y de las condiciones en que se realiza la combustión. Los productos de combustión generalmente contienen

dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno, nitrógeno, óxidos de nitrógeno, carbono libre, ceniza, hidrocarburos no quemados, entre otros.

**COMBUSTIÓN COMPLETA.** Es la deseable en los procesos industriales debido a que representa más eficiencia en la generación de calor y menor emisión de contaminantes. En este caso, las emisiones son más ricas en dióxido de carbono y vapor de agua. Para ello, se deberá tener en cuenta la presión máxima de trabajo, el exceso de aire requerido, y la temperatura de acuerdo a diseño de la fuente en cada caso particular.

## **1.5 ELABORACIÓN DE AZÚCAR DE CAÑA <sup>(11)</sup>**

### **1.5.1 LISTADO DE OPERACIONES UNITARIAS**

*1. Desmenuzación de la caña de azúcar.* La caña se prepara para la molienda mediante cuchillas giratorias que cortan los tallos en pedazos pequeños.

*2. Molido de caña de azúcar.* Se extrae el jugo (guarapo) moliendo la caña entre pedazos de rodillos o mazas. Generalmente el molino o trapiche consta de unidades múltiples que utilizan combinaciones de tres rodillos a través de los cuales pasa la caña exprimida o bagazo.

*3. Combustión del bagazo de caña.* El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, la fibra leñosa, y de 40 a 50 % de agua. Este producto suele ir a las calderas para servir de combustible.

*4. Alcalinización del guarapo.(Clarificación).* Este proceso se utiliza para eliminar tanto las impurezas solubles como las insolubles, por lo general utilizando cal y calor como agentes clarificadores. La lechada de cal, preparada con

aproximadamente una libra de CaO por tonelada de caña, neutraliza la acidez natural del jugo, y forma sales insolubles de calcio, principalmente en forma de fosfatos de calcio.

5. *Calentamiento del guarapo.(Clarificación).* La calefacción del jugo alcalino, hasta el punto de ebullición, o un poco más allá de este punto, coagula la albúmina y algunas de las grasas, ceras y gomas, y el precipitado que así se forma engloba tanto los sólidos en suspensión como las partículas más finas.

6. *Separación del jugo clarificado por medio de tambores rotativos.* Mediante la sedimentación, se logra la separación de los lodos del jugo claro. Los lodos se filtran en filtros de tambor rotativo al vacío. El jugo de los filtros prensas retorna al proceso, o se añade directamente al jugo claro, y la torta de las prensas (cachaza) se tira o usa como fertilizante. El jugo clarificado, de color café oscuro, retorna a los evaporadores sin sufrir tratamiento adicional.

7. *Evaporación del jugo clarificado.* Este jugo, que posee casi la misma composición que el jugo crudo extraído (excepto impurezas precipitadas) contiene aproximadamente 85% de agua. Las dos terceras partes de esta agua se evapora en evaporadores de múltiples-efectos al vacío, que consisten en una sucesión (generalmente cuatro) de celdas de ebullición al vacío llamadas “cuerpos”, dispuestas en serie. El vapor que sale del último cuerpo va a un condensador. El jarabe (melaza) sale continuamente del último cuerpo, con un contenido aproximado de 65% de sólidos y 35% de agua.

8. *Cristalización.* Esta se lleva a cabo en recipientes al vacío, de simple efecto, en los cuales se concentra la melaza hasta quedar saturada de azúcar. Al llegar a este punto,

se introducen cristales de siembra para que sirvan de núcleos a los cristales de azúcar, y se va añadiendo más melaza a medida que se evapora el agua. Los cristales originales, que fueron formados por la destreza del operador del cristizador, crecen, sin que se formen cristales adicionales, a medida que en ellos se va depositando azúcar procedente de la masa en ebullición. Este crecimiento de los cristales continúa hasta que al quedar lleno el recipiente han alcanzado un tamaño previamente determinado. La mezcla de cristales y melaza queda concentrada hasta formar una masa densa, y la templa o contenido del tanque se descarga a través de una válvula inferior hacia un mezclador o cristizador.

9. *Centrifugado.* La masa cocida que se llevó al mezclador se hace pasar a máquinas giratorias llamadas centrifugas. El canasto cilíndrico de la centrífuga, que está suspendido de una flecha tiene sus costados perforados y forrados de tela metálica; entre el forro y el costado hay láminas de metal que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El forro perforado retiene los cristales de azúcar. Las aguas madres o melazas pasan a través del forro, impulsadas por la fuerza centrífuga que sobre ellas se ejerce; y cuando el azúcar queda purgado, se descarga de la centrífuga, quedando lista para recibir otra carga de masa cocida.

10. *Envasado.* El azúcar de la purga va a tolvas de envase por medio de transportadores de diversos tipos.

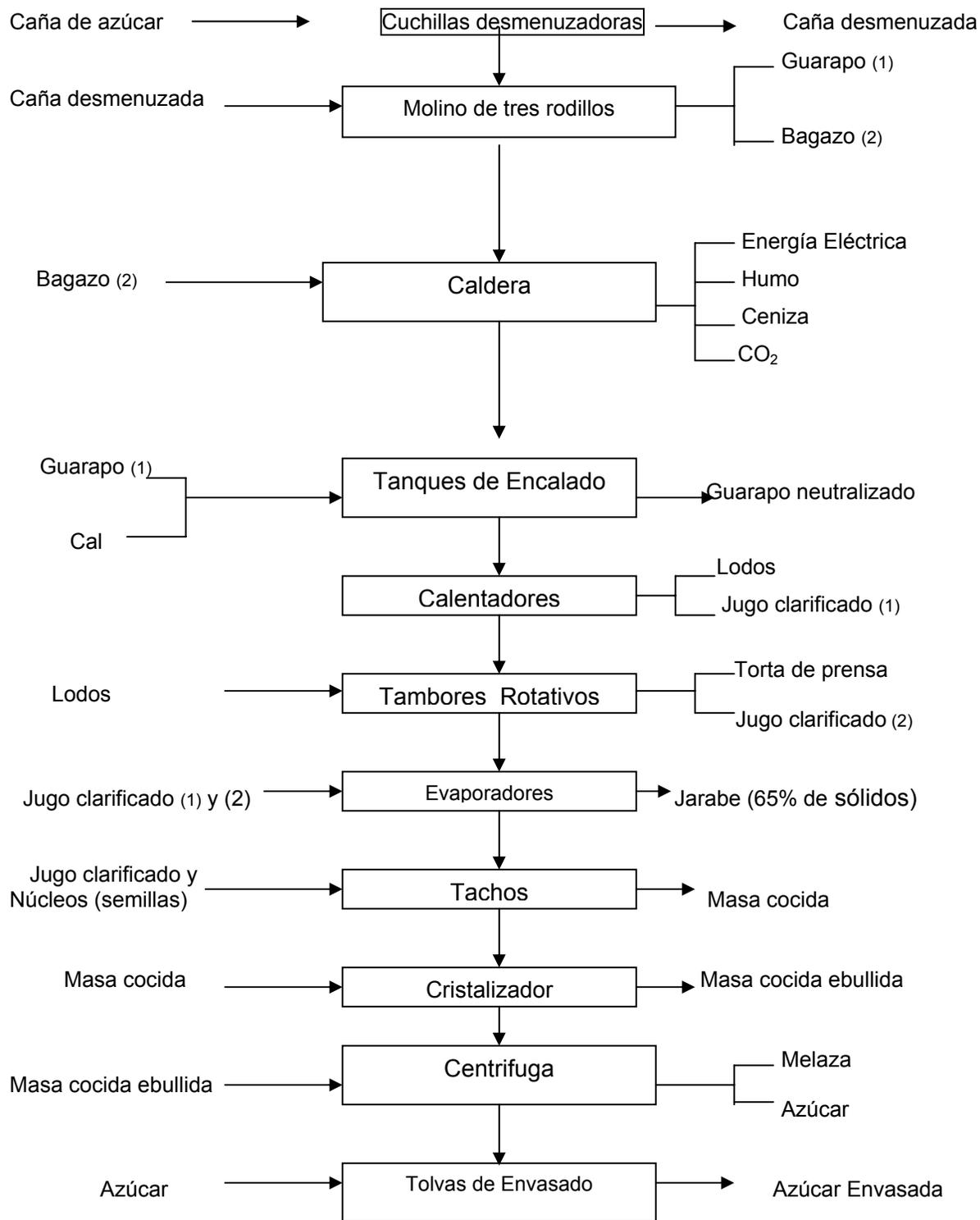


Figura N°3. Diagrama General de Flujo para un Ingenio Azucarero.

## 1.6 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

En la prevención de la contaminación atmosférica, deberá tenerse en cuenta que el objetivo es reducir la generación de contaminantes en la fuente emisora tanto como sea posible y reciclar cuando se pueda, antes de utilizar los dispositivos de control o tratar las emisiones, y asimismo realizar una disposición adecuada de los desechos.

Los pasos a seguir en la prevención de la contaminación:

1. Reducción de la contaminación de la fuente mediante el uso de técnicas tales como cambios en el uso de materias primas, instalación de tecnología nueva, tener una buena combustión, utilización de combustibles limpios, etc..
2. Reciclaje o reúso de los desechos cuando sea posible.
3. Tratamiento y control.
4. Disposición adecuada de los desechos.

Las medidas de prevención, pueden reducir la contaminación del aire y lograr que las industrias alcancen una producción limpia.

*Producción Limpia:* aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, producción y servicios para incrementar la eficiencia de los procesos, reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente y lograr la sostenibilidad del desarrollo económico.<sup>(9)</sup>

Ello significa implementar un grupo importante de acciones y medidas dirigidas a garantizar la eficiencia en el uso de las materias primas, agua y energía, reducir el uso de sustancias tóxicas, prevenir y minimizar la generación de residuos y lograr su reciclaje.

La producción limpia es una práctica empresarial que se aplica a todo proceso de cualquier tipo de empresa y subsector industrial, para incrementar la productividad y las utilidades económicas, mediante el uso óptimo de agua, energía y materias primas por unidad de producto, minimizando, al mismo tiempo, la generación de desechos y los costos inherentes al tratamiento y disposición de los mismos.

#### CICLO DE LA PRODUCCIÓN LIMPIA <sup>(9)</sup>

1° Identificar oportunidades y formular recomendaciones. Consiste en realizar una revisión técnica para identificar oportunidades y formular recomendaciones que permitan mejorar la productividad y eficiencia en cada operación unitaria.

2° Implementar las recomendaciones. Una vez las recomendaciones han sido formuladas, éstas son ordenadas según las prioridades e intereses de la empresa.

3° Medir el éxito. Los resultados son medidos a través de indicadores como la reducción en la cantidad de desechos o de contaminación generada.; reducción en el consumo específico de materias primas, energía y agua; la reducción de costos de producción ; y el incremento de las utilidades.

**CAPITULO II**  
**METODOLOGIA**

## **2.0 METODOLOGÍA**

### **2.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRAFICA**

En primer lugar se investigó la totalidad de los ingenios azucareros con producción activa, los datos para conocer nombres y ubicación de éstos fueron obtenidos a través de los registros proporcionados por la Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC). A lo largo de toda la investigación fue necesaria la utilización de una Guía Técnica y un Manual de Control de Emisiones Atmosféricas, material preparado por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) a través del programa de Gestión Ambiental con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), dicha bibliografía fue utilizada para complementar conocimientos sobre inspecciones aplicadas a problemas ambientales. Para reforzar los conocimientos relacionados con el tema de la contaminación ambiental, análisis de contaminantes y procesos de obtención del azúcar de caña, se consultaron diversos libros, manuales y revistas en la biblioteca de la Facultad de Química y Farmacia y Biblioteca Central de la Universidad de El Salvador.

También se hizo necesaria la utilización de herramientas como documentos electrónicos para obtener información acerca de los procedimientos de Prácticas de Producción Limpia para Fuentes Fijas y Clasificación de Partículas Molestas. Para enriquecer las recomendaciones se consultó el Reglamento General sobre Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo, proporcionado por el Departamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

## **2.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO**

El trabajo de campo constó de dos partes, una investigación teórica para lograr la obtención de el diagnóstico de control de emisiones atmosféricas y una investigación experimental a nivel ocupacional para determinar las partículas respirables molestas en el interior de los ingenios.

### **2.2.1 SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO**

La muestra seleccionada para el estudio fue el universo <sup>(13)</sup>, es decir los ingenios del país con producción activa, encontrándose ocho en total los cuales fueron: Compañía Azucarera Salvadoreña S.A. de C.V., Industrias Agrícolas San Francisco S.A. de C.V. ,Ingenio Chanmico S.A.,Ingenio El Angel S.A. de C.V., Ingenio La Cabaña S.A. de C.V., Ingenio La Magdalena S.A., Injiboa S.A.,Ingenio Chaparrastique S.A. (ver figura N°4).

### **2.2.2 OBTENCIÓN DE LOS DATOS DEL CUESTIONARIO DE CONTROL DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS.**

Dicho cuestionario fue de fácil comprensión y apto para ser contestado con datos reales por la persona encargada del área de producción en cada uno de los ingenios. Este cuestionario constó de los siguientes puntos: Identificación de la Empresa, Identificación de Fuentes Emisoras, Características del proceso de producción, Condiciones de la Fuente Emisora, Características de la Combustión y Descarga de Emisiones, Control en la Fuente, Régimen de Operación y Monitoreo de Emisiones. (Ver anexo N°1).

De los ocho ingenios visitados, solo seis de ellos proporcionaron los datos requeridos en el cuestionario de control de fuentes fijas.

### **2.2.3 ELABORACIÓN DE INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS. (Ambiente Externo)**

Este inventario se elaboró a partir de los datos obtenidos en el cuestionario de control de emisiones, con los siguientes puntos: Sector Industrial, Tipo y Número de fuentes, Tipo de Contaminantes, Combustible, Materias Primas, Equipos de Control, Características de la Descarga y Niveles de Emisión.

### **2.2.4 ELABORACIÓN DEL BALANCE DE MATERIA.**

Los datos requeridos fueron las cantidades de bagazo utilizadas por cada uno de los ingenios (ver tabla N°4), conocer las operaciones unitarias (ver 1.5.1) y su interrelación a lo largo del diagrama de flujo de operaciones de los ingenios azucareros (ver figura N°3), además de conocer la eficiencia de los equipos de control en las chimeneas ( ver tabla N°3) si estos poseían.

#### **2.2.4.1 CÁLCULOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE MATERIA SÓLIDA EMITIDA**

Datos:

Composición del bagazo (% Base Seca): (11)

C = 42.54      S = 0.30      N<sub>2</sub> = 0.63      H<sub>2</sub> = 5.17      O<sub>2</sub> = 39.62

- Ingenio # 1 ( I<sub>1</sub> ) :

Cantidad de bagazo = 33,303.312 Kg. en una hora.

100.0 Kg. bagazo	_____	42.54 Kg. carbón
33 ,303.312 Kg. bagazo	_____	X Kg. carbón

X = 14 ,167.229 Kg. carbón / hora.

El I<sub>1</sub> posee un dispositivo de control en las chimeneas con un 68% (ver tabla N°3) de eficiencia por lo tanto solamente un 32% del material particulado producido es emitido a la atmósfera , su equivalente en kilogramos será de:

14 ,167.229 Kg. carbón/ hora	_____	100%
X Kg. carbón/ hora	_____	32%

X =4,533.51 Kg carbón/ hora.

- Ingenio # 2 ( I<sub>2</sub> ) :

Cantidad de bagazo = 76,706.00 Kg. en una hora.

100.0 Kg. bagazo	_____	42.54 Kg. carbón
76 ,706 Kg. bagazo	_____	X Kg. carbón

X = 32 ,630.732 Kg. carbón/hora

El I<sub>2</sub> posee un dispositivo de control en las chimeneas con un 85% (ver tabla N°3) de eficiencia por lo tanto solamente un 15% del material particulado producido es emitido a la atmósfera , su equivalente en kilogramos será de:

32,630.732 Kg. carbón / hora	_____	100%
X Kg. carbón / hora	_____	15%

X = 4,894.61 Kg. carbón/hora.

- Ingenio # 3 ( I<sub>3</sub> ) :

El I<sub>3</sub> no proporcionó los datos necesarios para realizar el balance de materias.

- Ingenio # 4 ( I<sub>4</sub> ) :

Cantidad de bagazo = 33,897.906 Kg en una hora.

$$\begin{array}{rcl} 100.00 & \text{Kg. bagazo} & \text{—————} & 42.54 \text{ Kg. carbón} \\ 33,897.906 & \text{Kg. bagazo} & \text{—————} & X \text{ Kg. carbón} \end{array}$$

$$X = 14420.169 \text{ Kg. carbón / hora.}$$

- Ingenio # 5 ( I<sub>5</sub> ) :

Cantidad de bagazo = 85,000 Kg en una hora.

$$\begin{array}{rcl} 100.00 & \text{Kg. bagazo} & \text{—————} & 42.54 \text{ Kg. carbón} \\ 85,000 & \text{Kg. bagazo} & \text{—————} & X \text{ Kg. carbón} \end{array}$$

$$X = 36,159.00 \text{ Kg. carbón / hora.}$$

- Ingenio # 6 ( I<sub>6</sub> ) :

El I<sub>6</sub> no proporcionó los datos necesarios para realizar el balance de materias.

- Ingenio # 7 ( I<sub>7</sub> ) :

Cantidad de bagazo = 36,250.00 Kg en una hora.

$$\begin{array}{rcl} 100.00 & \text{Kg. bagazo} & \text{—————} & 42.54 \text{ Kg. carbón} \\ 36,250.00 & \text{Kg. bagazo} & \text{—————} & X \text{ Kg. carbón} \end{array}$$

$$X = 15,420.75 \text{ Kg. carbón/ hora.}$$

- Ingenio # 8 ( I<sub>8</sub> ) :El I<sub>8</sub> no proporcionó los datos necesarios para realizar el balance de materias.

## **2.2.5 PARTE EXPERIMENTAL (Ambiente Interno)**

### **2.2.5.1 SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE MUESTREO**

Las zonas de muestreo dentro de los ingenios azucareros se determinaron considerando la cantidad de material particulado observado en el aire, como lo fueron partículas de bagacillo y azúcar cristalizada; procediendo a colocar las bombas de flujo constante en las siguientes áreas:

- Área de alimentación de las calderas.
- Área de envasado de azúcar blanca.

### **2.2.5.2 MÉTODO DE ANÁLISIS**

Método de Análisis Gravimétrico <sup>(4)</sup>

### **2.2.5.3 FUNDAMENTO DEL MÉTODO <sup>(4)</sup>**

Se basa en la captación de partículas molestas suspendidas al hacer pasar un flujo constante de aire a través de un filtro, el cual es acondicionado antes y después de la toma de muestra en una cámara de humedad constante aproximadamente durante veinticuatro horas. Las partículas menores o iguales a  $5\mu$  quedan retenidas en los filtros y las de mayor tamaño se separan por medio de un ciclón, luego utilizando una balanza analítica de cinco decimales, por diferencia de peso se determina el incremento de peso generado por las partículas. Posteriormente haciendo uso de los datos del caudal de aire que pasó a través de los filtros y tiempo que duró la toma de muestras, se calculó la concentración de partículas en el ambiente estudiado.

#### 2.2.5.4 MATERIAL Y EQUIPO

##### Material <sup>(1)</sup>

- Filtros de membrana de PVC.
- Soporte para filtros de celulosa.
- Caset de poliestireno de dos cuerpos.

Equipo	Especificaciones
Bomba Sensidyne portátil	Constant Flow Pump. Sensidyne.BDX 530 <sup>CF</sup> 1-500-451-9441 N° 44191458
Bomba Gilian portátil	Constant Flow Pump. Gilian 3500 Sensidyne 1013258
Calibrador	Gilibrator 2.Gilian –Sensidyne. Primary Flow Calibrator P/N 800286 S/N 101442-5
Balanza Analítica	Balanza Mettler H54 N°438518 . Cinco decimales.
Desecador	Metálico con sílica como absorbente.

#### 2.2.5.5 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

1. Eliminar cargas electrostáticas de los filtros, soportes y casets colocándolos sobre una lámina de bronce con polo tierra.
2. Colocar el soporte de celulosa sobre la base inferior del caset y sobre éste el filtro de membrana, luego colocar la parte superior sobre la base y presionar.
3. Rotular los casets que contienen los filtros y colocarlos en un desecador por un tiempo de veinte y cuatro horas.

4. Pesar en balanza analítica los filtros y colocarlos de nuevo en el desecador hasta estar en el lugar de muestreo.
5. Calibrar las bombas de flujo a un caudal de 1.7 litros/minuto.
6. Colocar los filtros en las bombas y ubicar estas en las regiones de muestreo.
7. Encender las bombas y dejarlas funcionar por un tiempo de ocho horas.
8. Apagar las bombas , retirar los filtros y colocarlos en el desecador para ser trasladados al laboratorio.

#### 2.2.5.6 PROCESO DE ANÁLISIS

Una vez tomada la muestra, se pesaron los casets en balanza analítica para obtener diferencia de pesos y se procedió a realizar los cálculos. La pesada de casets se realizó en el área de balanzas de la Facultad de Química y Farmacia.

#### 2.2.5.7 CÁLCULOS

Para determinar la concentración de partículas molestas suspendidas en el aire, que son aquellas menores o iguales a 5  $\mu$ , se utilizó la siguiente fórmula:

$$C_{(mg/m^3)} = \frac{(\Delta W_{f-i}) - \frac{(\Delta W_{b1} - \Delta W_{b2})}{2}}{V (m^3)}$$

Donde:

C = Concentración de partículas en los filtros.

$\Delta W_{f-i}$  = Peso final menos el peso inicial del caset que contiene la muestra.

$\Delta W_{b1}$  = Peso final menos el peso inicial del caset del blanco.

$\Delta W_{b2}$  = Peso final menos el peso inicial del caset del blanco.

V = Volumen de aire en metros cúbicos.

Cálculo de la concentración de partículas respirables molestas suspendidas en el aire para el Ingenio 1 ( $I_1$ ): Caset rotulado como +63 (ver tabla N°7).

1° Obtención de la diferencia de peso de el filtro utilizado para retener la muestra expresado en miligramos (mg) :

Peso inicial del caset conteniendo el filtro antes del muestreo  $P_i$  (g) : 20.99200 g

Peso final del caset conteniendo el filtro después del muestreo  $P_f$  (g):20.97659 g

$$- P_f - P_i (\Delta W_{f-i}): 20.97659 \text{ g} - 20.99200 \text{ g} = -0.01541 \text{ g}$$

$$\Delta W_{f-i} = -0.01541 \text{ g.}$$

$$\begin{array}{l} 1.00000\text{g} \quad \text{—————} \quad 1000\text{mg} \\ -0.01541\text{g} \quad \text{—————} \quad X \text{ mg} \end{array}$$

$$\underline{X = -15.41 \text{ mg}}$$

2° Obtención de la diferencia de pesos de los casets utilizados como blancos.

Primer blanco con caset rotulado como +110.

- Peso inicial  $P_i$  (g) : 21.35340 g

- Peso final  $P_f$  (g) : 21.33743 g

$$P_f - P_i (\Delta W_{b1}): 21.33743 \text{ g} - 21.35340 \text{ g} = - 0.01597 \text{ g}$$

$$\Delta W_{b1} = -0.01597 \text{ g.}$$

$$\begin{array}{l} 1.00000\text{g} \quad \text{—————} \quad 1000\text{mg} \\ -0.01597\text{g} \quad \text{—————} \quad X \text{ mg} \end{array}$$

$$\underline{X = -15.97 \text{ mg.}}$$

Segundo blanco con caset rotulado como +62.

- Peso inicial  $P_i$  (g) : 21.20171 g

- Peso final  $P_f$  (g) : 21.18578 g

$P_f - P_i$  ( $\Delta W_{b2}$ ): 21.18578 g - 21.20171 g = - 0.01584 g

$\Delta W_{b2} = -0.01584$  g

1.00000g \_\_\_\_\_ 1000mg

-0.01584g \_\_\_\_\_ X mg

$X = - 15.84$  mg

3° Obtención del volumen de aire en metros cúbicos ( $m^3$ ) utilizando los datos del caudal al cual se calibró la bomba y el tiempo de muestreo expresado en minutos.

Caudal (Q) = 1.705 Litros por minuto.

1.000 L \_\_\_\_\_ 0.001  $m^3$

1.705 L \_\_\_\_\_ X  $m^3$

$X = 0.001705$   $m^3$  / minuto.

El tiempo de muestro fue de 350 minutos.

0.001705  $m^3$  \_\_\_\_\_ 1.0 minuto

X  $m^3$  \_\_\_\_\_ 350 minutos

$X = 0.59675$   $m^3$

4° Sustituyendo en la fórmula

$$C \text{ (mg/ m}^3\text{)} = \frac{-15.41\text{mg} - \frac{(15.84 \text{ mg} - 15.97 \text{ mg})}{2}}{0.5967 \text{ m}^3}$$

$$C \text{ (mg/ m}^3\text{)} = \frac{-15.41 \text{ mg} - (-15.905) \text{ mg}}{0.5967 \text{ m}^3}$$

$$C \text{ (mg/ m}^3\text{)} = \frac{0.5000 \text{ mg}}{0.5967 \text{ m}^3}$$

$$C \text{ (mg/ m}^3\text{)} = 0.8379 \text{ mg/ m}^3 = 0.84 \text{ mg/ m}^3 \text{ (ver cuadro N}^\circ\text{9)}$$

Para el Ingenio 1 ( I<sub>1</sub> ), el caset rotulado como +63, colocado en el área de alimentación de calderas por un período de tiempo de 350 minutos, fue captada la cantidad de 0.84 mg/m<sup>3</sup> de partículas respirables molestas . Este resultado ha sido comparado con el límite máximo permisible de partículas molestas según la Asociación Americana de Higiene Industrial, el cual es de 10mg/m<sup>3</sup>. (10)

Un procedimiento similar al del Ingenio 1 ( I<sub>1</sub> ), se realizó para cada uno de los ingenios y sus respectivas muestras.

**CAPITULO III**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**  
**DE RESULTADOS**

### 3.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 POSICIÓN GEOGRÁFICA DE LOS INGENIOS AZUCAREROS DE EL SALVADOR



Figura N°4. Posición Geográfica de los Ingenios Azucareros de El Salvador.

□ **Compañía Azucarera Salvadoreña S.A. de C. V.:**  
Km. 62.5 carretera a Sonsonate

▪ **Industrias Agrícolas San Francisco S.A. de C. V.:**  
Km. 33.5 Aguilares

\* **Ingenio Chanmico S.A.:**  
Km. 28 carretera a Quezaltepeque

♣ **Ingenio El Angel S.A. de C.V.:**  
Km. 14.5 carretera a Quezaltepeque

■ **Ingenio La Cabaña S.A. de C. V.:**  
Km. 39.5 carretera Troncal del Norte

⌘ **Ingenio La Magdalena S.A.:**  
Cantón El Coco Km. 8.5, carretera a Ahuachapán

◆ **Ingenio Jiboa S.A.:**  
Km. 66.5 carretera de San Vicente a Zacatecoluca

♠ **Ingenio Chaparrastique S.A.:**  
Km. 144.5 carretera al Cuco, San Miguel

**3.2 DATOS OBTENIDOS DEL CUESTIONARIO DE CONTROL DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS (ver anexo #1)  
DE LOS INGENIOS VISITADOS.**

**Cuadro N° 1. Identificación de las Fuentes Emisoras**

<i>Ingenio</i>	<i>No. de fuente</i>	<i>Tipo de fuente</i>	<i>Caudal</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Año</i>
I <sub>1</sub>	2	Acuotubulares	109,327.24 lb/h c/u	Clarck Chapman	Parrilla Basculante	1975
I <sub>2</sub>	3	Acuotubulares de 2 Domos	920 Nm <sup>3</sup> / min	NRD	1. NRD	1972
			1,592 Nm <sup>3</sup> / min	Dedini	2. Tipo V.2/5 1800	1974
			1,718 Nm <sup>3</sup> / min	Dedini	3. Tipo V.2/5 1800.	1977
I <sub>3</sub>	3	NRD	80,000 lb/h	Babcock and Wilcock	NRD	1970
			40,000 lb/h			1960
			26,000 lb/h			1960

NRD = No reportó dato.

NEC = No entregó cuestionario

Cuadro N° 1. “continuación”

I <sub>4</sub>	3	Acuotubulares	80,000 lb/h	Buckau Wolf	NRD	1975 1963 1970
I <sub>5</sub>	5	Acuotubulares	100,000 lb/h 65,000 lb/h 65,000 lb/h 45,000 lb/h 120,000 lb/h	Babcock Wilcox Heine No. 1 Heine No.2 Combustion Engeneering Combustion Engeneering	NRD	1954 1948 1948 1964 1955
I <sub>6</sub>	N E C					
I <sub>7</sub>	2	NRD	125,000 lb/h 60,000 lb/h	Combustion Engeneering. Babcob & Wilcox	NRD	NRD
I <sub>8</sub>	N E C					

NRD = No reportó dato.

NEC = No entregó cuestionario.

De los seis ingenios que proporcionaron la información contenida en el Cuestionario de Control de Emisiones de Fuentes Fijas, se observa que poseen como mínimo dos calderas de tipo acuotubular y un máximo de cinco en uno de ellos. El caudal de la fuente en la mayoría de ingenios lo reporta en unidades de masa sobre tiempo (lb/h), excepto el I<sub>2</sub> que lo reporta en unidades de volumen sobre tiempo (m<sup>3</sup>/min) a condiciones normales de presión y temperatura (N); no pudiendo convertirse en unidades de masa, debido a que se desconoce la composición y la densidad de los componentes en la masa del gas.

En cuanto a los años de fabricación de las fuentes, oscilan entre 1948 las más antiguas y 1977 la más reciente.

Cuadro N° 2. Características del Proceso de Producción

<i>Ingenio</i>	<i>Tipo de Materia prima</i>	<i>Cantidad de material usado ( Ton/h)</i>	<i>Productos del proceso</i>	<i>Residuos</i>
I <sub>1</sub>	Caña de azúcar	200.00	Azúcar blanca, Azúcar cruda y Melaza.	Bagazo y Cachaza
I <sub>2</sub>	Caña de azúcar	311.92	Azúcar y Melaza	Bagazo y Cachaza
I <sub>3</sub>	Caña de azúcar	134.02	Azúcar y Melaza	Cachaza
I <sub>4</sub>	Caña de azúcar	150.00	Azúcar y Melaza	Bagazo y Cachaza
I <sub>5</sub>	Caña de azúcar	227.00	Azúcar y Melaza	Cachaza
I <sub>6</sub>	N E C			
I <sub>7</sub>	Caña de azúcar	79.98	Azúcar y Melaza	Gases de Combustión y Cenizas.
I <sub>8</sub>	N E C			

NEC = No entregó cuestionario.

La totalidad de ingenios azucareros utiliza como materia prima la caña de azúcar en cantidades que oscilan entre 79.98 y 311.92 ton/h, obteniendo productos como azúcar blanca, azúcar cruda y melaza. La mayoría de ellos obtiene como residuos bagazo y cachaza y solamente el I<sub>7</sub> emite gases de combustión y deja cenizas.

Cuadro N°3. Condiciones de la Fuente Emisora.

<i>Ingenio</i>	<i>Capacidad de Producción de la Fuente.</i>	<i>Tipo de combustible utilizado</i>	<i>Consumo horario (Kg /h)</i>	<i>Procedencia del Combustible</i>	<i>Utilización de Aditivos</i>
I <sub>1</sub>	49.59 ton/h	Bagazo de caña	36.71	Residuos del proceso de molienda	No.
I <sub>2</sub>	200.00 ton/h	Bagazo de caña	83,000	Residuos del proceso de molienda	
I <sub>3</sub>	NRD	Bagazo de caña	NRD	Residuos del proceso de molienda	No
I <sub>4</sub>	18.00 ton/h 18.00 ton/h 40.00 ton/h	Bagazo de caña	27,783	Residuos del proceso de molienda	No
I <sub>5</sub>	63.64 ton/h	Bagazo de caña	85,000	Residuos del proceso de molienda	No
I <sub>6</sub>	N E C				
I <sub>7</sub>	NRD	Bagazo de caña	NRD	Residuos del proceso de molienda	No
I <sub>8</sub>	N E C				

NRD = No reportó dato.

NEC = No entregó cuestionario.

La capacidad de producción de la fuente fue reportada en unidades de masa sobre tiempo (ton/h). Todos los ingenios utilizan como combustible el bagazo de caña, obtenido del proceso de molienda y no hacen uso de ningún aditivo para generar la combustión.

Tabla N°1. Características del Proceso de Combustión.

<i>Ingenio</i>	<i>Presión Máxima de Trabajo (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Exceso de Aire requerido (%)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
I <sub>1</sub>	21.00	21	350.00
I <sub>2</sub>	22.15	35	220.00 175.00 130.00
I <sub>3</sub>	16.33	50	982.22
I <sub>4</sub>	20.00	120 120 130	300.00
I <sub>5</sub>	20.70	NRD	212.22 212.22 212.22 212.22 350.28
I <sub>6</sub>	N E C		
I <sub>7</sub>	18.30	50	325.00
I <sub>8</sub>	N E C		

NRD = No reportó dato.

NEC = No entregó cuestionario.

Los ingenios utilizan diferentes presiones máximas de trabajo, siendo la mínima de 16.33 kg/cm<sup>2</sup> para el I<sub>3</sub> y la máxima que reporta 22.15 kg/cm<sup>2</sup> para el I<sub>2</sub>; un exceso de aire requerido expresado en porcentaje, el I<sub>4</sub> reporta este dato para cada una de sus fuentes. La temperatura de combustión está expresada en grados celsius así el I<sub>2</sub> como el I<sub>5</sub> lo reportan para cada una de sus fuentes.

Tabla N°2. Características de la Descarga de Emisiones.

<i>Ingenio</i>	<i>No. de Ductos de descarga</i>	<i>Diámetro Interno (m)</i>	<i>Diámetro Externo (m)</i>	<i>Distancia del suelo a la descarga (m)</i>	<i>Altura del Ducto (m)</i>	<i>Tipo de descarga</i>
I <sub>1</sub>	2	2.00	2.20	Igual a la altura del ducto.	30.00	Tiro inducido Tiro forzado
I <sub>2</sub>	3	2.00 2.50 2.50	Igual al diámetro interno.	18.00 25.00 24.00	18.00 25.00 24.00	Tiro inducido
I <sub>3</sub>	4 ( En condiciones normales solo operan tres)	1.50 1.30 1.30	NRD	25.00 25.00 25.00	25.00 25.00 25.00	Tiro inducido Tiro forzado
I <sub>4</sub>	3	1.50 1.50 1.75	Despreciable	3.00 3.00 3.00	21.00 21.00 25.00	Tiro inducido Tiro inducido Tiro inducido
I <sub>5</sub>	5	2.003	2.13	18.29 18.29 18.29 22.86	NRD	Tiro inducido
I <sub>6</sub>	N E C					
I <sub>7</sub>	2	2.74 1.60 x 1.60	2.77 1.63 x 1.63	7.10 3.50	19.00 15.00	Tiro inducido Tiro forzado
I <sub>8</sub>	N E C					

NRD = No reportó dato.

NEC = No entregó cuestionario.

Con respecto a las características de descarga de emisiones, se reporta el número de ductos de descarga así como su diámetro interno, diámetro externo, distancia del suelo a la descarga y también su altura, expresado en unidades de longitud (m); además indica que todos los ingenios utilizan un tipo de descarga de tiro inducido y tres de ellos (  $I_1$ ,  $I_3$ ,  $I_7$  ) además de tiro inducido utilizan también tiro forzado.

Tabla N° 3. Equipos de Control en la Fuente

<i>Ingenio</i>	<i>Tipos de equipos de control</i>	<i>Eficiencia</i>		<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Residuos del Equipo</i>		
		<i>%</i>	<i>Caudal del gas depurado</i>			<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Disposición Final</i>
I <sub>1</sub>	NRD	68	N R D					
I <sub>2</sub>	1. Scrubber y ceniceros	85	85,000 pie <sup>3</sup> /min	HPB	—	Ceniza	1,125 kg/h	Compostaje con Cachaza
	2. Scrubber y ceniceros	85	100,000 pie <sup>3</sup> /min	HPB	—	y Arena	1,500 Kg/h	
	3. Scrubber y ceniceros	85	130,000 pie <sup>3</sup> /min	HPB	—		1,800 Kg/h	
I <sub>3</sub>	1.Reinyector 2.Secador ciclónico 3.Secador ciclónico	NRD						
I <sub>4</sub>	N P E							
I <sub>5</sub>	N P E							
I <sub>6</sub>	N E C							
I <sub>7</sub>	N P E							
I <sub>8</sub>	N E C							

NRD = No reportó dato.

NEC = No entregó cuestionario.

NPE = No posee equipo.

Tres ingenios poseen equipo de control (  $I_1$  ,  $I_2$ ,  $I_3$  ) . Para el ingenio  $I_1$  la eficiencia es de 68% debido a que este equipo fue elaborado por el personal técnico del ingenio y no posee especificaciones de su eficiencia sino que fue calculada en forma práctica y no está estandarizada. El  $I_2$  posee en cada una de sus fuentes emisoras scrubber y ceniceros con una eficiencia de 85% reportando el caudal de gas depurado en unidades de volumen sobre tiempo (  $\text{pie}^3 / \text{min}$  ) y además reporta los residuos del equipo que son ceniza y arena, así como su cantidad y disposición final.

**Cuadro N° 4. Monitoreo de Emisiones Atmosféricas**

<b>Ingenio</b>	<b>Tipos de Contaminantes</b>	<b>Laboratorio Analizador</b>	<b>Metodología Empleada.</b>
I <sub>1</sub>	N R M		
I <sub>2</sub>	CO,NO <sub>x</sub> ,CO <sub>2</sub> y particulado continuo en una caldera	Propio	Analizador de gases de combustión Bacharach, Medidor en línea de partículas modelo DT270.
I <sub>3</sub>	N R M		
I <sub>4</sub>	CO,NO <sub>x</sub> ,SO <sub>x</sub> ,CO <sub>2</sub>	SETISA	Medición de gases de combustión, con quipo analizador. marca: IMR, tipo: portátil, serie:B3604A40 fabricado: USA
I <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , material particulado, NO <sub>x</sub>	Tecnología del Ambiente	Método SEPA Muestreo Isocinético, Equipo Anderson CO-3
I <sub>6</sub>	N E C		
I <sub>7</sub>	T°,CO,CO <sub>2</sub> ,NO <sub>x</sub> ,opacidad humedad, flujo de gases, exceso aire, SO <sub>2</sub> ,O <sub>2</sub> ,hollín, material particulado	SETISA	Analizador de gases de Combustión IMR-1400PS Puerto de muestreo en chimeneas.
I <sub>8</sub>	N E C		

NEC = No entregó cuestionario.

NRM = No realiza monitoreo.

Solamente cuatro ingenios realizan monitoreo de emisiones ( I<sub>2</sub>, I<sub>4</sub> , I<sub>5</sub> ,I<sub>7</sub>) los tipos de contaminantes que analizan en común son óxidos de carbono y nitrógeno, dos de ellos ( I<sub>4</sub> , I<sub>7</sub> )analizan óxidos de azufre,tres ingenios ( I<sub>2</sub> ,I<sub>5</sub> ,I<sub>7</sub> ) monitorean también material particulado y solamente un ingenio ( I<sub>7</sub> ) monitorea opacidad, humedad, flujo de gases exceso de aire y hollín. Por otra parte I<sub>5</sub> e I<sub>7</sub> analizan oxígeno.

Solo el I<sub>2</sub> posee su propio laboratorio analizador, los tres restantes (I<sub>4</sub> , I<sub>5</sub> , I<sub>7</sub> ) realizan su monitoreo en laboratorios particulares pero poseen la misma metodología que es análisis de gases utilizando diferentes equipos.

**Cuadro N°5. Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas**

Sector Industrial Azucarero	Tipo y número de fuentes	Tipos de contaminantes	Combustible		Materias Primas		
			Tipo	Consumo (ton/h)	Tipo	Consumo (ton/h)	Tipo de proceso
I <sub>1</sub>	Dos Calderas acuatubulares	Bagazo y cachaza	Bagazo de caña	36.71	Caña de azúcar	200.00	Producción de azúcar
I <sub>2</sub>	Tres Calderas acuatubulares de Dos Domos	Bagazo y cachaza	Bagazo de caña	91.49	Caña de azúcar	312.00	Producción de azúcar
I <sub>3</sub>	Tres calderas	Cachaza	Bagazo de caña	NRD	Caña de azúcar	134.02	Producción de azúcar
I <sub>4</sub>	Tres Calderas acuatubulares	Bagazo y cachaza	Bagazo de caña	30.00	Caña de azúcar	150.00	Producción de azúcar
I <sub>5</sub>	Cinco Calderas acuatubulares	Cachaza	Bagazo de caña	93.69	Caña de azúcar	227.00	Producción de azúcar
I <sub>6</sub>	NEC						
I <sub>7</sub>	Dos Calderas	39.99	Bagazo de caña	NRD	Caña de azúcar	NRD	Producción de azúcar
I <sub>8</sub>	NEC						

NEC= No entregó cuestionario.

NRD= No reportó dato.

Cuadro N°5. "continuación"

Sector Industrial	Equipos de Control				Características de la Descarga	
	Tipo	Localización	Caudal Gases Depurado (m <sup>3</sup> / h)	Eficiencia (%)	Altura (m)	Diámetro (m)
Azucarero						
I <sub>1</sub>	NPE			68.00	30.00 30.00	2.00 2.00
I <sub>2</sub>	Scrubber y ceniceros	Chimeneas	144,415.92 169,901.08 220,871.40	85.00 85.00 85.00	18.00 25.00 24.00	2.00 2.50 2.50
I <sub>3</sub>	Reinyector Secador ciclónico Secador ciclónico	Chimenea Chimenea Chimenea	NRD	NRD	25.00 25.00 25.00	1.50 1.30 1.30
I <sub>4</sub>	NPE				21.00 21.00 25.00	1.50 1.50 1.75

NPE= No posee equipo.

NRD= No reportó dato.

Cuadro N° 5. “continuación”

I <sub>5</sub>	N P E	N R D	2.03 2.03 2.03 2.03 2.03
I <sub>6</sub>	N E C		
I <sub>7</sub>	N P E	19.00 15.00	2.74 1.60x1.60
I <sub>8</sub>	N E C		

NPE = No posee equipo.

NEC= No entregó cuestionario.

El inventario de Emisiones de Fuentes Fijas, es un resumen de la información contenida en el Cuestionario de Control de Emisiones de Fuentes Fijas.

**Tabla N°4. Promedio de Azúcar de Caña**

<b>INGENIO</b>	<b><i>Cantidad de Azúcar producida (Kg / mes)</i></b>	<b><i>Cantidad de Azúcar producida (Kg /zafra)</i></b>
I <sub>1</sub>	12,247,200	58,174,200
I <sub>2</sub>	22,680,000	90,720,000
I <sub>3</sub>	13,063,680	62,052,480
I <sub>4</sub>	49,641,984	273,030,912
I <sub>5</sub>	11,071,987	49,823,941.6
I <sub>6</sub>	N E C	
I <sub>7</sub>	N R D	
I <sub>8</sub>	N E C	

NEC= No entregó cuestionario.

NRD = No reportó dato.

El promedio de azúcar de caña reportado en kg/mes y kg/zafra, es un dato obtenido de las zafra anteriores al año dos mil dos-dos mil tres ya que al momento de ser contestado el cuestionario la zafra en los ingenios visitados aún no había finalizado.

**Tabla N° 5. Registro del Consumo de Bagazo utilizado como combustible**

<b>Ingenio</b>	<b>Bagazo que entra a la caldera (Kg/ h)</b>
I <sub>1</sub>	33303.312
I <sub>2</sub>	76706.000
I <sub>3</sub>	NRD
I <sub>4</sub>	33897.906
I <sub>5</sub>	85000.000
I <sub>6</sub>	NEC
I <sub>7</sub>	36250.000
I <sub>8</sub>	NEC

NRD = No reportó dato.

NEC = No entregó cuestionario.

Los ingenios reportaron en el cuestionario la cantidad de bagazo que utilizan como combustible, expresado en unidades de masa sobre tiempo (Kg/h), dato utilizado para la elaboración del balance de materia en la cuantificación de materia sólida emitida.

### 3.3 DATOS OBTENIDOS EN LA ELABORACIÓN DEL BALANCE DE MATERIA. (ver 2.2.4.1)

**Tabla N°6. Cuantificación de materia sólida.**

INGENIO	MATERIA SÓLIDA EMITIDA ( Kg de carbón/h )
I <sub>1</sub>	4,533.51
I <sub>2</sub>	4,894.61
I <sub>3</sub>	NRD
I <sub>4</sub>	14,420.169
I <sub>5</sub>	36,159.00
I <sub>6</sub>	N E C
I <sub>7</sub>	15,420.75
I <sub>8</sub>	N E C

NRD= No reportó dato necesario para realizar el balance de materia.

NEC= No entregó cuestionario.

Puede observarse que la cantidad de materia sólida emitida a la atmósfera (carbón), es menor para los ingenios I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>, debido a que ellos poseen equipo de control en sus chimeneas. El I<sub>1</sub> con una eficiencia de un 68% por lo tanto solo un 32% de carbón es emitido a la atmósfera y el I<sub>2</sub> con una eficiencia de 85% por lo que solo un 15% de carbón es emitido a la atmósfera. Cabe mencionar que el porcentaje de eficiencia del I<sub>1</sub> es relativamente bajo debido a que su equipo no es estandarizado sino que fue elaborado por el personal técnico del ingenio.

**3.4 DATOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN DE PARTÍCULAS RESPIRABLES  
PRESENTES EN PUNTOS CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN DENTRO DE LAS  
INSTALACIONES DE LOS INGENIOS.**

**Tabla N°7. Resultados de pesos de casets utilizados para muestra y blancos,  
caudal al cual se realizó la medición y tiempo de muestreo**

<i>Ingenio</i>	<b>Identificación de casets</b>	<b>Peso inicial de caset (Pi) antes del muestreo (g)</b>	<b>Peso final de caset (Pf) después del muestreo (g)</b>	<b>Diferencia de pesos <math>\Delta W</math> (Pf-Pi) (g)</b>	<b>Caudal (L/ min.)</b>	<b>Tiempo de muestreo (minutos)</b>
I <sub>1</sub>	+63	20.99200	20.97659	-0.01541	1.705	350
	+61	21.00978	20.99752	-0.01226	1.701	350
	+110 <sub>(Blanco)</sub>	21.35340	21.33743	-0.01597	-----	-----
	+62 <sub>(Blanco)</sub>	21.20171	21.18578	-0.01584	-----	-----
I <sub>2</sub>	+60	21.25615	21.25791	0.00356	1.692	372
	+100	21.33965	21.34627	0.00662	1.708	372
	1 <sub>(Blanco)</sub>	20.91757	20.91649	-0.00108	-----	-----
	+89 <sub>(Blanco)</sub>	20.99190	20.99072	-0.00118	-----	-----
I <sub>3</sub>	+103	21.07643	21.08015	0.00372	1.702	285
	+90	21.16218	21.16569	0.00351	1.703	285
	1 <sub>(Blanco)</sub>	20.91757	20.91649	-0.00108	-----	-----
	+89 <sub>(Blanco)</sub>	20.99190	20.99072	-0.00118	-----	-----
I <sub>4</sub>	+97	21.25382	21.23975	-0.01407	1.706	365
	+89	21.00055	20.98822	-0.01233	1.696	365
	+110 <sub>(Blanco)</sub>	21.35340	21.33743	-0.01597	-----	-----
	+62 <sub>(Blanco)</sub>	21.20171	21.18578	-0.01584	-----	-----
I <sub>5</sub>	+64	21.18728	21.19160	0.00432	1.698	360
	+53	21.11015	21.11340	0.00325	1.698	360
	+60 <sub>(Blanco)</sub>	21.25482	21.25576	0.00094	-----	-----
	+52 <sub>(Blanco)</sub>	21.10478	21.10505	0.00027	-----	-----

**Tabla N°7. “continuación”**

I <sub>6</sub>	1	20.91520	20.91624	0.00104	1.710	334
	+54	21.06772	21.07339	0.00567	7.721	334
	+62 <sub>(Blanco)</sub>	21.18928	21.18750	-0.00178	-----	-----
	+103 <sub>(Blanco)</sub>	21.07701	21.07554	-0.00147	-----	-----
I <sub>7</sub>	+52	21.10662	21.10802	0.00140	1.714	300
	+96	21.13320	21.14216	0.00896	1.699	300
	1 <sub>(Blanco)</sub>	20.91757	20.91649	-0.00108	-----	-----
	+89 <sub>(Blanco)</sub>	20.99190	20.99072	-0.00118	-----	-----
I <sub>8</sub>	+65	21.00839	21.01177	0.00338	1.709	350
	+62	21.18915	21.19153	0.00238	1.701	350
	+110 <sub>(Blanco)</sub>	21.34123	21.33965	-0.00158	-----	-----
	+90 <sub>(Blanco)</sub>	21.16354	21.16218	-0.00136	-----	-----

Para cada uno de los ingenios se utilizaron cuatro casets, dos para muestras y dos para los blancos . La tabla indica la identificación de cada uno de los casets que fueron diferentes para cada ingenio y para cada medición, muestra los pesos iniciales (antes de la medición) y pesos finales (después de la medición) tanto de los casets utilizados para la toma de muestra como para sus respectivos blancos ya que con ello se obtuvo la diferencia de pesos para realizar los cálculos. Se indica además el caudal al cual fue calibrada cada una de las bombas, minutos antes de realizada la medición tratando de calibrarlas a 1.7 L/min que es el volumen de aire promedio que se inhala en cada aspiración y por último el tiempo de muestreo expresado en minutos.

**Tabla N°8. Ubicación de los casets en las zonas de muestreo.**

Ingenio	No. caset	Lugar de muestreo
I <sub>1</sub>	+63	Alimentación de calderas
	+61	Envasado de azúcar
I <sub>2</sub>	+60	Alimentación de calderas
	+110	Envasado de azúcar
I <sub>3</sub>	+103	Alimentación de calderas
	+90	Alimentación de calderas
I <sub>4</sub>	+97	Alimentación de calderas
	+89	Envasado de azúcar
I <sub>5</sub>	+64	Alimentación de calderas
	+53	Envasado de azúcar
I <sub>6</sub>	1	Alimentación de calderas
	+54	Envasado de azúcar
I <sub>7</sub>	+52	Alimentación de calderas
	+96	Alimentación de calderas
I <sub>8</sub>	+65	Alimentación de calderas
	+62	Alimentación de calderas

Para cada ingenio se realizaron dos mediciones, una en el área de alimentación de calderas y otra en el área de envasado de azúcar , excepto I<sub>3</sub> , I<sub>7</sub> e I<sub>8</sub> ya que las fechas en que se realizó el muestreo ya habían finalizado su período de envasado por ello sus dos mediciones se realizaron solo en el área de alimentación de calderas, pero en diferentes puntos críticos.

**Tabla N°9. Cantidad de material particulado respirable suspendido en el aire.**

Ingenio	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>
<b>Alimentación de Calderas ( mg/ m<sup>3</sup> )</b>	0.84	7.45	9.99 9.53	2.95	6.07	4.67	4.92 19.79	6.47 8.11
<b>Normativa 10 mg/ m<sup>3</sup></b>	Dentro del Límite	Dentro del Límite Fuera del Límite	Dentro del Límite					
<b>Envasado de Azúcar ( mg/ m<sup>3</sup> )</b>	6.13	11.78	-----	5.78	4.33	7.23	-----	-----
<b>Normativa 10 mg/ m<sup>3</sup></b>	Dentro del Límite	Fuera del Límite	-----	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Dentro del Límite	-----	-----

La mayoría de los ingenios no sobrepasa el límite permisible para partículas molestas respirables que es de 10 mg/m<sup>3</sup> según la Asociación Americana de Higiene Industrial (10), excepto el I<sub>2</sub> en el área de envasado de azúcar cuya cantidad fue de 11.78 mg/m<sup>3</sup> y el I<sub>7</sub> en un punto crítico de medición en el área de alimentación de calderas que fue de 19.79 mg/m<sup>3</sup>.

### 3.5 DATOS OBTENIDOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE INGENIOS QUE APLICAN PARÁMETROS PARA OBTENER UNA PRODUCCIÓN LIMPIA.

**Tabla N°10. Parámetros necesarios para aplicar una producción limpia.**

Parámetro	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>
Instalación de nueva tecnología	-	-	-	+	-	+	-	-
Mantenimiento de equipo	+	+	+	+	+	+	+	+
Secado previo de bagazo	-	-	-	-	-	-	-	-
Bagacillo suspendido dentro de las instalaciones	+	+	+	+	+	+	+	+
Combustión completa	-	-	-	-	-	-	-	-
Presencia de equipo de control en chimeneas	+	+	+	-	-	DD	-	DD
Monitoreo periódico de emisiones	-	+	-	+	+	DD	+	DD
Reciclaje y/o reúso de desechos	+	+	+	+	+	+	+	+

- = no aplica      + = si aplica      DD = dato desconocido

La mayoría de ingenios azucareros ponen en práctica algunos de los parámetros que implican la obtención de una producción limpia, sin embargo se denota que hasta el momento ninguno de ellos ha logrado completarlos.

CAPITULO IV  
CONCLUSIONES

#### 4.0 CONCLUSIONES

1. El sector azucarero, a pesar de tener un alto valor económico y nutricional, es una fuente de contaminación atmosférica.
2. El total de ingenios azucareros utiliza calderas industriales de tipo acuotubular, que son aquellas en las que el agua que va a evaporarse, es la que circula dentro de las tuberías mientras que los gases de combustión circulan en la parte externa, presentando la ventaja de que son capaces de quemar cualquier tipo de material combustible en un amplio rango de capacidades.
3. La industria azucarera se caracteriza por ser un sector que reutiliza los residuos generados en sus procesos de producción, ya que el bagazo de caña es utilizado como combustible; y la cachaza se emplea como fertilizante de suelos denominado compostaje o bio abono.
4. Se concluye que el alcance de contaminantes que produce una fuente fija como es la columna de humo lanzada al ambiente por las chimeneas, denominada pluma, puede ser determinada utilizando los datos obtenidos en la Tabla de Características de Descarga de Emisiones.(ver tabla N°2)

5. La mayoría de ingenios azucareros no poseen equipos de control en las chimeneas y los que los poseen utilizan los equipos llamados Scrubber ,que son colectores húmedos que utilizan un líquido, generalmente el agua, para capturar y aumentar el tamaño de las partículas; otros utilizan secador ciclónico que son dispositivos purificadores del aire que emplean una fuerza centrífuga haciendo girar una corriente de aire con el fin de separar las partículas suspendidas en este.

6. Los ingenios emiten contaminantes primarios como son humo, material particulado, dióxido de azufre, nitrógeno y monóxido de carbono; por lo tanto según los datos obtenidos en el Cuestionario de Control de Fuentes Fijas, se puede afirmar que los ingenios que si realizan monitoreo de emisiones determinan mas de uno de estos contaminantes utilizando para ello diversas metodologías de análisis.

7. El inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas, es un resumen de los datos obtenidos en el cuestionario de control de fuentes fijas, útil para conocer detalles como sector industrial, tipos de emisiones , tecnología empleada, materias primas, combustibles, equipos de control y características de descarga.

8. La cantidad de azúcar producida en un mes es relativamente proporcional a la producida en toda la zafra, en cada uno de los ingenios azucareros.

9. La cantidad de materia sólida emitida a la atmósfera que se obtuvo en forma teórica en los cálculos que plantea el balance de materia, es un dato aproximado, debido a que

se desconoce el porcentaje de material particulado retenido en los equipos de control que poseen las fuentes emisoras .

10. Con respecto a las mediciones de material particulado respirable molesto, dentro de los ingenios azucareros, que fueron partículas de bagacillo menores o iguales a  $5\mu\text{m}$  , se concluye que en su mayoría se encuentran dentro del límite permisible para partículas suspendidas molestas, que es de  $10\text{mg}/\text{m}^3$  según la Asociación Americana de Higiene Industrial. (10)

11. A pesar de que los ingenios de azúcar son una fuente fija de contaminación ambiental, ninguno de ellos pone en práctica hasta el momento, la totalidad de medidas preventivas a lo largo de sus procesos para alcanzar una producción limpia.

CAPITULO V  
RECOMENDACIONES

## 5.0 RECOMENDACIONES

1. Debido a la importancia económica que representa el sector azucarero en el país, es necesario introducir prácticas de producción orientadas a minimizar la generación de residuos contribuyendo así a mejorar la calidad del aire.
2. Realizar inspecciones regulares, limpiezas, pruebas y sustitución de partes gastadas o descompuestas de las calderas y demás equipos, con el fin de garantizar el buen funcionamiento de los mismos y evitar que se genere una mayor descarga de contaminantes atmosféricos.
3. Reciclar o reutilizar los residuos generados a lo largo del proceso de producción de azúcar de caña se deben aplicar tratamientos previos a la utilización de los mismos, como por ejemplo un sistema de pre-secado en el bagazo utilizado como combustible para obtener una mayor eficiencia en su combustión y evitar el exceso de emisión de contaminantes a la atmósfera.
4. Realizar evaluaciones periódicas de Dispersión de Contaminantes con el fin de conocer el alcance de la columna de humo emitida por las chimeneas y determinar si esta puede o no afectar a las poblaciones aledañas a los ingenios y al medio ambiente.

5. Que todos los ingenios realicen monitoreo de contaminantes primarios ya que se caracterizan por causar efectos notables sobre la salud así como servir de indicadores de contaminación.

6. En el período de producción es indispensable el uso de equipos de control en las chimeneas para así disminuir la cantidad de partículas emitidas y para aquellos ingenios que no lo poseen, se recomienda la implementación de estos.

7. Elaborar periódicamente un Inventario de Emisiones para comparar las características del proceso de producción, condiciones de la fuente emisora, características de la combustión y descarga de emisiones, control en la fuente, el régimen de operación y el monitoreo de emisiones. Además puede ser útil para identificar puntos críticos donde se deban introducir nuevas tecnologías y prácticas de producción, destinadas a mejorar la eficiencia en el uso de materias primas y minimizar la generación de residuos.

8. Para obtener un dato real de la cantidad de materia sólida emitida a la atmósfera, es necesario realizar una medición de partículas a nivel de chimeneas, monitoreo que tiene un valor económico bastante elevado debido al tipo de tecnología que se emplea.

9. Que todo el personal que esta expuesto al bagazo utilice mascarillas y lentes de protección, además de realizar exámenes periódicos de vías respiratorias a los trabajadores de la planta así como a los habitantes de las zonas cercanas. Puede utilizarse un tipo de mascarillas de protección descartables modelo N95 distribuidas por

la línea de productos 3M, ya que estas no permiten el paso de partículas menores o iguales a  $5\mu\text{m}$  (8).

10. Para poder cumplir con todos los parámetros de Producción Limpia se deben aplicar una estrategia ambiental preventiva, integrada a los procesos, producción y servicios para los ingenios azucareros; las recomendadas son : instalación de nueva tecnología, eliminar la descarga de cenizas a la atmósfera, mejorar prácticas de mantenimiento y minimizar fugas y derrames.

11. Se recomienda a los entes encargados de cada ingenio elaborar lo mejor posible una organización técnica de los procesos productivos, que evitará en gran medida las emisiones contaminantes a la atmósfera. Luego de esto mantener un seguimiento en el mantenimiento y en la búsqueda de mejores alternativas de tecnologías.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Alvarez Brime, C. y otros. Métodos de Toma de Muestra de Contaminantes Químicos en Aire. Madrid. España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.104-1-A/91
2. Baker y otros. 1962. Contaminación de la Atmósfera. Serie de Monografías. Ginebra, Suiza. p. 101, 103.
3. Banco Central de Reserva de El Salvador.2002. Capítulo IV. Producto Interno Bruto por Rama de Actividad Económica. Revista Trimestral. p.70
4. Bartual Sánchez, J. y otros. 1992. Análisis de Contaminantes Químicos en Aire. Madrid. España. Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo. p.2
5. Batres Santos, G.E. y otros.1998. Estado del Ordenamiento Jurídico en la Contaminación del Aire, producida por las Fuentes Móviles y Fijas en la Ciudad de San Salvador.Trabajo de Graduación. Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales.San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador (UES). p. 85.

6. CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,ES). Norma 13.1.01:01. Emisiones Atmosféricas, Fuentes Fijas. p.2.
  
7. Contaminación Atmosférica y sus Consecuencias en Salud. Clasificación de los Contaminantes Atmosféricos. Origen. MP2.5: Partículas finas 100% respirables. Consultado 18 mayo. 2004. Disponible en:  
[http://www.sesma.cl/sitio/download/aire/contaminantes\\_atmosfericos.pdf](http://www.sesma.cl/sitio/download/aire/contaminantes_atmosfericos.pdf)
  
8. Corporación 3M. División de Salud Ocupacional y Seguridad de Medio Ambiente. 1999. Guía para Selección de Respiradores. p.26
  
9. Elementos metodológicos para la introducción de prácticas de producción más limpias. 16 marzo. 2004. Disponible en:  
[www.redpml.cu/%/elemento%20metodo%practicade%produccion](http://www.redpml.cu/%/elemento%20metodo%practicade%produccion)
  
10. Fundación MAPFRE. 1996. Manual de Higiene Industrial. 4 ed. España. Editorial MAPFRE. p. 21-23.
  
11. Meade George y Spencer . 1967. Manual del Azúcar de Caña. 9 ed. Barcelona. España. Ed. J. Wiley. Trad. Montaner y Simón S.A. p.9,13,43-49.

12. Ministerio de Trabajo y Previsión Social, ES. Manual de Organización y Funcionamiento de los Comités de Seguridad. Departamento de Seguridad e Higiene Ocupacional. Sección de Prevención de Riesgos Ocupacionales.  
p.12
  
13. Monterrosa Ríos, M.C. 1993. Análisis y Evaluación de la Actitud de Rechazo o Aceptación de los Alumnos hacia la asignatura de la Matemática en el Nivel Básico de Zacamil. Trabajo de Graduación. Licenciatura en Educación, Especialidad Matemática. San Salvador. El Salvador. Universidad Pedagógica de El Salvador UPES. 32p.
  
14. MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, ES). Manual de Control de Emisiones Atmosféricas Producidas por Fuentes Fijas. OPS (Organización Panamericana de la Salud, IT). OMS (Organización Mundial de la Salud, IT). Dirección de Atención al Medio Ambiente.  
p.1-3,5-9.

## **GLOSARIO**

## GLOSARIO

1. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: Cualquier sustancia extraña a la constitución normal del aire, sean partículas, gases o formas de energía.<sup>(6)</sup>
2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: Es una alteración de la composición normal del aire provocada por la presencia en la atmósfera de una o más sustancias que han sido incorporadas directa o indirectamente por el hombre o por fuentes naturales en cantidades suficientes características y duración; tal que puedan afectar adversamente a la flora y fauna, a los materiales y al hombre mismo.<sup>(6)</sup>
3. EMISIONES ATMOSFÉRICAS: Liberaciones o descargas a la atmósfera de partículas, gases o formas de energía; provenientes de una fuente fija o móvil.<sup>(6)</sup>
4. FUENTES FIJAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA : Son edificaciones, estructuras o instalaciones establecidas permanentemente en un solo lugar, las cuales emiten o pueden emitir cualquier contaminante.<sup>(6)</sup>
5. HIGIENE OCUPACIONAL : Es la ciencia que tiene por objeto, reconocer, evaluar y controlar los contaminantes presentes en los centros de trabajo y que pueden ser factores de riesgos, causantes de enfermedades profesionales, y en consecuencia incomodar al trabajador, y a los ciudadanos en general. <sup>(12)</sup>
6. LIMITE DE EMISIÓN DE UN CONTAMINANTE ATMOSFÉRICO: Es la concentración máxima de emisión permisible de un contaminante atmosférico proveniente de una fuente fija, establecido para proteger la salud y el medio ambiente.<sup>(6)</sup>

7. MONITOREO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS: Es el seguimiento sistemático que se realiza a partir del muestreo en los puntos de origen de las emisiones que se efectúa mediante mediciones continuas o discontinuas.<sup>(6)</sup>

8. MUESTREO: Es el proceso de selección y toma de muestras representativas sobre emisiones atmosféricas. <sup>(6)</sup>

9. NORMAS DE EMISIÓN: Es la que establece la cantidad máxima de un contaminante que una fuente específica puede liberar, descargar o emitir a la atmósfera. Las fuentes pueden ser fijas ( fuentes industriales o domésticas ) o móviles ( transporte ). <sup>(6)</sup>

10. PM<sub>5</sub> : Son partículas en suspensión con diámetros promedios menores o iguales a 5 micrómetros.<sup>(6)</sup>

11. SEGURIDAD OCUPACIONAL : Es el conjunto de medidas técnicas , cuyo propósito principal es prevenir, y/o minimizar los accidentes de trabajo, causantes de lesiones personales, o daños materiales.<sup>(12)</sup>

**ANEXO #1**

**CUESTIONARIO DE CONTROL**

**DE FUENTES FIJAS**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

**CUESTIONARIO DE CONTROL DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS**

DIRIGIDO A: INGENIOS AZUCAREROS. PERSONAL ENCARGADO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN.

**1.0 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA:**

1.1. Nombre de la Empresa:

\_\_\_\_\_

1.2. Nombre del Propietario o Representante:

\_\_\_\_\_

1.3. Cargo en la Empresa:

\_\_\_\_\_

1.4. Tipo de Empresa:

\_\_\_\_\_

1.5 Dirección \_\_\_\_\_, Municipio \_\_\_\_\_,

Departamento \_\_\_\_\_

1.6 Teléfono \_\_\_\_\_

1.7 Fax \_\_\_\_\_

1.8 ¿ Tiene permiso de funcionamiento ? SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

1.9 Superficie ocupada en (mt) \_\_\_\_\_

## 2.0 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS

2.1. Nombre del Técnico Encargado de la (s) Fuente emisora (s) :

\_\_\_\_\_

2.2 Fuentes emisoras de la empresa:

2.3 N <sub>o</sub> . DE FUENTES	2.4 TIPO DE FUENTE	2.5 CAUDAL	2.6 MARCA	2.7 MODELO	2.8 AÑO

## 3.0 CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ASOCIADO DIRECTAMENTE A LA FUENTE

3.1. Tipo de materias primas:

\_\_\_\_\_

3.2. Cantidad de material utilizado/hora:

\_\_\_\_\_

3.3. Productos del proceso de producción:

\_\_\_\_\_

3.4. Residuos producidos en el proceso de producción:

\_\_\_\_\_

3.5 Tipo de proceso:

\_\_\_\_\_

#### 4.0 CONDICIONES DE LA FUENTE EMISORA

4.1 Capacidad de producción de la fuente \_\_\_\_\_

4.2 Características del combustible

4.2.1 Tipo de combustible utilizado \_\_\_\_\_

Contenido de azufre ( % ) \_\_\_\_\_

4.2.2 Consumo horario ( Kg/h) \_\_\_\_\_

4.2.3 Procedencia del combustible \_\_\_\_\_

4.2.4 Utilizan aditivos para el combustible

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

4.2.4.1 Dosificación ( Lt / Lt combustible ) \_\_\_\_\_

4.2.4.2 Procedencia de los aditivos \_\_\_\_\_

4.2.5 Indicar si la fuente puede trabajar con otro tipo de combustible:

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

4.2.5.1 ¿ Cuáles son esos combustibles alternativos ?

4.2.5.2 ¿Cuál es el tiempo en que se realiza el cambio (hr).

\_\_\_\_\_

#### 5.0 CARACTERÍSTICAS DE LA COMBUSTIÓN EN CONDICIONES MÁXIMAS DE PRODUCCIÓN

5.1 Presión máxima de trabajo (kg/cm<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_

5.2 Exceso de aire requerido según diseño (%) \_\_\_\_\_

5.3 Temperatura °C \_\_\_\_\_



## 8.0 RÉGIMEN DE OPERACIÓN

Capacidad de producción de la fuente \_\_\_\_\_

Capacidad de producción instalada ( kg/h) \_\_\_\_\_

Capacidad de producción utilizada ( kg/h) \_\_\_\_\_

### MESES EN QUE LA FUENTE SE ENCUENTRA EN OPERACIÓN

Mes	Ener	Feb	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Día/ Mes												
Horas/ Día												
Produc ( hr)												

La fuente puede detenerse SI _____ NO _____ a	Tiempo necesario para proceder a Detención (hrs)
En caso negativo explicar por qué no puede detenerse	
Fecha última mantención	Período entre mantenciones

## 9.0 CONTROL DE EMISIONES

Realiza monitoreo de emisión atmosférica SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

Tipos de contaminantes que monitorea

\_\_\_\_\_

Metodología empleada \_\_\_\_\_

Laboratorio encargado \_\_\_\_\_

## ANEXO # 2



**Figura N°5. Fotografía de las instalaciones exteriores de un Ingenio Azucarero.**

## ANEXO #3



**Figura N°6. Fotografía de la vista exterior de las chimeneas de un Ingenio Azucarero.**

## ANEXO # 4



**Figura N°7. Fotografía de una columna de emisión proveniente de una Chimenea.**

## ANEXO # 5



**Figura N°8. Fotografía de una Bomba de Flujo Constante colocada en un punto de muestreo dentro de las instalaciones de un ingenio.**