

**ESTIMACIÓN DE INMISIONES A LA ATMÓSFERA PARA DETERMINAR ZONAS DE
RIESGO PARA LA SALUD HUMANA EN POPAYAN – CAUCA**

**LADY SUSANA MONTENEGRO ARBOLEDA
LEILA MARITZA PALADINEZ CAIZA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO
DE INGENIERO AMBIENTAL**

**DIRECTOR
PAULO MAURICIO ESPINOSA E.
Ingeniero Químico, MSc.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYAN
2007**

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus más sinceros agradecimientos a:

La Universidad del Cauca, por su colaboración con los recursos humanos y técnicos disponibles, en especial a los Ingenieros Paulo Mauricio Espinosa E., Nixon Correa y Luís Jorge González, por el apoyo, recomendaciones y sugerencias realizadas a lo largo del proyecto.

La Secretaría de Salud Municipal de Popayán, resaltando el apoyo del grupo de Salud Ambiental y Control de Zoonosis, por facilitar la recolección de la información requerida de las distintas entidades.

La Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), por brindar todo tipo de información necesaria para elaborar y ejecutar la metodología para la estimación de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Popayán.

La Policía Nacional por su apoyo policial en los aforos vehiculares.

Finalmente, a los propietarios de las empresas de transporte, a las fábricas y a todos y cada uno de las personas que facilitaron la realización de este estudio.

CONTENIDO

Página

INTRODUCCION	1
1. OBJETIVOS	2
2. MARCO JURÍDICO	3
3. MARCO TEORICO	5
3.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	5
3.2 LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	6
3.2.1 Tipos de contaminantes	7
3.3 LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD	7
4. GENERALIDADES DE LA CIUDAD DE POPAYAN (POT)	10
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	10
4.2 HUMEDAD RELATIVA	10
4.3 PRESION ATMOSFÉRICA	10
4.4 POBLACIÓN	11
4.5 VELOCIDAD DEL VIENTO	11
5. RECOPIACION DE ESTUDIOS PREVIOS (CRC)	14
6. METODOLOGIA GENERAL DEL ESTUDIO	16
7. METODOLOGIA, DATOS, RESULTADOS Y ANALISIS DE FUENTES PUNTUALES	18
7.1 METODOLOGIA FUENTES PUNTUALES	18
7.2 INFORMACION Y DATOS FUENTES PUNTUALES	19
7.2.1 Incinerador del Hospital Universitario San José	19
7.2.2 Caldera del Hospital Universitario San José	22
7.2.3 Productos Reina	24
7.2.4 Café Alcázar	26
7.2.5 Fabrica de Café La Palma Ltda. Hermanos Paredes Tobar	27
7.2.6 Friesland Colombia S.A.	29
7.2.7 Velas El Sol	31
7.3 CALCULOS Y RESULTADOS DE LAS EMISIONES DE FUENTES PUNTUALES	33
7.3.1 Estimación de emisiones para la Caldera del Hospital Universitario San José	34
7.3.2 Estimación de emisiones para el Incinerador del Hospital Universitario San José	34
7.3.3 Estimación de emisiones para Productos Reina	35

7.3.4	Estimación de emisiones para Café Alcázar	35
7.3.5	Estimación de emisiones para Café la Palma	36
7.3.6	Estimación de emisiones para Velas el Sol	36
7.3.7	Estimación de emisiones para las dos calderas de Friesland Colombia S.A.	37
7.4	APLICACIÓN MODELO DE DISPERSION GAUSSIANA	39
7.4.1	Metodología	39
7.4.2	Cálculos y Resultados de la Dispersión de los Contaminantes para cada Fuente Puntual	45
7.5	ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS INMISIONES DE LAS FUENTES PUNTUALES	53
8.	METODOLOGIA, DATOS, RESULTADOS Y ANALISIS DE LAS EMISIONES DE FUENTES DE AREA	54
8.1	METODOLOGIA FUENTES DE AREA	54
8.1.1	Metodología para el Relleno Sanitario El Ojito	54
8.1.2	Metodología para la Terminal de Transportes S.A.	56
8.2	DATOS FUENTES DE AREA	57
8.2.1	Datos Relleno Sanitario El Ojito	57
8.2.2	Datos Terminal de Transportes S.A.	57
8.3	RESULTADOS DE LAS EMISIONES DE FUENTES DE AREA	59
8.3.1	Resultados del Relleno Sanitario	59
8.3.2	Resultados de la Terminal de Transportes	59
8.4	APLICACIÓN DEL METODO DE LA CAJA FIJA	59
8.4.1	Metodología	59
8.4.2	Cálculo y Resultado de la aplicación del Método de Caja Fija en las Fuentes de Área	62
8.5	ANALISIS DE RESULTADOS DE INMISIONES POR FUENTES DE AREA	66
9.	METODOLOGIA, DATOS, RESULTADOS Y ANALISIS DE FUENTES MOVILES	67
9.1	METODOLOGIA DE FUENTES MOVILES	67
9.2	DATOS FUENTES MOVILES	69
9.3	RESULTADOS DE EMISION DE FUENTES MOVILES	74
9.4	APLICACIÓN DEL METODO DE CAJA FIJA PARA FUENTES MOVILES	76
9.4.1	Datos y cálculos de la aplicación del modelo de la caja fija para cada sector	76
9.4.2	Resultados de la aplicación del Modelo de Caja Fija para cada sector	78
9.5	ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS INMISIONES POR FUENTES MOVILES	88
10.	EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	90
11.	CONCLUSIONES	107
12.	RECOMENDACIONES	109
13.	GLOSARIO	111

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Monitoreos calidad del aire en Popayán en el 2002 – Día del no carro.	14
Tabla 2. Resultados calidad del aire año 2005 tomados en la Terraza Edificio Edgar Negret.	15
Tabla 3. Resultados calidad del aire año 2006 tomados en la Terraza Edificio Edgar Negret.	15
Tabla 4. Especificaciones Técnicas del Incinerador.	21
Tabla 5. Factores de Emisión para Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Dióxido de Sulfuro para Incineradores de Desechos Hospitalarios.	21
Tabla 6. Factores de Emisión para Material Particulado Total, Plomo Y Compuestos Orgánicos Totales para Incineradores de Desechos Hospitalarios.	22
Tabla 7. Especificaciones Técnicas de La Caldera del Hospital Universitario San José.	23
Tabla 8. Factores de Emisión para contaminantes criterio para la combustión con petróleo.	24
Tabla 9. Factores De Emisión Para Combustión Residencial Con Madera.	25
Tabla 10. Factores de emisión para operación de tostado de café (COV, Metano, CO y CO ₂).	10
Tabla 11. Factores De Emisión Para Combustión Con G.L.P.	31
Tabla 12. Factores de Emisión de Contaminantes Criterio para Combustión con ACPM.	33
Tabla 13. Resumen de Datos para Fuentes Puntuales.	33
Tabla 14. Resultados de la estimación de las emisiones de Caldera del Hospital Universitario San José.	34
Tabla 15. Resultados de la estimación de las emisiones del Incinerador del Hospital Universitario San José	35
Tabla 16. Resultados de la estimación de las Emisiones de Productos Reina.	35

Tabla 17.	Resultados de la estimación de las emisiones de Café Alcázar.	36
Tabla 18.	Resultados de la estimación de las emisiones de Café La Palma.	36
Tabla 19.	Resultados de la estimación de las emisiones de Velas el Sol.	36
Tabla 20.	Resultados de la estimación de las emisiones de las dos Calderas de Friesland Colombia S.A.	37
Tabla 21.	Resultados de la estimación de las emisiones de las dos Plantas Generadoras de Energía de Friesland Colombia S.A.	38
Tabla 22.	Resultados de la estimación de las emisiones de la planta generadora de Friesland Colombia S.A.	38
Tabla 23.	Clave para las categorías de estabilidad.	43
Tabla 24.	Coefficientes de Corrección de la Velocidad del Viento.	44
Tabla 25.	Constantes para determinar los coeficientes de dispersión.	44
Tabla 26.	Datos para el Cálculo de inmisiones por Fuentes Puntuales – aplicación Método de Dispersión Gaussiana.	49
Tabla 27.	Resultados de las Inmisiones de Fuentes puntuales por el Modelo de Dispersión Gaussiana.	51
Tabla 28.	Datos para la Estimación de emisiones del Relleno Sanitario el Ojito.	57
Tabla 29.	Datos para la estimación de emisiones de la Terminal de Transportes S.A.	58
Tabla 30.	Porcentajes de la cantidad de vehículos según tipo de tecnología	58
Tabla 31.	Resultados de estimación de emisiones Relleno Sanitario el Ojito.	59
Tabla 32.	Resultados de estimación de emisiones de la Terminal de Transportes.	59
Tabla 33.	Concentración de fondo (b) según medición calidad de aire – Popayán 2002 – Día del no carro (CRC)	63
Tabla 34.	Resultados de la Inmision de las Fuentes de Área aplicando Modelo de Caja Fija.	65
Tabla 35.	Datos generales para la Estimación de Emisiones Fuentes Móviles	69
Tabla 36.	Porcentajes de la cantidad de vehículos tipo taxi.	69

Tabla 37.	Porcentajes de la cantidad de vehículos tipo bus.	70
Tabla 38.	Porcentajes de la cantidad de vehículos particulares.	70
Tabla 39.	Aforos vehiculares para los Sectores Bolívar, Esmeralda y Centro.	71
Tabla 40.	Resultados de la concentración para el total de vehículos del sector Bolívar.	74
Tabla 41.	Resultados de la concentración para el total de vehículos del sector Centro.	75
Tabla 42.	Resultados de la concentración para el total de vehículos del sector Esmeralda.	75
Tabla 43.	Resultados calidad del aire año 2007 Sector Bolívar.	79
Tabla 44.	Resultados calidad del aire año 2007 Sector Centro.	80
Tabla 45.	Resultados calidad del aire año 2007 Sector Esmeralda.	81
Tabla 46.	Emisiones de Contaminantes Efecto Invernadero generadas por Fuentes Puntuales.	91
Tabla 47.	Emisiones de Contaminantes Efecto Invernadero generadas por Fuentes de Área.	94
Tabla 48.	Resultados de Emisiones para el total de vehículos del sector Bolívar.	96
Tabla 49.	Resultados de Emisiones para el total de vehículos del sector Centro.	98
Tabla 50.	Resultados de Emisiones para el total de vehículos del sector Esmeralda.	101
Tabla 51.	Consolidado de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero.	104

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Normas vigentes sobre la protección de la calidad del aire.	4
Figura 2. Proceso de contaminación atmosférica.	6
Figura 3. Rosa de los vientos multianual de noviembre de 1996, Estación Guillermo Valencia.	11
Figura 4. Rosa de los vientos multimensual de Octubre de 2007 de Popayán, Estación Universidad del Cauca.	12
Figura 5. Caldera del Hospital Universitario San José.	22
Figura 6. Fogón De Carbón Para La Producción De Productos Reina.	25
Figura 7. Fotografías Café Alcázar.	26
Figura 8. Chimenea de Café La Palma.	29
Figura 9. Proceso de Friesland Colombia S.A.	30
Figura 10. Fotografías de Velas el Sol.	31
Figura 11. Procedimiento para la fabricación de velas y veladoras. Velas El Sol.	32
Figura 12. Sistema de Coordenadas y Nomenclatura para la Idea Gaussiana de la Columna de Humo.	39
Figura 13. Ilustración del proceso para calcular el volumen y la composición del gas que proviene de la combustión de un hidrocarburo simple, C_xH_y . Si se supone combustión completa con aire en exceso.	41
Figura 14. Inmisión de Fuentes Puntuales por Modelo de Dispersión Gaussiana.	52
Figura 15. Fotografía de las Chimeneas del Relleno Sanitario El Ojito.	55
Figura 16. Zona rectangular, en la que se indica el significado de los símbolos usados en el Modelo de Caja Fija.	60
Figura 17. Terminal de Transportes S.A.	64
Figura 18. Inmisiones de Fuentes de Área Por Modelo de Caja Fija.	66
Figura 19. Cantidad de vehículos en el sector Bolívar.	72
Figura 20. Cantidad de vehículos en el sector Esmeralda.	72
Figura 21. Cantidad de vehículos en el sector Centro.	73
Figura 22. Zona de Estudio en el Sector Bolívar.	76

Figura 23.	Zona de Estudio en el Sector Centro.	77
Figura 24.	Zona de Estudio en el Sector Esmeralda.	78
Figura 25.	Inmisiones por Fuente Móviles en el Sector Bolívar.	82
Figura 26.	Inmisiones por Fuente Móviles en el Sector Centro.	83
Figura 27.	Inmisiones por Fuente Móviles en el Sector Esmeralda.	84
Figura 28.	Inmisiones por Fuente Móviles para PM ₁₀ .	85
Figura 29.	Inmisiones por Fuente Móviles para NO ₂ .	86
Figura 30.	Inmisiones por Fuente Móviles para CO.	87
Figura 31.	Emisión de COV generadas por las distintas Fuentes Puntuales.	92
Figura 32.	Emisión de CO ₂ generadas por las distintas Fuentes Puntuales.	92
Figura 33.	Emisión de CH ₄ generadas por las distintas Fuentes Puntuales.	93
Figura 34.	Emisión de NO ₂ generadas por las distintas Fuentes Puntuales.	93
Figura 35.	Emisión de CH ₄ generadas por las dos Fuentes de Área.	94
Figura 36.	Emisión de CO ₂ generadas por las dos Fuentes de Área.	95
Figura 37.	Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por la Terminal de Transportes S.A.	95
Figura 38.	Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.	96
Figura 39.	Emisión de CO ₂ generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.	97
Figura 40.	Emisión de N ₂ O generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.	97
Figura 41.	Emisión de CH ₄ generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.	97
Figura 42.	Emisión de COV generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.	98
Figura 43.	Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.	99
Figura 44.	Emisión de CO ₂ generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.	99
Figura 45.	Emisión de N ₂ O generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.	100

Figura 46.	Emisión de CH ₄ generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.	100
Figura 47.	Emisión de COV generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.	101
Figura 48.	Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.	102
Figura 49.	Emisión de CO ₂ generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.	102
Figura 50.	Emisión de N ₂ O generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.	103
Figura 51.	Emisión de CH ₄ generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.	103
Figura 52.	Emisión de COV generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.	103
Figura 53.	Aportes de las Fuentes Fijas, de Área y Móviles en la Emisión de cada uno de los Gases de Efecto Invernadero	105

LISTA DE ANEXOS

	Página.
Anexo 1. Datos de la Estación de la Universidad del Cauca para la elaboración de la Rosa de los vientos.	117
Anexo 2. Formato de Encuesta Dirigida a los conductores de la Terminal de Transportes S.A.	119
Anexo 3. Formato de Encuesta Dirigida a los Conductores de Vehículos Particulares (Realizada en Parqueaderos de Popayán).	120
Anexo 4. Copia de Respuesta al oficio #018951 del 8 de junio de 2007, por parte de la Secretaria De Transito Municipal de Popayán.	121

RESUMEN

La estimación de emisiones al aire por fuentes puntuales, de área, y móviles en Popayán se determinó a través de la metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, AP – 42), la hoja “básica” de cálculo de CORENOSTOS y el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE Model), respectivamente. Para posteriormente establecer las inmisiones con la aplicación de modelos de dispersión (Gaussiana para fuentes puntuales y de Caja Fija para fuentes móviles y de área), resultados con los cuales se efectuó la comparación con los niveles permisibles consignados en la Resolución 0601 de 2006 (por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio Nacional Colombiano) y los Niveles Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para determinar zonas de riesgo para la salud humana en sectores críticos de Popayán – Cauca.

Los resultados mostraron que la mayor parte de la contaminación atmosférica procede de las emisiones de fuentes móviles lo que produciría mayores afecciones en la salud humana (debidas principalmente a las concentraciones del Monóxido de Carbono , al Dióxido de Nitrógeno y en segundo lugar por Material Particulado y Dióxido de Azufre), ya que recientes estudios epidemiológicos resaltan la relación entre los contaminantes atmosféricos y la salud, reflejándose en padecimientos de serios daños en el aparato respiratorio, que incluyen el aumento del riesgo de enfermedades respiratorias, alteración de los lípidos de la mucosa bronquial, asma bronquial, e incluso enfermedades cardiovasculares.

En cuanto a las fuentes puntuales los valores de inmisión no sobrepasaron los límites permisibles, por el contrario los valores están muy por debajo de estos, lo cual disminuye la preocupación de posibles enfermedades debidas a estas fuentes, aunque esto no implica que se deba seguir con un control estricto de las emisiones de las industrias en Popayán.

De las dos fuentes de área que se estudiaron, se tiene que es la Terminal de Transportes, la fuente que presenta niveles de inmisión que sobrepasan los niveles permisibles establecidos, principalmente para el Material Particulado (PM₁₀).

Lo anterior hace que este estudio implícitamente contribuya a mejorar la capacidad de llevar a cabo vigilancia, monitoreo e investigación en la relación entre la salud humana y las exposiciones ambientales; y de esta manera las autoridades competentes puedan prestar servicios de intervención, prevención y educación en salud ambiental; y mejorar la sensibilización del público y el entendimiento de las condiciones de exposición ambiental y problemas de salud.

INTRODUCCIÓN

Las acciones humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire. La quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes, incluidos el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado. Aunque todos estos contaminantes pueden ser generados por fuentes naturales, las actividades antropogénicas han acrecentado significativamente su presencia en el aire que respiramos y que posteriormente pueden tener un efecto sobre la salud y el bienestar de los seres humanos, esto hace preciso implementar controles y estudios acerca de la relación: contaminación atmosférica con los efectos que ella causa en la salud.

En relación con lo anterior, aunque lo ideal sería realizar un monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Popayán, por costos y la falta de equipos adecuados y suficientes no es posible hasta ahora lograrlo. Razón por la cual, se vio la necesidad de realizar una "Estimación de Inmisiones a la Atmósfera para Determinar Zonas de Riesgo para la Salud Humana en Popayán – Cauca", teniendo en cuenta las fuentes contaminantes: puntuales, móviles y de área, aplicando métodos que se basan en la recolección de datos de campo, por medio de la observación, encuestas, entrevistas y algunas mediciones, que posteriormente se procesan y se analizan. Estos métodos son confiables y hoy en día son los más utilizados por distintos países del mundo, como Estados Unidos, México, Chile, entre otros, para la elaboración de los inventarios de emisiones, lo que permite que los resultados de estas estimaciones tengan una confiabilidad estadística cercana a los obtenidos por medio de monitoreos.

Finalmente, estimar la contaminación atmosférica en Popayán (Cauca) es un paso fundamental para planificar y ejecutar posibles monitoreos, para realizar nuevos estudios de la calidad del aire y su relación con la epidemiología, en la perspectiva de soluciones integrales y del desarrollo real de la ciudad.

1. OBJETIVOS

1.2 GENERAL

- ☞ Realizar una estimación de las inmisiones por fuentes fijas, móviles, y de área en la zona urbana de Popayán – Cauca, para relacionar el grado de contaminación del aire con la salud y posteriormente determinar las áreas de riesgo para la salud humana.

1.3 ESPECIFICOS

- ☞ Recopilar registros o estudios elaborados por entidades especializadas en la protección de la calidad del aire.
- ☞ Estimar las emisiones de sustancias en el aire que producen contaminación por las distintas fuentes emisoras, aplicando modelos que se ajusten a las características y condiciones de Popayán.
- ☞ Aplicar métodos de dispersión de contaminantes para la determinación de las inmisiones de cada fuente emisora.
- ☞ Comparar y analizar los resultados de las inmisiones en Popayán con los niveles permisibles consignados en la Resolución 0601 de 2006 y los Niveles Guía de la Organización Mundial de la Salud.
- ☞ Determinar las áreas de mayor riesgo para la salud debidas a las inmisiones de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Popayán – Cauca.
- ☞ Vincular algunas enfermedades crónicas registradas por la OMS que afecten a los seres humanos, asociadas a la exposición de los contaminantes atmosféricos que sobrepasen los límites permisibles.
- ☞ Crear y actualizar una base de datos para el manejo de la información de la calidad del aire de Popayán para facilitar la realización de nuevos estudios relacionados con la calidad del aire en Popayán.
- ☞ Plantear recomendaciones que contribuyan con la calidad de aire en Popayán.

2. MARCO JURÍDICO

En la legislación ambiental colombiana, las normas básicas que introducen en el contexto nacional una serie de conceptos básicos relacionados con el tema del recurso aire, son el Código Nacional de los Recursos Naturales (Decreto-Ley 2811 de 1974) y el Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud.

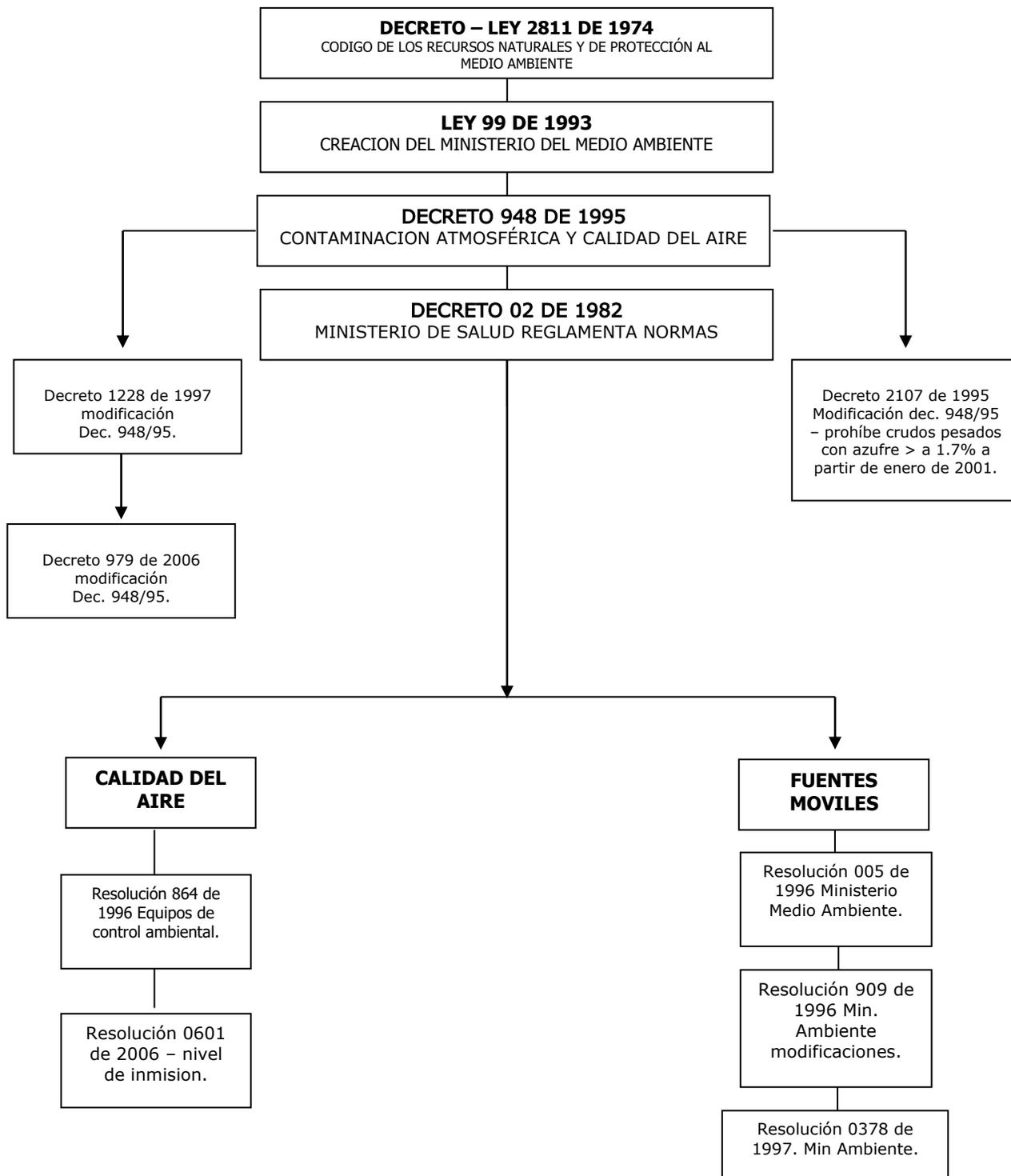
En el Decreto 02 de 1982, se establecen normas de calidad del aire o niveles de inmisión (anual, diaria, horaria) en el territorio nacional para los contaminantes: Partículas Totales en Suspensión (PST), Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno (medidos como Dióxido de Nitrógeno), Monóxido de Carbono y Oxidantes Fotoquímicos expresados como Ozono (O₃). Posteriormente y teniendo en cuenta las normas consagradas en la Ley 99 de 1993 y demás normas concordantes, se expide el Decreto 948 de 1995, por el cual se reglamentan parcialmente el Decreto - Ley 2811 de 1974; la Ley 09 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

Dada la importancia de la contaminación por fuentes móviles, el Ministerio del Medio Ambiente establece los niveles permisibles de emisión para vehículos con motor a Gasolina o a Diesel (ACPM), mediante las Resoluciones 005 de Enero 5 de 1996, 909 de Agosto 20 de 1996 y 1048 de Diciembre 6 de 1999.

Actualmente, se modificaron los artículos 7, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995 por medio del Decreto 979 del 3 Abril de 2006 y con la Resolución 0601 del 4 de Abril de 2006 se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

Para mayor claridad del contenido del Marco Jurídico, en la Figura 1, se enuncia en orden cronológico las principales normas ambientales colombianas que regulan el uso, aprovechamiento y manejo del recurso aire, destacando la fecha de expedición, la entidad de origen y vigencia de la misma.

Figura 1. Normas vigentes sobre la protección de la calidad del aire.



Fuente: Elaboración propia, basada en el cuadro elaborado por la CRC. "Cartilla: ¿Cómo será la atmósfera que rodeará nuestro mundo si hoy no protegemos el recurso Aire?"

3. MARCO TEORICO

3.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La alteración de la composición normal del aire es un hecho que tiene origen, desde antes de aparecer el hombre sobre la tierra: erupciones volcánicas, terremotos, incendios forestales, emanaciones de pantanos, entre otros, eran y son fuentes naturales de emisión que lanzan al aire grandes cantidades de sustancias impropias a su composición.

En la mitad del siglo XX se inicia el gran desarrollo para la humanidad, se instalan torres de extracción de petróleo, se crean grandes complejos industriales, y mega ciudades. Se mejoran las vías de comunicación y se construyen carreteras que conllevan la aparición de más industrias y crecen incontrolablemente las poblaciones.

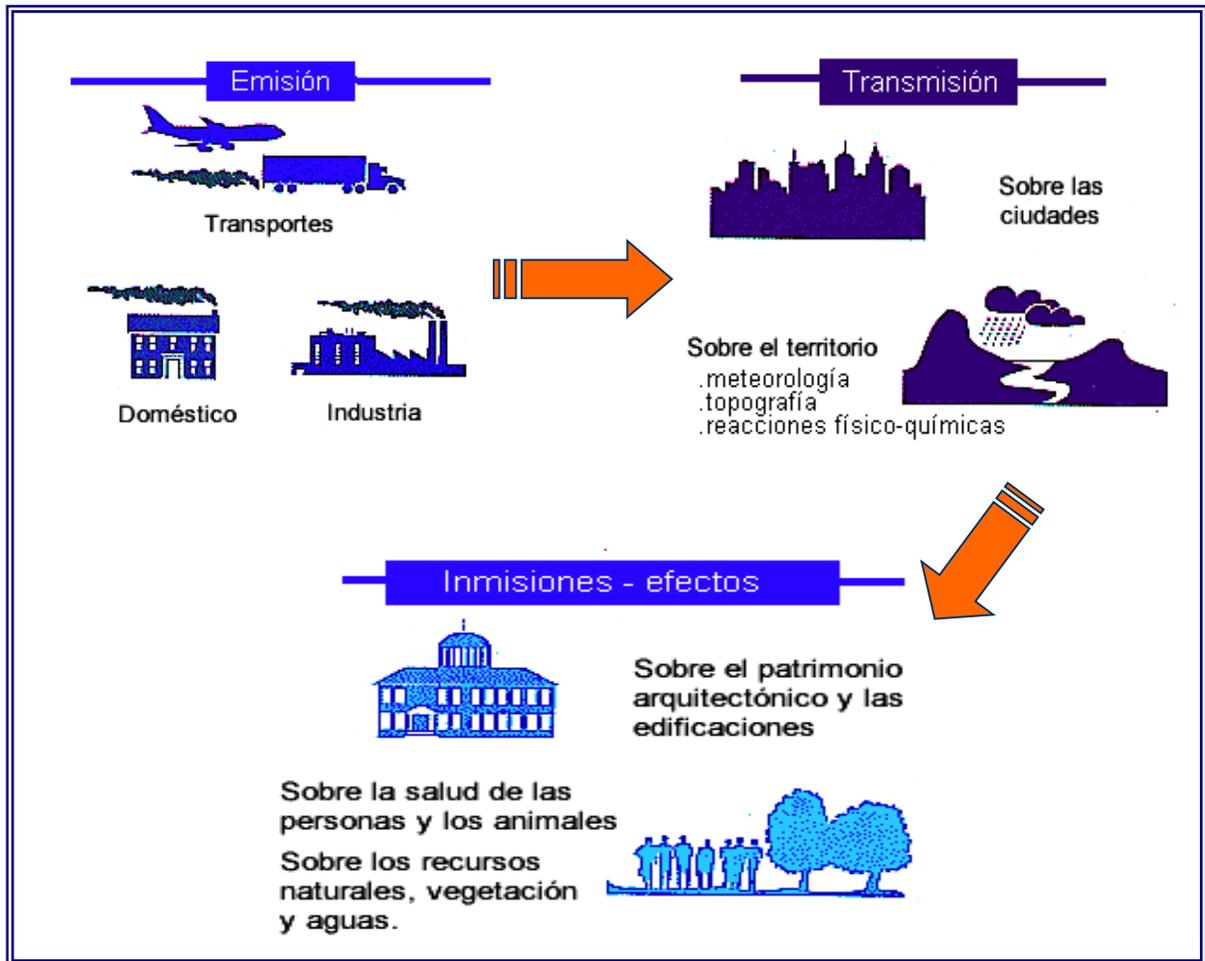
Junto a la industrialización y el bienestar que ocasiona el aumento del nivel de vida, aparece uno de los mayores problemas que el hombre ha conocido: LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, que es definida como el fenómeno de acumulación o concentración de contaminantes, definidos estos últimos como fenómenos físicos, sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de la actividad humana, de causas naturales o de la combinación de estas.

Así la relación entre la cantidad de contaminantes emitidos al aire y la presencia de estos en el aire en un momento y en un lugar determinado no es una relación directa ni proporcional ni sencilla de conocer, ya que la atmósfera es un sistema complejo con un comportamiento caótico.

En general, los contaminantes son liberados por una fuente, proceso conocido como emisión, y, en la atmósfera se desplazan, se transforman, se acumulan, se degradan. (Ver Figura 2). Como resultado de estos procesos, en un punto determinado se da una determinada concentración de cada contaminante. Esta concentración (masa de contaminante por volumen de aire) -que es independiente de la fuente de procedencia- se conoce como *nivel de inmisión*.

Son los niveles de inmisión los que determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente. Fruto de los estudios médicos y científicos, se han establecido valores de referencia para los niveles de inmisión de cada contaminante. Mientras no se superen, se puede considerar que la calidad del aire es buena.

Figura 2. Proceso de contaminación atmosférica.



Fuente: La contaminación atmosférica [online].

3.2 LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Por lo que respecta a las sustancias contaminantes, pueden ser muchas las emitidas por una fuente natural o antropogénica. Hay multitud de sustancias contaminantes. Aún así, hay que destacarlas por su importancia cuantitativa o cualitativa o por sus efectos.

La valoración de los efectos de cada contaminante es uno de los criterios fundamentales al establecer las normas de calidad o los niveles permisibles.

Hay que tener en cuenta también que la naturaleza y la estructura de las fuentes contaminantes es decisiva por lo que respecta a los efectos que puedan producir posteriormente, es decir, que los mismos contaminantes, emitidos de una manera o de otra, pueden tener efectos muy diferentes.

3.2.1 Tipos de contaminantes

➤ **PRIMARIOS:** Son sustancias contaminantes vertidas directamente a la atmósfera desde los focos emisores.

Contaminantes Primarios.- Gaseosos

Dióxido de Azufre.....SO₂
Monóxido de Carbono.....CO
Óxidos de Nitrógeno.....NO_x
Hidrocarburos.....HC

Contaminantes Primarios.- No Gaseosos

LÍQUIDOS:

Hidrocarburos no quemados.

SÓLIDOS:

Partículas en suspensión - de 0 a 10 micras de diámetro.

Partículas sedimentables - de diámetro superior a 10 micras, al ser más pesadas caen sobre el suelo y bienes de uso.

AEROSOLES:

Producto de la dispersión de contaminantes sólidos y líquidos en un medio gaseoso. Pueden mantenerse en suspensión durante cierto tiempo y su diámetro es de 0,1 a 50 micras.

➤ **SECUNDARIOS:** No son vertidos directamente a la atmósfera. Se producen a consecuencia de transformaciones y reacciones químicas o fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera (Contaminación atmosférica, online).

3.3 LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD

La preocupación acerca de los efectos sobre la salud de la contaminación externa no se materializó hasta finales de los años cuarenta y comienzos de los cincuenta, cuando los desastres debidos a la contaminación atmosférica en dos continentes dispararon las alarmas. Tanto la "niebla asesina" de 1948 en la pequeña localidad de Donora, Pennsylvania, que mató a 50 personas, como la "niebla" de Londres de 1952 a causa de la cual hubo 4.000 víctimas, se relacionaron con el uso generalizado de combustibles peligrosos y espolearon las iniciativas gubernamentales para atajar el grave problema de la contaminación urbana.

Desde entonces muchas naciones han adoptado niveles de calidad del aire ambiental para proteger a los ciudadanos de los contaminantes más comunes y peligrosos.

Entretanto, la contaminación atmosférica urbana ha empeorado en las ciudades más populosas del mundo en desarrollo, situación que viene dada por el crecimiento demográfico, la industrialización y el aumento del uso de vehículos. A pesar de las medidas para controlar la contaminación, la calidad del aire de ciudades como Pekín,

Delhi, Yakarta y Ciudad de México, los niveles de contaminación sobrepasan a veces los de la OMS en tres o más puntos (Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud, online).

Además, los efectos de la contaminación del aire pueden ser crónicos o agudos. Los primeros son aquellos asociados a recibir el impacto de niveles de inmisión moderados durante largos periodos de tiempo. Los segundos son aquellos producidos al recibir el impacto de niveles de inmisión muy altos durante cortos periodos de tiempo, es decir, como consecuencia de episodios de contaminación.

A fines de los años cincuenta numerosos estudios comenzaron a documentar la relación existente entre la contaminación general del aire y ciertas enfermedades crónicas. Hoy en día, existe un consenso general que afirma que las concentraciones ambientales de los contaminantes del aire pueden causar o incentivar el desarrollo de bronquitis crónica y cáncer pulmonar. Se plantea que existe una consistente relación similar con el enfisema pulmonar.

Las evidencias que relacionan el cáncer pulmonar con la contaminación del aire son sobre todo indiciarias, basadas en cientos de estudios que revelan una incidencia mayor de dicha enfermedad en las zonas urbanas que en las rurales.

A pesar de ello, estas evidencias son tan generalizadas y uniformes que normalmente se aceptan como pruebas de una relación causa – efecto. Existe menor consenso en cuanto a la mortalidad que se puede atribuir a la exposición de contaminantes del aire. Los cálculos del porcentaje de muertes para las cuales la contaminación del aire es un importante factor van desde 0,1 por ciento (1 en 1.000) hasta 10 por ciento (1 en 10). (Curso de Auto Instrucción Toxicología de la Contaminación Atmosférica EPA).

Los niveles altos de contaminación del aire pueden causar problemas de salud inmediatos:

- Agravar enfermedades cardiovasculares y respiratorias
- Producir más estrés al corazón y los pulmones que deben trabajar más para suministrar oxígeno al cuerpo
- Dañar las células del sistema respiratorio

La exposición prolongada al aire contaminado puede tener efectos permanentes sobre la salud:

- Envejecimiento acelerado de los pulmones y pérdida de la capacidad pulmonar
- Disminución de la función pulmonar
- Desarrollo de enfermedades como asma, bronquitis, enfisema y posiblemente cáncer.

- Acortamiento de la vida (Aire Sucio: Efectos de la Contaminación del Aire Sobre la Salud, online).

4. GENERALIDADES DE LA CIUDAD DE POPAYAN

4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Municipio de Popayán se encuentra localizado al sur occidente de Colombia formando parte del Departamento del Cauca entre los 2°27" de latitud norte y 76° 37' de longitud desde el meridiano de Greenwich. Se encuentra formando parte del Altiplano de Popayán y el pie de monte de la Cordillera Central, la cabecera municipal y ciudad capital esta ubicada en el denominado Valle de Pubenza, localizada a los 2°26'39" de latitud norte y 76°37'17" de longitud oeste con una *altura sobre el nivel del mar de 1738 m., con una temperatura promedio de 18°C*. El área municipal es de 464 Km². Y sus límites son: Por el Norte, con los municipios de Cajibío y Totoró; por el Este, con Totoró y Puracé; con el Sur, con Puracé y Sotará y por el Oeste, con Timbío y el Tambo.

4.2 HUMEDAD RELATIVA

Según los datos registrados en el POT, la humedad relativa oscila entre 68% y 82% su variación anual esta relacionada con la presencia en mayor o menor grado de la precipitación, así como con otros factores meteorológicos como los vientos, nubosidad, temperatura y evapotranspiración, y la cobertura vegetal presente en el área. *Por tanto, el valor promedio de la humedad relativa sería 75% (POT Popayán).*

4.3 PRESION ATMOSFÉRICA

Empleando la ecuación de Poison (Ec 1), la cual es utilizada para determinar la presión atmosférica en KPa, de un sitio por encima del nivel del mar a partir de la altitud (Z) de la estación, en este caso la Estación Guillermo Valencia esta ubicada a 1730 m.s.n.m., (González, 2004). Por lo tanto la presión atmosférica es de 824.7 mb.

$$p = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065 * Z}{293} \right)^{5.256} \quad (Ec. 1)$$

$$p = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065 * 1730}{293} \right)^{5.256} = 82.467 KPa = 824.7 mb$$

4.4 POBLACIÓN

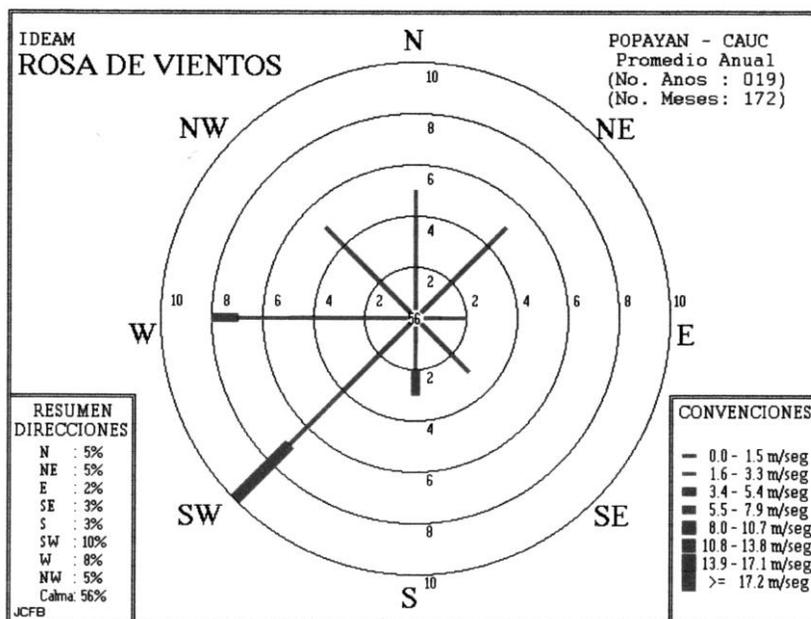
El número de habitantes estimado para el 2006, según proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) es en total de 244.323. En el sector rural: 18.880 y en el urbano de: 225.443. (POT Popayán).

4.5 VELOCIDAD DEL VIENTO

El viento tiene importancia entre otras cosas por su acción en la dispersión de contaminantes y en la desecación de los suelos. En el Municipio de Popayán se tiene compilación de registros de varios años solamente de la Estación Guillermo Valencia y de nueve meses de 2007 en la Estación Metereológica de la Universidad del Cauca.

Los vientos dominantes proceden del suroeste. El valor máximo multianual es de 5.5 m/s, y el valor mínimo multianual es de 0.27 m/s. Es importante tener en cuenta que en la zona de estudio se presenta en el mes de Agosto, remolinos de fuerte intensidad, ocasionados por la influencia de las corrientes calido húmedas que provienen del Valle del Patía y la Costa Pacifica respectivamente (POT Popayán).

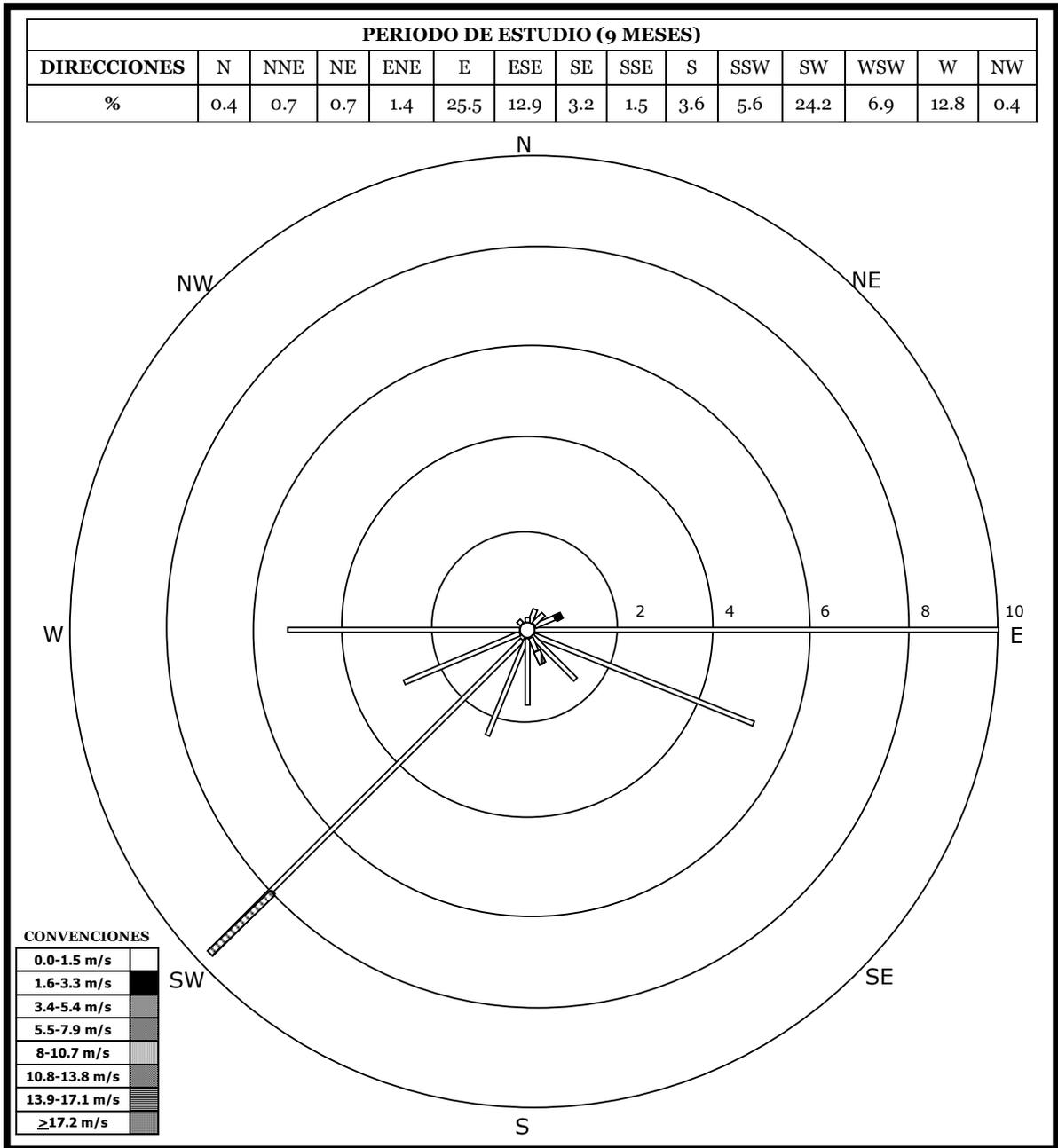
Figura 3. Rosa de los vientos multianual de noviembre de 1996, Estación Guillermo Valencia.



Fuente: Archivos del Ingeniero Luís Jorge González de la Universidad del Cauca (IDEAM).

Como la Rosa de los Vientos que se presenta en la Figura 3 es multianual, se realizó una Rosa de los Vientos multimensual para el periodo de estudio, obteniéndose la siguiente Figura:

Figura 4. Rosa de los vientos multimensual de Octubre de 2007 de Popayán, Estación Universidad del Cauca.



Fuente: Elaboración propia (Metodología de GONZALEZ, 2004) (Ver Anexo 1)

Al comparar la rosa de los vientos de la Figura 3 con la Figura 4, se observa que la dirección dominante de los vientos ha cambiado, llevándonos a concluir que el valor mínimo de velocidad del viento que se va a tomar para la realización de los cálculos de este trabajo es de 1.5 m/s con direcciones predominantes Este (E) y Sur – Oeste (SW).

5. RECOPIACION DE ESTUDIOS PREVIOS

De acuerdo al Oficio No. 03219 del 26 de marzo enviado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), en respuesta al Oficio No. 1235 del 8 de Marzo de 2007 – 03 - 23 al Secretario de Salud Municipal de Popayán, se obtuvo la siguiente información, consignada en las tablas 1, 2 y 3:

1- Resultados de los estudio de Calidad del Aire en los parámetros de PST, PM₁₀, NO_x y SO₂, realizados en los años 2002, 2005 y 2006 por la CRC.

Tabla 1. Monitoreos calidad del aire en Popayán en el 2002 – Día del no carro.

FECHA DE MEDICION	SITIO DE MUESTREO	CONCENTRACION PARAMETROS DE MEDICION (ug/m ³)				VALORES NORMA (Decreto 02/82)		COMPARACION CON LA NORMA
		TSP	PM ₁₀	NO _x	SO ₂	Norma Anual para PST, NO ₂ , SO ₂ (ug/m ³)	Máximo superable una vez al año para PST, NO ₂ , SO ₂ (ug/m ³)	
04/07/2002	Edificio Edgar Negret Dueñas (Cra 7 No. 1N-28)	66	-	42	26	82,4	329,7	En el parámetro PST se supera la norma promedio anual, los registros de NO _x y SO ₂ se encuentran dentro de la norma.
04/07/2002	Centro Comercial Anarkos (Cll 7 entre Cra 6 y 7)	108	-	13	41			
05/07/2002	Colegio Antonio García Paredes (Calle 17 # 12-40)	71	-	3	3,6			
06/07/2002	Hotel Belmont. B/La Esmeralda (Cll 5 entre Cras 15 y 16)	162,1	-	5,1	5,1			
06/07/2002	Empaques del Cauca (Calle 10N # 9-60)	117	-	25,68	24,23			

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca.

Tabla 2. Resultados calidad del aire año 2005 tomados en la Terraza Edificio Edgar Negret.

FECHA DE MUESTREO	PARTICULAS TOTALES (TSP) (ug/m ³)	PARTICULAS MENORES A 10 MICRAS (PM ₁₀) (ug/m ³)	DIOXIDO DE NITROGENO NO _x (ug/m ³)	DIOXIDO DE AZUFRE SO ₂ (ug/m ³)	OBSERVACION
24/08/2005	104,0	41,0	9,0	18,0	De acuerdo a los resultados de la medición se determina que en el Municipio de Popayán la Calidad de Aire se encuentra cumpliendo la norma en los parámetros de TSP, PM ₁₀ , NO _x , y SO ₂ .
25/08/2005	64,0	27,0	20,0	18,0	
26/08/2005	92,0	45,0	23,0	18,0	
27/08/2005	61,0	6,0	20,0	18,0	
28/08/2005	66,0	30,0	20,0	18,0	
29/08/2005	86,0	40,0	22,0	18,0	
30/08/2005	57,0	30,0	27,0	18,0	
31/08/2005	70,0	63,0	25,0	18,0	
01/09/2005	64,0	25,0	18,0	18,0	
02/09/2005	55,0	2,0	11,0	18,0	
VALOR MAXIMO DE CONCENTRACION	104,0	63,0	27,0	18,0	
VALOR MINIMO DE CONCENTRACION	55,0	2,0	9,0	18,0	
PROMEDIO	70,27	30,0	19,0	18,0	
NORMA	82,0	45,0	82,0	82,0	

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC).

Tabla 3. Resultados calidad del aire año 2006 tomados en la Terraza Edificio Edgar Negret.

FECHA DE MUESTREO	PARTICULAS TOTALES (TSP) (ug/m ³)	PARTICULAS MENORES A 10 MICRAS (PM ₁₀) (ug/m ³)	DIOXIDO DE NITROGENO NO _x (ug/m ³)	DIOXIDO DE AZUFRE SO ₂ (ug/m ³)	OBSERVACION
19/10/2006	38,0	19,0	20,0	18,0	De acuerdo a los resultados de la medición se determina que en el Municipio de Popayán la Calidad de Aire se encuentra cumpliendo la norma en los parámetros de TSP, PM ₁₀ , NO _x , y SO ₂ .
20/10/2006	50,0	27,0	23,0	18,0	
21/10/2006	82,0	29,0	10,0	18,0	
22/10/2006	66,0	48,0	25,0	72,0	
23/10/2006	62,0	15,0	22,0	18,0	
24/10/2006	119,0	35,0	72,0	18,0	
25/10/2006	61,0	27,0	22,0	18,0	
26/10/2006	82,0				
VALOR MAXIMO DE CONCENTRACION	119,0	48,0	72,0	72,0	
VALOR MINIMO DE CONCENTRACION	38,0	19,0	10,0	18,0	
PROMEDIO	66,4	29,0	28,0	26,0	
NORMA	92,0	64,4	92,0	73,6	

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca.

2- El único incinerador que cuenta con permiso de emisiones atmosféricas en la ciudad de Popayán es el del Hospital Universitario San José, en cuanto a las **fábricas ninguna de las existentes requiere permiso de emisiones atmosféricas.**

6. METODOLOGIA GENERAL DEL ESTUDIO

Debido al crecimiento de la ciudad de Popayán a través del tiempo, se ha promovido el consumo de servicios y de nuevos productos, lo que ha generado distintas problemáticas ambientales, dentro de las cuales se tiene el deterioro de la calidad del aire por las emisiones de fábricas, vehículos y otro tipo de fuentes. Sin embargo, aun es tiempo para minimizar el impacto de esta problemática, por lo cual, se han realizado diversos estudios en la búsqueda de métodos adecuados para estimar el daño que se hace al aire con las actividades antropogénicas.

Para este trabajo, inicialmente se revisaron y recopilaron registros o estudios elaborados en Popayán por la entidad especializada en la protección de la calidad del aire (CRC), y de esta manera, tener algunas bases para el posterior análisis de la estimación de las emisiones a la atmósfera por la metodología que seguidamente se expone.

Luego de revisar métodos de estimación de emisiones a la atmósfera, se seleccionaron para la realización de este estudio, las siguientes metodologías, en las cuales se siguieron las recomendaciones de los manuales, y en general se verificó el desarrollo y exactitud de los cálculos para garantizar al máximo un buen resultado final.

Para las Fuentes Puntuales, la estimación de emisiones se determinó implementando la metodología de factores de emisión registrados en el AP – 42 de la EPA la cual se ha aplicado en países como México y Chile, por ser una de las herramientas más útiles disponible para estimar emisiones de este tipo de fuentes. Con este método se logra una estimación de la cantidad de contaminante liberada a la atmósfera como resultado de alguna actividad, para nuestro caso la combustión. Esta metodología se aplicó a las empresas más representativas de la ciudad como lo son: Friesland Colombia S. A., Velas el Sol, Café La Palma, Café Alcázar, Productos Reina y además el Hospital Universitario San José. Obtenidos los resultados de la estimación de las emisiones y a través de una hoja de cálculo en Excel, de elaboración propia, se aplicó el modelo de dispersión Gaussiana obteniendo las inmisiones de cada tipo de contaminante para cada fuente puntual.

Dentro de las fuentes de área se estudiaron el Relleno Sanitario el Ojito y la Terminal de Transportes S.A. Para la primera, se estimaron las emisiones por medio del Modelo Matemático para Calculo de Gases y Lixiviados de CORENOSTÓS, elaborado por Jaime Echeverry Torné y Héctor Collazos Peñaloza, versión 1 de junio de 2002. Para la Terminal de Transportes se utilizó el Modelo IVE, que es un modelo matemático diseñado para estimar las emisiones de los

vehículos, cuyo objetivo principal es suplir las necesidades de países en vía de desarrollo en la realización de inventarios de emisiones de fuentes móviles, el cual ha sido diseñado por investigadores de la Universidad de California y el Centro Internacional de Investigación de Sistemas Sostenibles (ISSRC). Luego de calculadas las estimaciones por fuentes de área, se procedió a aplicar el Modelo de Caja Fija para determinar las inmisiones de cada tipo de contaminante que se emiten.

En cuanto a las Fuentes Móviles, la metodología utilizada para la estimación de emisiones es la establecida por el Modelo IVE, anteriormente citado, el cual calcula las emisiones de los contaminantes criterio y de los gases de efecto invernadero. Este modelo ha sido aplicado de manera estandarizada en 11 ciudades del mundo, tales como Lima en Perú, Sao Pablo en Brasil, La Ciudad de México, Santiago de Chile y en Santa Fe de Bogotá en Colombia. Por tanto, esta metodología se aplicó en Popayán, en los sectores donde se presenta mayor flujo vehicular como: Sector Histórico, La Esmeralda y el Barrio Bolívar. Para el cálculo de las inmisiones de este tipo de fuentes, también se aplicó el Modelo de Caja Fija.

Finalmente, las inmisiones se compararon con los valores permisibles de la Resolución Colombiana 0601 de 2006 y con los Valores Guía de la OMS, para tiempos de exposición prolongados, puesto que es la situación que se vive en Popayán, donde la concentración de los contaminantes son relativamente pequeñas y los habitantes mantienen una exposición constante, lo cual incrementa la posibilidad de afecciones en la salud o enfermedades crónicas.

Los datos de entrada, información adicional y otras actividades referentes a los cálculos fueron documentados para posibilitar su revisión y verificación; la documentación de soporte cubre:

- Información proporcionada por las fuentes.
- Información bibliográfica.
- Hojas de cálculo utilizando Modelos de dispersión de contaminantes.
- Memorias de cálculos.
- Reportes de resultados.

Los cálculos se elaboraron en forma manual, utilizando hojas de cálculo electrónicas y aplicando modelos. Todo este tipo de información queda consignada en los archivos del Grupo de Salud Ambiental y Control de Zoonosis de la Secretaria de Salud Municipal de Popayán.

7. METODOLOGIA, DATOS, RESULTADOS Y ANALISIS DE FUENTES PUNTUALES

7.1 METODOLOGIA FUENTES PUNTUALES

La ciudad de Popayán no es una ciudad industrial, ya que su economía se basa principalmente en el Sector Primario o Agropecuario, por lo cual la escasa industria existente no representa una gran amenaza para los recursos naturales, debido a que no es a gran escala y esencialmente son fábricas familiares y de bajo nivel de producción.

Además, se conoce que la actividad industrial que se desarrolla en la ciudad, se caracteriza por tener en general un bajo nivel tecnológico, situación que se explica por el reducido tamaño de las empresas, las cuales se ubican en su gran mayoría en la categoría de microempresas y empresas familiares y por el limitado tamaño del mercado que atienden, generalmente, su cobertura es local o regional, sin embargo, se destacan algunas de mediano tamaño y alta tecnología, especialmente para aquellas empresas surgidas como consecuencia de la Ley 218, entre ellas pueden citarse Friesland S.A. y las torrefactoras en el Sector de Alimentos y algunas Tipografías en el Sector de Artes Graficas, las cuales abastecen un mercado de mayor tamaño que se extiende a los Departamentos del Sur Occidente del País (POT Popayán).

Con base en lo anterior, se inspeccionaron las empresas más grandes de la ciudad que por la dimensión de sus procesos pueden generar mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera, como lo son: Velas el Sol, Fabrica de Café La Palma Ltda. Hermanos Paredes Tobar, Café Alcázar, Productos Reina, Friesland Colombia S. A. y el Incinerador y Caldera del Hospital Universitario San José. Con estas visitas se obtuvo la descripción de la actividad y del proceso que se lleva a cabo en cada empresa, la ubicación y algunos registros fotográficos de la fuente, además el tipo y cantidad de combustible que utilizan para el proceso por unidad de tiempo (horas, semanas, meses).

De acuerdo al tipo de combustible (A.C.P.M, G.L.P. o Carbón) por medio de bibliografía se buscó la densidad de cada uno, ya que para calcular el Parámetro de Actividad las unidades de este (Masa del Combustible/Unidad de Tiempo) deben ser consistentes con las del Factor de Emisión, las cuales están establecidas en las Tablas de Factores de Emisión de la EPA (AP – 42), de acuerdo al tipo y las características de actividad que realiza cada una de las fuentes puntuales. Con estos datos se realizaron los cálculos para obtener la estimación de las emisiones de cada contaminante liberado a la atmósfera como resultado de cada una de las actividades realizadas en las empresas anteriormente referidas.

Posteriormente se aplicó el Modelo de Dispersión Gaussiano para determinar la dispersión de la columna de humo de cada fuente de puntual, ya que los modelos de dispersión se utilizan en todo el mundo para pronosticar concentraciones de agentes contaminantes y para prevenir el posible daño en el ambiente.

Estos modelos de dispersión se basan en algoritmos matemáticos que funcionan como un sistema que une las emisiones liberadas a la atmósfera con concentraciones de agentes contaminantes a nivel del suelo mediante el uso de leyes físicas y químicas. Por lo cual, se deben especificar las condiciones y los requisitos bajo los cuales los modelos son útiles y se pueden aplicar.

Finalmente, estimadas las emisiones y aplicado el modelo de dispersión Gaussiano se realizó el análisis de los resultados, comparando los valores estimados con los permisibles que aparecen consignados en la Resolución 0601 del 4 abril de 2006 y con los Valores Guía de la OMS.

7.2 INFORMACION Y DATOS DE LAS FUENTES PUNTUALES

7.2.1 Incinerador del Hospital Universitario San José

Para la *descripción del proceso de incineración de residuos* se parte del hecho de que los materiales a quemar son combustibles. Para generar una combustión se necesitan tres elementos: Un combustible, oxígeno (el comburente) y una determinada temperatura. Cuando se tienen estos tres elementos se produce la combustión, la cual dependiendo de las relaciones entre los elementos anteriores puede ser completa o incompleta. Se denomina incompleta cuando los gases resultantes de la misma contienen elementos combustibles o contaminantes, sólidos o gaseosos, como Metano (CH₄), CO y Carbono (C). Se denomina completa cuando los gases emitidos contienen sólo CO₂ y vapor de agua.

La condición de combustión completa e incompleta está determinada principalmente por la cantidad de oxígeno presente en la combustión y en segundo grado por la temperatura a la que ocurre el proceso. **El incinerador HI-10Pm** funciona en base a una combustión incompleta en la cámara primaria y una combustión completa en la secundaria. Los residuos depositados en la cámara de combustión son el combustible a quemar, el oxígeno es aportado por el aire a través de un ventilador y la temperatura necesaria se logra con un quemador de A.C.P.M. Para el cual se utilizan 70 galones mensuales y posee una chimenea de 18 m de altura y 0.38 m de diámetro para la liberación de los gases de combustión.

En la cámara de combustión se busca que el proceso sea parcial, o sea que la cantidad de oxígeno adicionada sea menor que la requerida para una combustión completa. Si se abre mucho la válvula de inyección de aire a esta cámara se estará adicionando mucho oxígeno y por lo tanto la combustión se avivará produciendo un volumen de gas mayor al diseñado y una temperatura muy alta.

En la cámara de postcombustión se busca que el proceso sea completo y que la temperatura se mantenga en el valor establecido con el objeto de que la expansión de los gases sea la adecuada para que se cumpla con el tiempo de residencia necesario. Esto lleva a que la cantidad de oxígeno adicionada sea mayor que la requerida para una combustión completa, puesto que la cantidad de oxígeno en exceso a la de combustión completa se encarga de mantener la temperatura en su nivel programado. Si se cierra mucho la válvula de inyección de aire se estará adicionando menos oxígeno, por lo tanto la combustión no se realizará completamente y la temperatura se elevará por encima de su nivel. La graduación del flujo de aire a las dos cámaras varía con el tipo de residuos.

En cuanto del *diseño del equipo*, el Horno HI-10Pm es un horno Incinerador Antipolución de dos cámaras, una ubicada encima de la otra, de forma cilíndrica vertical, construido externamente en lámina de acero dulce e internamente recubierto con cemento refractario.

La cámara inferior se denomina primaria o de combustión y es allí donde se depositan los residuos a incinerar. La cámara superior se denomina secundaria o de postcombustión y es la encargada de la eliminación de los gases contaminados generados por los residuos incinerados en la inferior. Cada cámara está equipada con un quemador automático a base de A.C.P.M. con encendido por chispa eléctrica y detección de llama por medio de fotocelda, y un ventilador para el suministro del aire secundario y el de combustión del A.C.P.M. Se dispone de una bomba, del tipo piñón, para la inyección del combustible a los quemadores y de un tablero de control general donde se ubican los controles de temperatura, contactores, conmutadores y bombillos piloto.

Para una mayor claridad del diseño del Horno Incinerador, se muestra en la tabla 4 las especificaciones técnicas de este.

- Factores de Emisión para el Incinerador del Hospital Universitario San José:

Los factores de emisión seleccionados para los cálculos de emisiones se encuentran en las Tablas 5 y 6, los cuales se escogieron de acuerdo a la semejanza de la información real del Incinerador del Hospital Universitario San José con las reportadas en el AP – 42 de la EPA.

Tabla 4. Especificaciones Técnicas del Incinerador.

MODELO	HI-10PM
CAPACIDAD DE SÓLIDOS	Hasta 45 lb/Hr
CÁMARA INFERIOR:	
- Estructura Exterior:	Lámina de Acero H.R.
- Aislante:	1" de fibra mineral.

- Refractario:	3" cemento refractario
- Puerta de Remoción de cenizas:	9" * 9" de apertura horizontal, sello de cordón de asbesto.
- Quemadores:	Uno (1) para A.C.P.M de 2000 Btu/Hr
- Control de llama:	Electrónico por detección de fotocelda
- Ventiladores:	Un (1) ventilador de 0.9HP, 500 CFM para el quemador y la cámara con válvula de accionamiento manual.
- Combustible:	A.C.P.M
- Temperatura de operación:	800°C
- Voltaje de operación:	220V o 440V, 3F, 60Hz
CÁMARA SUPERIOR:	
- Estructura:	Lámina de Acero H.R.
- Aislante:	1" de fibra mineral.
- Refractario:	4" cemento refractario
- Quemador:	Quemador para A.C.P.M 200000 Btu/Hr
- Control de llama:	Electrónico por detección de fotocelda
- Control de temperatura:	Un (1) control, VEMER, Rango 0-1200°C, tipo "K"
- Combustible:	A.C.P.M
- Temperatura de operación:	900°C
- Tiempo Duración Encendido:	Lunes a Domingo las 24 Horas

Fuente: Archivos del Hospital Universitario San José.

Tabla 5. Factores de Emisión para Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Dióxido de Sulfuro para Incineradores de Desechos Hospitalarios.

Control Level	NO _x			CO			SO ₂		
	lb-ton	kg /Mg	Emission Factor Rating	lb-ton	kg /Mg	Emission Factor Rating	lb-ton	kg/Mg	Emission Factor Rating
Uncontrolled	3.56	1.78	A	2.95	1.48	A	2.17	1.09	B

Fuente: EPA, sección 2.3 del AP – 42 Tabla 2.3-1

Tabla 6. Factores de Emisión para Material Particulado Total, Plomo y Compuestos Orgánicos Totales para Incineradores de Desechos Hospitalarios.

Control Level	Total Particulate Matter			Lead			TOC		
	lb-ton	kg/Mg	Emission Factor Rating	lb-ton	kg/Mg	Emission Factor Rating	lb-ton	kg/Mg	Emission Factor Rating

Uncontrolled	4,67	2,33	B	7,28 E-02	3,64 E-02	B	2,99 E-01	1,50 E-01	B
--------------	------	------	---	-----------	-----------	---	-----------	-----------	---

Fuente: EPA, sección 2.3 del AP – 42 Tabla 2.3-2

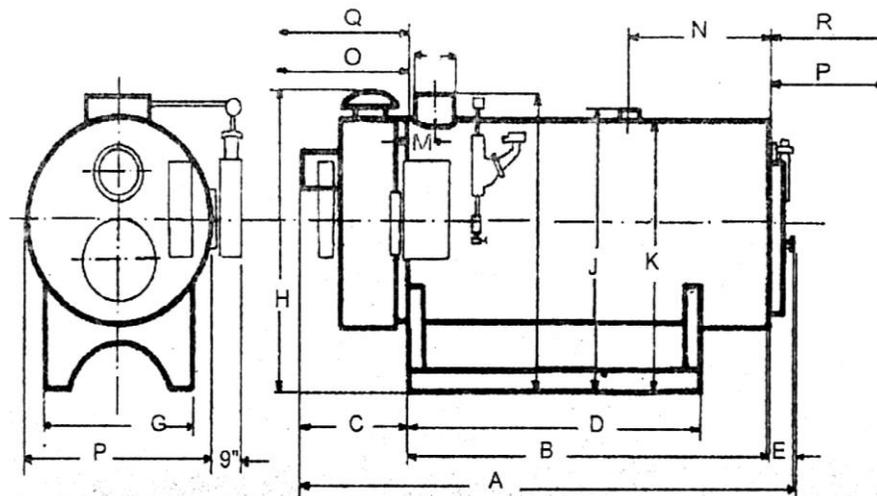
7.2.2. Caldera del Hospital Universitario San José

La Caldera Continental de dos pasos posee una combinación de la más alta transmisión de calor, máxima absorción de radiación y la más alta circulación de agua en el recipiente de presión. Funciona con 130 galones diarios de ACPM, y cuenta con una chimenea de 19 m de altura y 0.40 m de diámetro.

La temperatura de los gases de la chimenea no excede en más de 125 °F la temperatura del agua de la caldera. La temperatura de los gases de chimenea es función del diseño básico de la caldera y de la disposición de las superficies de calentamiento.

A continuación se muestra una vista en perfil de la Caldera de Hospital Universitario San José (Figura 5), en donde, a cada una de sus dimensiones se le ha asignado una letra, la cual aparece consignada en la Tabla 7.

Figura 5. Caldera del Hospital Universitario San José.



Fuente: Manual Calderas Continental.

Tabla 7. Especificaciones Técnicas de La Caldera del Hospital Universitario San José.

MODELO		F92C150
Caballos de Vapor:		150
Longitud	Total	A 17'6"
	Del vaso de presión	B 13'10"
	De la base al frente	C 3'4"
	De la base	D 11'0"
	De la puerta Trasera	E 9"
Ancho	Sobre la cubierta	F 4'11"
	Base	G 3'9"
Altura	Total	H 6'6"

Piso a salida de gases	I	6'4"
Piso a salida de vapor	J	6'4"
Piso a parte superior	K	5'11"
Salida gases Díámetro (nominal)	L	16"
Localización	M	10"
Salida Vapor		
Localización	N	8'0"
Tamaño, 15 PSI, Flange 150°		8"Flgd.
Tamaño, 150 PSI, Flange 300°		4"Flgd
Espacio Libre	O	6'2"
Oscilación puerta delantera	P	2'8"
Oscilación puerta trasera	Q	11'10"
Remoción de tubos por delante	R	11'7"
Remoción de tubos por detrás		
Espacio Mínimo para el cuadro de Calderas		
Al frente		28'4"
Atrás		31'7"
Conexiones Inyección del Agua		1 1/2 "
Purga (100 a 200 PSI)		(2) 1 1/2 "
Handholes		6
Mandholes (únicamente 1 para alta presión)		1
Entrada y Salida de Aceite (A.C.P.M)		3/4- 1/2
Entrada y Salida de Aceite (fuel-oil)		1- 3/4
Gás (100 BTU)		3"
Motor HP Ventilador		1/2
Bomba de Aceite N°2		1/3
Bomba de Aceite N°5		1/3
Bomba de Aceite N°6		1/3
Compresor		1 1/2
Libras de Vapor por hora a 212°f		5175
BTU – salida		5021
EDR – Rata Vapor		20920
EDR – Rata Vapor (9 Ff. – Net M.C.A.)		16738
Salida Agua (1000 BTU/Hr. Net M.C.A.)		4366
A.C.P.M G.P.H.		45
Peso Aprox. de Embarque		
Baja Presión		12840
Alta Presión		13490
Tiempo de Duración Encendido: De Lunes a Domingo		De 7 a.m. - 12 m y 2-4 p.m.

Fuente: Manual Calderas Continental.

- Factores de Emisión para la Caldera del Hospital Universitario San José:

Los factores de emisión seleccionados para los cálculos son los consignados en la Tabla 8. Se les determinó de acuerdo a la semejanza de las especificaciones técnicas de la información real de la Caldera del Hospital Universitario San José con las encontradas en el AP – 42 de la EPA.

Tabla 8. Factores de Emisión para contaminantes criterio para la combustión con petróleo.

Firing Configuration (SCC)	SO ₂		SO ₃		NO _x		CO		Filterable PM	
	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	Emission Factor Rating	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	Emission Factor Rating	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	Emission Factor Rating	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	Emission Factor Rating	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	Emission Factor Rating

No.4 oil fired, normal firing (1-01-005-04), (1-02-005-04),	150S	A	5,7S	C	47	B	5	A	7	B
--	------	---	------	---	----	---	---	---	---	---

Fuente: EPA, sección 1.3 del AP -42 Tabla 1.3-1

7.2.3. Productos Reina

Esta fábrica se encuentra ubicada en la Calle 5 No. 30 – 18 en el Barrio La Sombrilla, en donde se fabrican productos comestibles tales como: papas, chicharrones y plátanos fritos. Para la elaboración de estos productos se utiliza un sistema que consta de un fogón y una paila industrial de acero, cuyo tipo de combustible utilizado es el Carbón Industrial, (ver Figura 6).

Para la producción se utilizan aproximadamente 210 kilogramos diarios de carbón, con una intensidad de 6 días a la semana. El establecimiento cuenta con dos chimeneas para la conducción de vapor y material particulado, aunque ninguna cuenta con campana de conducción de gases. La altura de las chimeneas es: Chimenea 1: 5 metros y la Chimenea 2: 8 metros, con diámetros de 0.25 m cada una.

Con base en la información anterior, se procedió a realizar los cálculos de la estimación de las emisiones de Productos Reina, teniendo en cuenta que los factores de emisión registrados en el AP – 42 de la EPA, no se encuentran exactamente para los procesos que se llevan a cabo en Popayán, ya que Colombia y aun más el Cauca no tienen fábricas como las de países desarrollados o a gran escala, por lo cual los factores de emisión se deben analizar y seleccionar de acuerdo al que mejor se ajuste con las características reales.

para
de



Figura 6.
Fogón de carbón
la
producción
Productos
Reina

- Factores de Emisión para Productos Reina:

Luego de revisar los documentos del AP – 42 de la EPA y relacionarlos con el proceso y la magnitud de la producción, Productos Reina se ubicó dentro de la categoría de una fuente por combustión residencial de madera, que es definida por la EPA como madera que es quemada principalmente en las cocinas residenciales, y el tipo de fogón se considero como un *Woodstoves conventional*. Según la EPA este tipo de fuente podría ser una contribuyente significativa de polución, que dentro de los contaminantes emitidos incluye al PM, los COV, NO_x y CO.

En la tabla 9, aparecen los factores de emisión seleccionados para los cálculos de Productos Reina.

Tabla 9. Factores de Emisión para Combustión Residencial con Madera.

Process Description	Criteria Pollutant Emission Factors (lb / ton)				
	PM ₁₀	NO _x	CO	COV	SO _x
Residential Woodstoves – Convencional	30,6	2,8	230,8	53,0	0,4

Fuente: EPA, sección 2.4 del AP -42 Tabla 2.4-1

7.2.4 Café Alcázar

Se encuentra ubicada en la Calle 7 No. 1 – 82 en el barrio Santa Inés, el tipo de actividad de producción es el tostado, molido, empacado y comercialización de café. En esta fábrica se realiza el proceso de torrefacción de café, que es el proceso térmico por el cual el café verde durante un cierto tiempo sufre una serie de importantes cambios físicos y químicos.

El sistema cuenta con un tostador de capacidad de 60 kilos, el cual esta conectado posteriormente a un enfriador, y todo el sistema tiene una chimenea de una altura de aproximadamente 13 m y un diámetro de 0.4 m (Ver Figura 7). La combustión se realiza con aproximadamente 80 galones mensuales de A.C.P.M., que son utilizados por la tostadora por un periodo de 2 horas diarias de Lunes a Viernes.

Figura 7: Fotografías Café Alcázar.



(a) Tostadora de Café



(b) Chimenea de Café Alcázar

- Factores De Emisión para Café Alcázar:

De acuerdo al **AP – 42 de la EPA**, el proceso del café consiste esencialmente en la limpieza, tostado, secado, molienda, y empaquetado. Los tostadores operan por lotes o en modo continuo. En una torrefactora, el PM, los COV, los ácidos orgánicos, y los productos de combustión, son las principales emisiones a la atmósfera. Varios procesos son fuente de las emisiones de PM, incluso la limpieza, los equipos de tostado, refrigerado, y secado del café instantáneo.

Sin embargo, el tostador es la fuente principal de contaminantes gaseosos, incluso los alcoholes, los aldehídos, los ácidos orgánicos, el nitrógeno y los compuestos de azufre, además los tostadores típicamente emiten gases como el CO y el CO₂ como resultado de la combustión del combustible utilizado en el proceso. La descafeinación y el secado también pueden ser fuentes de COVs. En cambio, no se generan emisiones a la atmósfera por los procesos de molienda y empaquetado del café (EPA, 2001).

Al comparar las bases que el AP – 42 de la EPA tiene para determinar cual factor de emisión utilizar para la fuente en cuestión, según las actividades y controles que se tienen en el

proceso del café, solo se considerarán las emisiones del tostador, el cual no tiene ningún tipo de control de emisiones y funciona como un sistema por lotes.

Los Factores de emisión utilizados para los cálculos de emisiones se muestran a continuación:

Tabla 10. Factores de emisión para operación de tostado de café (COV, Metano, CO y CO₂).

Source	COV ^b , lb-ton	Methane, lb-ton	CO, lb-ton	CO ₂ , lb-ton
Batch roaster ^c (SCC 3-02-002-20)	0,86	ND	ND	180

Fuente: EPA, sección 9.13.2 del AP -42 Tabla 9.13.2-2.

7.2.5 Fabrica De Café La Palma Ltda. Hermanos Paredes Tobar

La fabrica esta ubicada en la Transversal 9 Vía al Bosque. Para la elaboración de café tostado y molido la palma, se realizan las siguientes etapas:

TORREFACION: El operario toma una muestra de 100 g de café verde y se dirige al laboratorio en donde muele la muestra y determina el grado de tosti3n del café. Prepara la bebida y realiza la evaluaci3n sensorial del café tostado. Esta prueba se realiza siete veces en el día.

Después el operario espera a que el cilindro de tosti3n alcance una temperatura promedio de 200 grados centígrados, deposita 60 kilos de café verde según su calidad, al elevador uno (1), el cual lo traslada por medio de succi3n a la tolva de cargue de la tostadora, donde se llena con los 60 kilos que resultan tostados después de un tiempo oscilante entre 14 a 17 minutos, con un porcentaje de reducci3n del 20% en peso.

Posteriormente el operario abre la escotilla de vaciado del cilindro verifica que no haya quedado café tostado en él y cierra la escotilla de vaciado de la tostadora.

El café tostado cae sobre el enfriador donde, dependiendo de la calidad del café, este se enfría aproximadamente entre 10 a 12 minutos si la calidad de café es pasilla y/o excelso se deposita en los tarros herméticos con tapa de almacenamiento y si son consumidos durante el proceso de enfriamiento se le adicionan las pasillas y excelsos requeridos según la mezcla a realizar, después de 12 minutos es vaciado al elevador dos (2) el cual transporta el café mezclado a la tolva de molienda, en donde reposa y se desgasifica para ser molido al día siguiente.

El tipo de combustible utilizado en el proceso es el ACPM en una cantidad de aproximadamente 168 galones por mes, (puesto que se tuestan 6 días en el mes y se consumen de 26 a 30 galones por día). La chimenea, la cual se muestra en Figura 10, tiene una altura aproximada de 15 m y un diámetro de 8 pulgadas (aproximadamente 0.20 m).

MOLIENDA: El operario verifica que el molino este libre de impurezas para garantizar el buen funcionamiento de la máquina y evitar la contaminación del café. Después abre la escotilla de la tolva y prende el molino. La molienda del producto es media, equivalente a 0.5 mm no mayor a 0.8 mm para un tiempo de preparación (contacto agua / café) entre 4 a 6 minutos.

Una vez encendido el molino el operario ajusta los discos y poco a poco abre la escotilla de la tolva de tostado.

En el transcurso del proceso se verifica continuamente la granulometría, que no se calienten los discos, ni el café, esta actividad se realiza con el fin de garantizar el grado de molienda.

EMPACADO: La maquina empacadora procede después de programar el secuenciador y realizar en la maquina los ajustes necesarios dependiendo la presentación a empacar.

El empaque es laminado o metalizado que garantiza la conservación y frescura del café tradicional; para café Gourmet, el empaque es DOY PACK también laminado con válvula desgasificadora. Después de que la máquina empaca la presentación requerida se organizan en canastillas plásticas sobre tarimas de madera las unidades de café debidamente registradas por lotes teniendo en cuenta las fechas de vencimiento garantizando de esta manera la rotación del producto antes de ser embalado para salir al mercado.

- Factores de emisión para Café La Palma:

Al comparar la información que el AP – 42 de la EPA tiene para determinar cual factor de emisión a utilizar para este tipo de fuente, según los procesos y controles que se tienen en la elaboración del café, solo se consideraron las emisiones del tostador, ya que en esta fabrica sólo se efectúa el proceso de tostado, el cual no tiene ningún tipo de control de emisiones y funciona como un sistema por lotes. Por lo cual se toman los mismos factores de emisión que para Café Alcázar, consignados en la tabla 10.

Figura 8. Chimenea de Café La Palma

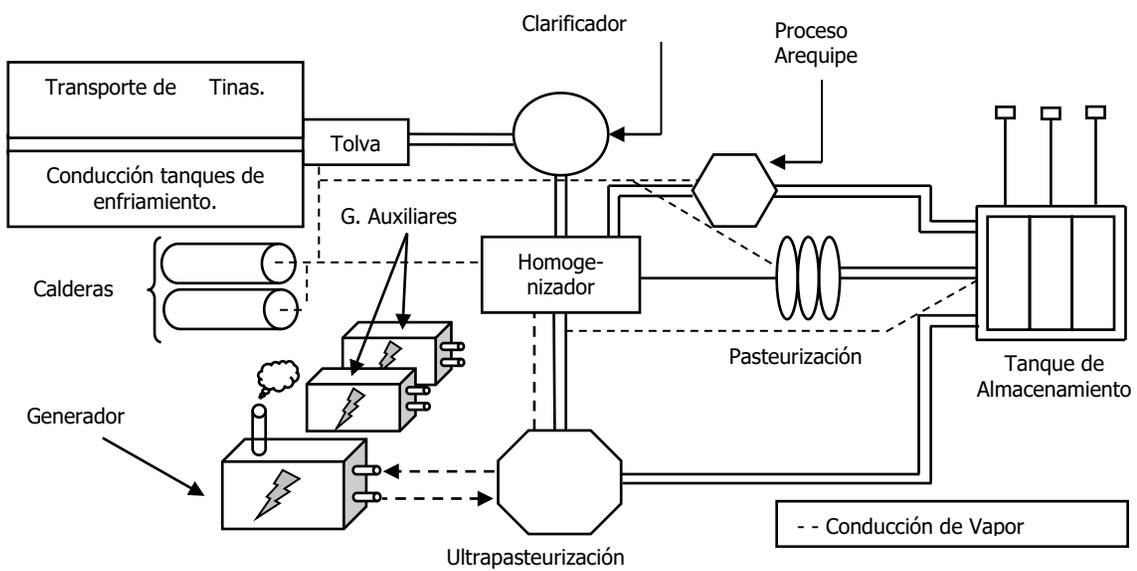


7.2.6. Friesland Colombia S.A.

Esta ubicada en el Puente Viejo del Cauca, esta fábrica se dedica a la producción y comercialización de productos lácteos. La empresa tiene un área aproximada de 3000 m², de los cuales el 85% son usados para la transformación de la leche y el 15% se destina para la parte administrativa y la zona para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Para el proceso la industria usa un pasteurizador y un ultrapasteurizador, el sistema emisor consta de 2 calderas automáticas que suministran vapor de agua a los procesos de producción, las cuales utilizan G.L.P. (Gas Licuado de Petróleo), con una demanda aproximada de 13500 galones mensuales, también cuenta con dos plantas generadoras de energía que demandan 300 galones mensuales cada una, y una tercera planta que funciona 14 horas diarias durante 6 días a la semana que utiliza 22000 galones por mes, y finalmente se tienen 4 chimeneas con una altura promedio de 15 m y de 0.5 m de diámetro para las tres primeras y 0.47 m para la tercera planta. Todo el proceso anteriormente descrito se muestra gráficamente en la Figura 9.

Figura 9: Proceso de Friesland Colombia S.A.



Fuente: Manual de procesos Friesland Colombia S.A.

- Factores De Emisión para Friesland de Colombia S.A.:

Como el proceso que emite contaminantes a la atmósfera de esta fábrica es la combustión en las calderas y las plantas generadoras de energía, la metodología a utilizar será para las calderas (boilers) con tipo de combustible GLP., cuyos factores de emisión se encuentran registrados en la tabla 11.

En esta sección del AP – 42 de la EPA se tiene que el gas licuado de petróleo (GLP) consiste en una mezcla de propano y el butano; el producto usado para la calefacción doméstica está principalmente compuesto de propano. Este gas, se obtiene principalmente de los pozos de gas, se guarda como un líquido bajo moderadas presiones.

Hay tres calidades de GLP. disponible como los combustibles caloríficos: el propano de calidad comercial, propano de calidad como combustible para aparatos (también conocido como el propano de HD-5), y butano de calidad comercial. El propano también se usa como un combustible de motores, como una alternativa a la gasolina. El GLP. es considerado un combustible limpio porque no produce emisiones visibles. Sin embargo, se tienen contaminantes gaseosos como los NO_x, CO y los compuestos orgánicos, también se producen pequeñas cantidades de SO₂ y de PM.

Tabla 11. Factores De Emisión Para Combustión Con GLP.

Pollutant	Propane Emission Factor (lb/10 ³ gal)
	Industrial Boilers (SCC 1-02-010-02)
PM	0,6
SO ₂	0,10S
NO _x	19
N ₂ O	0,9
CO ₂	12,500
CO	3,2
TOC	0,5
CH ₄	0,2

Fuente: EPA, sección 1.5 del AP -42 Tabla 1.5-1.

7.2.7 Velas El Sol

Se encuentra ubicada en la Calle 5 No. 41^a – 19, la fábrica de velas posee un sistema que tiene un quemador que funciona con aproximadamente 210 galones mensuales de A.C.P.M. y, además cuenta con una maquina para la parafina y maquinas modeladoras. La fábrica posee dos calderas que están hechas en lámina incrustada en una base de cemento, se

utiliza un quemador el cual funciona con A.C.P.M (Ver Figura 10, a). La caldera de tipo B es utilizada solo para colores en temporadas altas. Esta caldera esta hecha en lamina y funciona con gas.

El sistema esta conectado a una chimenea de altura de 15 m y 0.19 m de diámetro (Ver Figura 10, b).

Figura 10: Fotografías de Velas el Sol.



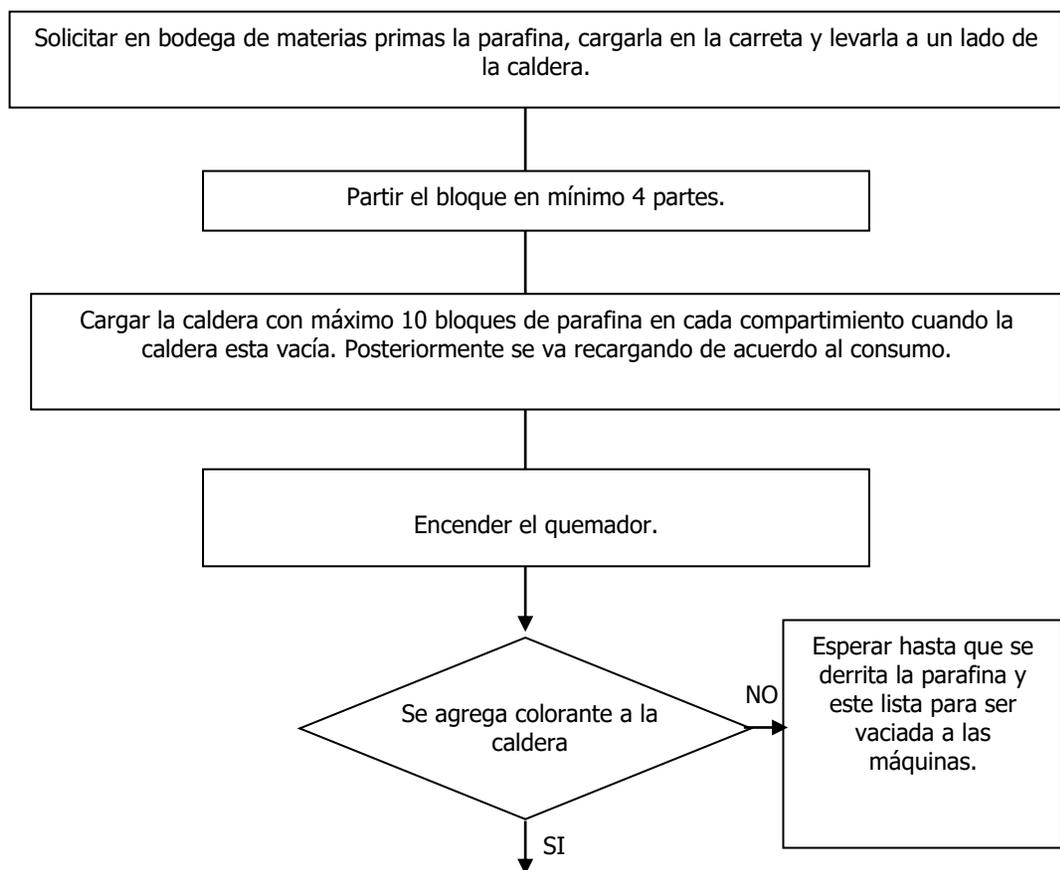
(a). Caldera



(b). Chimenea de Velas el Sol

El procedimiento que se realiza para la elaboración de Velas y Veladoras, se observa gráficamente en la Figura 11.

Figura 11: Procedimiento para la fabricación de velas y veladoras. Velas El Sol.



Fuente: Informe sobre el proceso de fabricación Velas el Sol.

- Factores de Emisión para Velas El Sol:

Al observar y analizar el proceso de la elaboración de velas, se tiene que el principal o único procedimiento que emite contaminantes a la atmósfera es la caldera que funciona con dicho quemador, por tanto para esta fuente se utilizara la metodología del AP – 42 de la EPA para calderas con tipo de combustible A.C.P.M. Cuyos factores de emisiones se encuentran registrados en la tabla 12.

Tabla 12. Factores de Emisión de Contaminantes Criterio para Combustión con ACPM.

Firing Configuration (SCC) ^a	SO ₂ ^b		SO ₂ ^c		NO _x ^d		CO ^a		Filterable PM ^f	
	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING
No.2 oil fired (1-01-005-01), (1-02-005-01), (1-03-005-01).	157S	A	5,7S	C	24	D	5	A	2	A

Fuente: EPA, sección 1.3 del AP -42 Tabla 1.3 -1.

De acuerdo a la información presentada anteriormente, en la tabla 13 se muestran los datos resumen para la estimación de emisiones de cada una de las Fuentes Puntuales incluidas en el presente estudio.

Tabla 13. Resumen de Datos para Fuentes Puntuales.

EMPRESA	TIPO COMBUSTIBLE	CONSUMO COMBUSTIBLE	DENSIDAD COMBUSTIBLE (Kg/L)	ALTURA CHIMENEA (m)	DIAMETRO CHIMENEA (m)
Incinerador Hospital Universitario San José	A.C.P.M	70 gal/mes	0.840 ^a	18	0.38

Caldera Hospital Universitario San José	A.C.P.M	130 gal/día	0.840	19	0.40
Productos Reina	Carbón Industrial	210 kilos/día	-	8 y 5	0.25
Café Alcázar	A.C.P.M	80 gal/mes	0.840	13	0.40
Café La Palma	ACPM	168 gal/mes	0.840	15	0.20
Velas el Sol del Cauca	A.C.P.M	210 gal/mes	0.840	15	0.19
Friesland Colombia S. A.	G.L.P	2 calderas: 13500 gal /mes	-	15	0.5
		Plantas 1 y 2: 600 gal/mes			0.5
		Planta 3: 22000 gal/mes			0.47

^a portal.ecopetrol.com.co

7.3 CALCULOS Y RESULTADOS DE LAS EMISIONES DE FUENTES PUNTUALES

Con los datos de la tabla 13, se realizaron los cálculos para estimar las emisiones de cada fuente puntual.

Primero se determinó el Parámetro de Actividad (masa de combustible utilizado/ unidad de tiempo), el cual para que quedara en unidades consistentes con el factor de emisión, se emplearon los factores de conversión adecuados.

Posteriormente aplicando la ecuación 2, se determinaron las estimaciones de las emisiones de cada fuente, obteniéndose las emisiones en Lb /mes.

$$\text{EMISIONES (E)} = \text{Factor de Emisión} * \text{Parámetro de Actividad} = F * PA \quad (\text{Ec. 2})$$

7.3.1 Estimación de emisiones para la Caldera del Hospital Universitario San José. (Se muestra el cálculo tipo, el cual se refiere a un único calculo que muestra como se realizan las operaciones matemáticas para obtener los resultados de todas estimaciones de emisiones, que se registran en las tablas de resultados).

$$PA = \frac{130 \text{ gal}}{\text{dia}} * \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} = 3900 \text{ gal} / \text{mes}$$

$$E_{SO_2} = \frac{150 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * 0.45 * \frac{3900 \text{ gal}}{\text{mes}} = 263.25 \text{ lb} / \text{mes}$$

De donde 0.45 corresponde al porcentaje de azufre del combustible.

Tabla 14. Resultados de la estimación de las emisiones de Caldera del Hospital Universitario San José.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
SO ₂	263.25
SO ₃	10
NO _x	183.3
CO	19.5
PM filtrable	27.3

7.3.2 Estimación de emisiones para el Incinerador del Hospital Universitario San José (Calculo tipo).

$$PA = \frac{70 \text{ gal}}{\text{mes}} * \frac{3.785L}{1\text{gal}} * \frac{0.84\text{kg}}{L} * \frac{1\text{ton}}{1000\text{kg}} = 0.22 \text{ ton/mes}$$

$$E_{PM_{total}} = 4.67 \frac{\text{lb}}{\text{ton}} * 0.22 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} = 1.03 \text{ lb/mes}$$

Tabla 15. Resultados de la estimación de las emisiones del Incinerador del Hospital Universitario San José.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
PM _{total}	1.03
NO _x	0.78
CO	0.65
SO ₂	0.58

7.3.3 Estimación de emisiones para Productos Reina (Calculo tipo).

$$PA = \frac{210\text{kg}}{\text{dia}} * \frac{6\text{días}}{1\text{semana}} * \frac{4\text{semanas}}{1\text{mes}} * \frac{1\text{ton}}{1000\text{kg}} = 5.04 \text{ ton/mes}$$

$$E_{PM_{10}} = 30.6 \frac{\text{lb}}{\text{ton}} * 5.04 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} = 154.22 \text{ lb/mes}$$

Tabla 16. Resultados de la estimación de las Emisiones de Productos Reina.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
PM ₁₀	154.22
NO _x	14.11
CO	1163.23
COV	267.12
SO _x	2.02

7.3.4 Estimación de emisiones para Café Alcázar (Calculo tipo).

$$PA = \frac{20 \text{ gal}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} * \frac{3.785 \text{ L}}{1 \text{ Gal}} * \frac{0.84 \text{ kg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 0.25 \text{ ton/mes}$$

$$E_{PM_{\text{filtrable}}} = 0.86 \frac{\text{lb}}{\text{ton}} * 0.25 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} = 0.22 \text{ lb/mes}$$

Tabla 17. Resultados de la estimación de las emisiones de Café Alcázar.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
COV	0.22
CO ₂	45

7.3.5 Estimación de emisiones para Café La Palma (Calculo tipo).

$$PA = \frac{168 \text{ gal}}{\text{mes}} * \frac{3.785 \text{ L}}{1 \text{ gal}} * \frac{0.84 \text{ kg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 0.53 \text{ ton/mes}$$

$$E_{PM_{\text{filtrable}}} = 0.86 \frac{\text{lb}}{\text{ton}} * 0.53 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} = 0.46 \text{ lb/mes}$$

Tabla 18. Resultados de la estimación de las emisiones de Café La Palma.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
COV	0.46
CO ₂	95.40

7.3.6 Estimación de emisiones para Velas El Sol (Calculo tipo).

$$PA = \frac{210 \text{ gal}}{\text{mes}}$$

$$E_{SO_2} = \frac{157 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * 0.45 * \frac{210 \text{ gal}}{\text{mes}} = 14.84 \text{ lb/mes}$$

Donde 0.45 corresponde al porcentaje de azufre del combustible

Tabla 19. Resultados de la estimación de las emisiones de Velas el Sol.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
PM filtrable	0.42
CO	1.05
NO _x	5.04
SO ₂	14.84
SO ₃	5.39

7.3.7 Estimación de emisiones para las dos calderas de Friesland (Calculo tipo).

$$E_{PM} = \frac{0.6 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * \frac{13500 \text{ gal}}{\text{mes}} = 8.1 \text{ lb/mes}$$

$$E_{SO_2} = \frac{0.10 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * 0.015 * \frac{13500 \text{ gal}}{\text{mes}} = 0.020 \text{ lb/mes}$$

Tabla 20. Resultados de la estimación de las emisiones de las dos Calderas de Friesland Colombia S.A.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
PM	8.10
SO ₂	0.02
NO _x	256.50
N ₂ O	12.15
CO ₂	168.750
CO	43.20
CH ₄	2.70
TOC	6.75

- Estimación de emisiones para las Plantas Generadoras de Energía de Friesland Colombia S.A. (Calculo tipo).

$$E_{PM} = \frac{0.6 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * \frac{600 \text{ gal}}{\text{mes}} = 0.36 \text{ lb/mes}$$

$$E_{SO_2} = \frac{0.10 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * 0.015 * \frac{600 \text{ gal}}{\text{mes}} = 0.009 \text{ lb/mes}$$

Tabla 21. Resultados de la estimación de las emisiones de las dos Plantas Generadoras de Energía de Friesland Colombia S.A.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
PM	0.36
SO ₂	0.009
NO _x	11.40
N ₂ O	0.54
CO ₂	27.500
CO	1.92
CH ₄	0.12
TOC	0.30

- Estimación de emisiones para la planta generadora de energía de Friesland Colombia S.A. (Calculo tipo).

$$E_{PM} = \frac{0.6 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * \frac{22000 \text{ gal}}{\text{mes}} = 13.2 \text{ lb/mes}$$

$$E_{SO_2} = \frac{0.10 \text{ lb}}{1000 \text{ gal}} * 0.015 * \frac{22000 \text{ gal}}{\text{mes}} = 0.033 \text{ lb/mes}$$

Tabla 22. Resultados de la estimación de las emisiones de la planta generadora de Friesland Colombia S.A.

TIPO DE CONTAMINANTE EMITIDO	CANTIDAD (lb/Mes)
PM	13.20
SO ₂	0.033
NO _x	4.18
N ₂ O	19.80
CO ₂	275.000
CO	70.40
CH ₄	4.40
TOC	11.00

7.4 APLICACIÓN MODELO DE DISPERSION GAUSSIANA

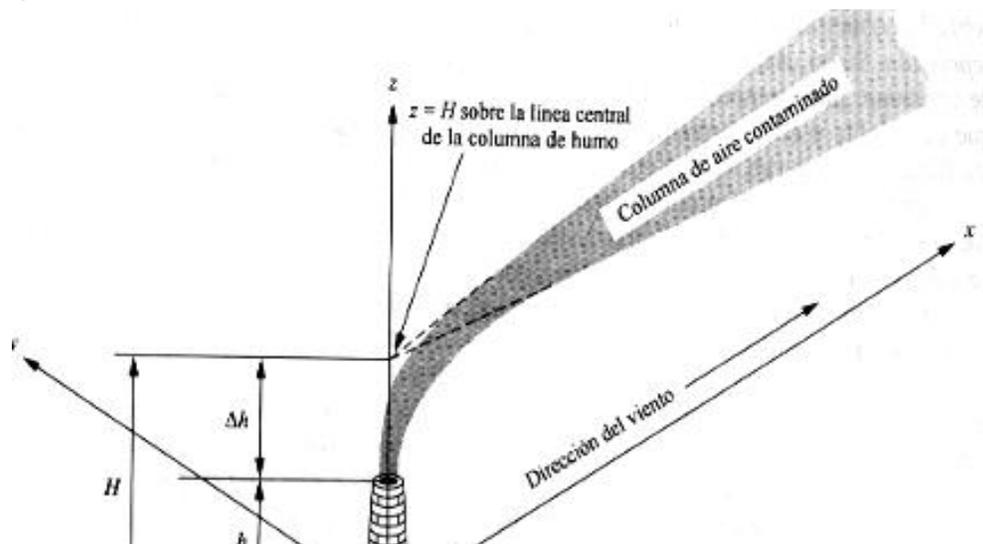
7.4.1 Metodología

Debido a la alta variedad de modelos existentes, para este estudio se seleccionó el Modelo de Dispersión Gaussiano por ser el que tiene en cuenta el mayor número de variables, el cual se aplicó mediante una hoja de cálculo en Excel de elaboración propia.

En la idea Gaussiana de la columna de humo, que también es un modelo de balance de materiales, se considera una fuente puntual, como la chimenea de una fabrica (que en realidad no es un punto, sino un área pequeña que se puede considerar satisfactoriamente como si fuera un punto), y se intenta calcular la concentración en la dirección del viento que resulta de la misma (Nevers, 1998).

A continuación se encuentran las formulas y variables en que se basa el modelo de dispersión Gaussiano que se utilizó para determinar la dispersión de los contaminantes de la fuentes puntuales en Popayán.

Figura 12: Sistema de Coordenadas y Nomenclatura para la Idea Gaussiana de la Columna de Humo.



Fuente: Ingeniería de Control de la Contaminación del aire (Nevers, 1998).

➤ **Descripción del modelo:** El fundamento para el modelo de Pasquill-Gifford es una dispersión gaussiana en los ejes horizontal y vertical. La fórmula normalizada para la dispersión de una fuente puntual elevada es:

Ecuación de la columna de humo Gaussiana:

$$c = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (Ec. 3)$$

Siendo,

c = Concentración en el punto x, y, z (kg/m³)

Q = Intensidad de la emisión (kg/s)

H = Altura de la fuente emisora sobre el nivel del suelo más la elevación del penacho (m).

σ_y, σ_z = Coeficientes de dispersión (m).

u = Velocidad del viento (m/s).

➤ **Estimación de la elevación del penacho:** La elevación del penacho (Δh) se define como la diferencia entre la altura de la línea central final del penacho y la altura inicial de la fuente. Esta elevación está originada por la fuerza ascensional y el impulso vertical del efluente. Como regla general la elevación del penacho es directamente proporcional al contenido calorífico del efluente y a la velocidad de salida del mismo, e inversamente proporcional a la velocidad local del viento.

Una de las fórmulas más empleadas para el cálculo de esta elevación es la de Holland:

$$\Delta h = \frac{V_s * d}{u} \left(1.5 + 2.68 * 10^{-3} * P * \left(\frac{T_s - T_A}{T_s} \right) * d \right) \quad (Ec. 4)$$

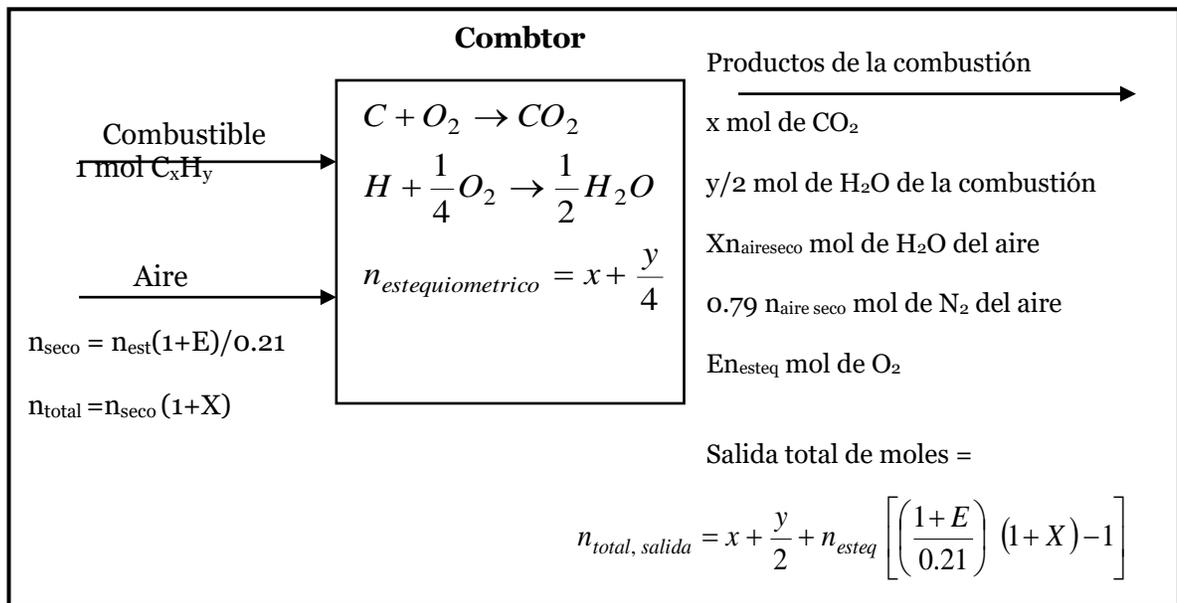
Siendo:

Δh = Elevación del penacho por encima de la fuente emisora (m)

V_s = Velocidad de salida de la chimenea (m/s)
 d = Diámetro interior del conducto de emisión (m)
 u_z = Velocidad del viento a la altura de la fuente emisora (m/s)
 P = Presión atmosférica (mbar)
 T_s = Temperatura del contaminante (K)
 T_a = Temperatura ambiente atmosférica (K)
 $2,68 \cdot 10^{-3}$ es una constante expresada en $\text{mbar}^{-1} \text{m}^{-1}$

Como para calcular la altura de la columna de humo se debe tener el valor de V_s que es la Velocidad de salida del contaminante de la chimenea (m/s) y puesto que no se tiene registros de estos valores para cada chimenea de cada fábrica, estos valores se calcularon por medio de la estequiometría, partiendo del análisis de la figura 13.

Figura 13: Ilustración del proceso para calcular el volumen y la composición del gas que proviene de la combustión de un hidrocarburo simple, C_xH_y . Si se supone combustión completa con aire en exceso.



Fuente: Ingeniería de Control de la Contaminación del aire (Nevers, 1998).

Inicialmente se tiene que la mayor parte de las corrientes de gases a estudiar en la contaminación del aire son los que resultan de la combustión, en este caso generada por un combustible (C_xH_y). Para todos estos combustibles, si la alimentación al combustor ilustrado en la Figura 13 es 1 mol, y si se supone que la combustión es completa, la necesidad de oxígeno estequiométrico es:

$$n_{oxigeno\ estequimetrico} = n_{esteq} = \left(x + \frac{y}{4} \right) \text{ (Ec. 5)}$$

Por lo cual, el flujo de aire seco hacia el quemador es:

$$n_{\text{seco}} = n_{\text{esteq}} \left(\frac{1+E}{0.21} \right) \quad (\text{Ec. } 6)$$

Siendo:

E = fracción de aire en exceso requerida para la combustión completa.
0.21 la fracción de oxígeno que tiene el aire (21% O₂).

Luego, la cantidad total de aire introducida es:

$$n_{\text{total}} = n_{\text{seco}} (1+X) = n_{\text{esteq}} \left(\frac{1+E}{0.21} \right) (1+X) \quad (\text{Ec. } 7)$$

De donde: X es la humedad, expresada como (mol H₂O/mol de aire seco).

$$X = \frac{HR * P_{\text{agua}}}{P} \quad (\text{Ec. } 8)$$

De donde:

HR = humedad relativa de Popayán
P_{agua} = presión de vapor del agua
P = presión atmosférica de Popayán

Si se suman todos los flujos que salen y se cancelan términos semejantes, se encuentra que:

$$n_{\text{total, salida}} = x + \frac{y}{2} + n_{\text{esteq}} \left[\left(\frac{1+E}{0.21} \right) (1+X) - 1 \right] \quad (\text{Ec. } 9)$$

De otro lado, se tiene que:

$$PV = n_{\text{total, salida}} RT_s \Rightarrow V = \frac{n_{\text{total, salida}} RT_s}{P} \quad (\text{Ec. } 10)$$

De donde:

V = volumen total de aire de salida (L)
R = constante de los gases = 0.082 atm*L/mol*K
T_s = temperatura a la salida de la chimenea (K)
P = presión atmosférica de Popayán (atm)

Además,

$$Q_s = \frac{V}{t}, \text{ de donde } t = \text{ tiempo de duración de la cantidad de combustible.}$$

Finalmente se tiene que:

$$V_s = \frac{Q_s}{A}, \text{ (Ec.11) conociendo que } A = \frac{\pi * \phi^2}{4} \text{ (Ec.12)}$$

De donde: A, es el área que atraviesa el flujo de aire de la chimenea, y ϕ , es el diámetro de la chimenea.

➤ **Factores que influyen en la dispersión del penacho:** Las condiciones meteorológicas y la duración del escape tiene una gran importancia en el alcance de la dispersión del penacho.

Los factores principales son: la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica.

La estabilidad atmosférica viene definida en función del gradiente vertical de temperatura de las capas del aire. Por lo cual, para este caso se utilizó la clasificación por categorías de la estabilidad atmosférica dada por Turner, la cual considera sólo la radiación solar entrante y la velocidad del viento. (Ver tabla 23)

Tabla 23. Clave para las categorías de estabilidad.

Velocidad superficial del viento (a 10m), m/s	DIA			NOCHE	
	FUERTE	MODERADA	LIGERA	NUBOSIDAD ≥ 4/8	NUBOSIDAD ≤ 3/8
0 - 2	A	A-B	B	-	-
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 4	B	B - C	C	D	E
4 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: Ingeniería de Control de la Contaminación del aire (Nevers, 1998).

La velocidad del viento se mide a 10 metros de altura. Esta velocidad, a niveles más bajos de 10 metros, se ve reducida notablemente debido a los efectos de rozamiento. Para niveles distintos de este valor, la velocidad del viento debe corregirse según la relación:

$$u_z = u_{10} \left(\frac{H}{10} \right)^p \text{ (Ec. 13)}$$

Siendo:

u_z = Velocidad del viento a la altura de la fuente emisora (m/s)

u_{10} = Velocidad del viento a la altura de 10 m (m/s)

H = Altura de la fuente emisora (m)
 ρ = Coeficiente exponencial

Los valores de ρ son función de la estabilidad atmosférica y la rugosidad del suelo. Los cuales se encuentran consignados en la tabla 24.

Tabla 24. Coeficientes de Corrección de la Velocidad del Viento.

ESTABILIDAD	URBANO	RURAL
A	0.15	0.07
B	0.15	0.07
C	0.2	0.1
D	0.25	0.15
E	0.4	0.35
F	0.6	0.55

Fuente: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas (Sierra, online).

➤ **Coeficientes de dispersión:** Los parámetros σ_y y σ_z son las desviaciones tipo en las direcciones lateral y vertical respectivamente, que representan una medida de la dispersión del penacho en dichas direcciones. Tales parámetros son función de la distancia a la fuente emisora viento abajo y de la categoría de estabilidad atmosférica. Estos coeficientes se suelen presentar en forma gráfica o pueden calcularse según fórmulas empíricas, para este caso como se van a realizar los cálculos en el computador se utilizarán las fórmulas de Martín (Nevers, 1998), representadas por:

$$\sigma_y = ax^{0.894} \quad (\text{Ec.14}) \quad y \quad \sigma_z = cx^d + f \quad (\text{Ec.15})$$

En donde x es la distancia en la dirección del viento, expresada en kilómetros; los coeficientes de dispersión están en metros, y a, c, d y f son constantes que se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 25. Constantes para determinar los coeficientes de dispersión.

CATEGORIA ESTABILIDAD	X ≤ 1 Km				X ≥ 1 Km		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2
C	104	61	0.911	0	61	0.911	0

D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34
F	34	14.35	0.74	-0.35	62.6	0.18	-48.6

Fuente: Ingeniería de Control de la Contaminación del aire (Nevers, 1998).

7.4.2 Cálculos y Resultados de la Dispersión de los Contaminantes para cada Fuente Puntual.

Calculo Tipo de las velocidades de salida de los contaminantes de las chimeneas de fuentes fijas, de acuerdo a cada tipo de combustible:

➤ **Friesland Colombia S.A., tipo de combustible: GLP (Propano C₃H₈).**

$E = 0.15$ (Torres, 2003).

De la fórmula química del combustibles se tiene que **$x=3, y=8$**

Entonces;

$$n_{esteq} = \left(x + \frac{y}{4} \right) = 3 + \frac{8}{4} = 5$$

$$n_{total, salida} = x + \frac{y}{2} + n_{esteq} \left[\left(\frac{1+E}{0.21} \right) (1+X) - 1 \right] = 3 + 4 + 5 \left[\left(\frac{1.15}{0.21} \right) (1+0.020) - 1 \right] = 29.929 mol$$

De donde: X es la humedad, expresada como (mol H₂O/mol de aire seco).

$$X = \frac{0.75 * 23.37}{824.70} = 0.02$$

De donde:

HR = 0.75 humedad relativa promedio de Popayán

$P_{agua} = 16.45 \text{ mm Hg} = 23.37 \text{ mb}$ (ecuación de Antonie, T = 20°C)

$P = 824.7 \text{ mb} = 0.814 \text{ atm}$

Y como $n_{total, salida} = 29.929 mol$ para 1 mol de combustible, pero como las moles de combustible que entran en un mes son:

Calculo para las dos calderas.

Como $n_{C_3H_8} = m/PM$, de donde m es la masa del combustible para un mes (consumo: 13500Gal/mes) y PM el peso molecular el propano o GLP (44 g /mol), por tanto:

$$n_{C_3H_8} = 42921900 \text{ g} / (44 \text{ g/mol}) = 975497.727 \text{ mol},$$

Por tanto $n_{total, salida} = 29195671.471 \text{ mol}$ en este caso.

Además, se asume el valor de $T_s = 150^\circ\text{C} = 423 \text{ k}$ como temperatura de salida de las chimeneas para Friesland Colombia, teniendo en cuenta que la temperatura típica para una chimenea suele estar entre 140°C y 150°C . (Aplicaciones del software DISPER de Canarina para simular los procesos de contaminación y de impacto ambiental, online).

De otro lado, se tiene que:

$$V = \frac{29195671.471 * 0.082 * 423}{0.814} = 1244079927.080 \text{ L}$$

De donde:

$V =$ volumen total de aire de salida

$R = 0.082 \text{ atm*L/mol*K}$

$T_s = 423 \text{ k}$

Además,

$$Q_s = \frac{1244079927.080 \text{ L}}{2592000 \text{ s}} = 0.480 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ de donde } t = 1 \text{ mes} = 2592000 \text{ s}.$$

Finalmente se tiene que:

$$V_s = \frac{0.480}{0.196} \text{ m/s} = 2.449 \text{ m/s}, \text{ conociendo que } A = \frac{\pi * 0.5^2}{4} = 0.196 \text{ m}^2$$

➤ **Café La Palma, Tipo de combustible: ACPM (C₁₂H₂₆).**

$E = 0.20$ (Torres, 2003). Y de la formula química del combustible se tiene que **$x=12$, $y=26$**

Y como:

$$n_{esteq} = \left(x + \frac{y}{4} \right) = 12 + \frac{26}{4} = 18.5$$

$$n_{total, salida} = 12 + 13 + 18.5 \left[\left(\frac{1.20}{0.21} \right) (1 + 0.020) - 1 \right] = 114.329 \text{ mol}$$

De donde: $X = 0.020$

Y como $n_{total, salida} = 114.329 mol$ para 1 mol de combustibles, pero como las moles de combustible que entran en un mes son:

$n_{C_{12}H_{26}} = m/PM$, de donde m es la masa del combustible para un mes y PM el peso molecular del ACPM.

$$n_{C_3H_8} = 534139.2 \text{ g} / (170 \text{ g/mol}) = 3141.995 \text{ mol},$$

Por tanto $n_{total, salida} = 359221.146 mol$ en este caso.

De otro lado, se tiene que:

$$V = \frac{359221.146 * 0.082 * 423}{0.814} = 15307057.35 L$$

De donde:

$$\begin{aligned} V &= \text{volumen total de aire de salida} \\ R &= 0.082 \text{ atm*L/mol*K} \\ T_s &= 150 \text{ °C} = 423 \text{ K} \end{aligned}$$

Además,

$$Q_s = \frac{15307057.35 L}{2592000 s} = 5.906 * 10^{-3} m^3/s, \text{ de donde } t = 1 \text{ mes} = 2592000 \text{ s}.$$

Finalmente se tiene que:

$$V_s = \frac{5.906 * 10^{-3}}{0.031} m/s = 0.190 m/s, \text{ conociendo que } A = \frac{\pi * 0.2^2}{4} = 0.031 m^2$$

➤ **Productos Reina. Tipo de combustible: carbón.**

E = 0.20 y se tiene que la composición de este combustible es 60% de Carbón, 12% de hidrogeno y 0.4% de azufre y otros componentes como ceniza (Torres, 2003).

Por lo cual en lugar de elegir un mol de alimentación se eligen 100 g de carbón seco (Nevers, 1998). Entonces:

$$\begin{aligned} n_C &= 60/12 = 5 \\ n_{H_2} &= 12/2 = 6 \\ n_S &= 0.4/32 = 0.013 \end{aligned}$$

Entonces por inspección, se puede ver que las moles de CO₂, H₂O y SO₂ formados por la combustión son 5, 6 y 0.013, respectivamente. Teniéndose que los moles de oxígeno necesarios para la combustión son los que se necesitan para oxidar el C, H y S. En este caso:

$$n_{esteq} = n_C + \frac{n_H}{4} + n_S = 5 + 3 + 0.013 = 8 \frac{0.013 \text{ mol}}{100 \text{ g de carbon seco}}$$

$$n_{total, salida} = n_C + \frac{n_H}{2} + n_S + n_{esteq} \left[\left(\frac{1+E}{0.21} \right) (1+X) - 1 \right]$$

$$n_{total, salida} = 5 + 6 + 0.013 + 8.013 \left[\left(\frac{1.20}{0.21} \right) (1 + 0.020) - 1 \right] = \frac{49.704 \text{ mol}}{100 \text{ g de carbon seco}}$$

Pero como los gramos de carbón que entran en un mes en este combustor son 5040000 g por mes:

Por tanto $n_{total, salida} = \frac{49.704 \text{ mol}}{100 \text{ g de carbon seco}} * 5040000 \text{ g carbon seco} = 2505081.6 \text{ mol}$ en este caso.

De otro lado, se tiene que:

$$V = \frac{2505081.6 \text{ mol} * 0.082 * 393}{0.814} = 99175380.395 \text{ L}$$

De donde:

$$V = \text{volumen total de aire de salida}$$

$$R = 0.082 \text{ atm*L/mol*K}$$

Se asume el valor de T_s = 120°C = 393 k como temperatura de salida de las chimeneas para Productos Reina, teniendo en cuenta que la temperatura típica para una chimenea suele estar entre 140 °C y 150 °C, y además que la chimenea de esta fábrica no tiene campana de conducción por lo cual se pierde temperatura (Aplicaciones del software DISPER de Canarina para simular los procesos de contaminación y de impacto ambiental, online).

Además,

$$Q_s = \frac{99175380.395 \text{ L}}{2592000 \text{ s}} = 0.038 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, \text{ de donde } t = 1 \text{ mes} = 2592000 \text{ s.}$$

Finalmente se tiene que:

$$V_s = \frac{0.038}{0.049} m/s = 0.776 m/s, \text{ conociendo que } A = \frac{\pi * 0.25^2}{4} = 0.049 m^2$$

La tabla 26, corresponde a los datos resumen que se emplearan para el cálculo de la dispersión.

Tabla 26. Datos para el Cálculo de inmisiones por Fuentes Puntuales – aplicación Método de Dispersión Gaussiana.

FUENTE	TEMPERATURA DE SALIDA ^a (K)	VELOCIDAD DE SALIDA (m/s)	VELOCIDAD VIENTO ^b (m/s)	ALTURA COLUMNA DE HUMO (m)	ALTURA EFECTIVA CHIMENEA (m)
Incinerador Hospital Universitario San José	423 K	1.088	1.6	0.009	18.009
Caldera Hospital Universitario San José	423 K	0.022	1.7	0.463	19.463
Productos Reina	393 K	0.776	1.5	0.219	8.219
Café Alcázar	423 K	0.022	1.6	0.010	13.010
Café La Palma	423 K	0.190	1.6	0.039	15.039
Velas el Sol del Cauca	423 K	0.264	1.6	0.051	15.051
Friesland Colombia S. A.	423 K	2 calderas: 2.449 Plantas 1 y 2: 0.107 Planta 3: 4.520	1.6	0.062	15.062

^a Aplicaciones del software DISPER de Canarina para simular los procesos de contaminación y de impacto ambiental, online.

^b Velocidad del viento a la altura física de la chimenea

Los datos de Presión Atmosférica (824.7 mb), temperatura (20°C), velocidad del viento (a 10 m con dirección Este de 1.5 m/s) de Popayán, se ingresaron a la hoja de cálculo de elaboración propia (donde se calcula la dispersión Gaussiana basada en la teoría y formulas anteriormente descritas), junto con los valores de los diámetros y alturas físicas de la Tabla 13, los valores de emisión (Qi) de las Tablas 14 a 22 y los valores de temperatura, velocidad de salida y velocidad del viento de la Tabla 26, en cuanto a los valores de altura de columna de humo y altura efectiva de la chimenea se determinan en la misma hoja de calculo.

Los resultados de las inmisiones de Fuentes Puntuales con la aplicación del Modelo de Dispersión Gaussiana se registran en la Tabla 27, sólo se reportan los valores para la línea central de dispersión Gaussiana, para una distancia de 125 m en la dirección del viento (valor de x), para y=0 y z=0. Obteniéndose coeficientes de dispersión de $\sigma_y = 24.309m$ y $\sigma_z = 13.075m$. Los valores solo se calcularon para la línea central, ya que en este estudio las concentraciones de interés son las que corresponden a las del nivel del suelo, que están directamente debajo de la línea central de la columna de humo. Además, se tienen bases teóricas de que los remolinos atmosféricos aleatorios, hacia arriba y hacia abajo, que

dispersan la columna de humo en la dirección vertical no pueden penetrar en el suelo, por tanto, la dispersión vertical termina al nivel del suelo, tomando en cuenta esto en los cálculos con la suposición que cualquier contaminante que haya sido arrastrado por debajo de $z=0$, si la tierra no estuviera allí, sería "reflejados" hacia arriba, como si el suelo fuera un espejo. (Nevers, 1998).

Tabla 27. Resultados de las Inmisiones de Fuentes puntuales por el Modelo de Dispersión Gaussiana.

FUENTE	TSP (ug/m ³)		PM ₁₀ (ug/m ³)		NO ₂ (ug/m ³)		SO ₂ (ug/m ³)		CO (ug/m ³)						
	VALOR POPAYAN ^a	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN ^a	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN ^a	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN ^a	VALORES NORMA				
		A	B		A	B		A	B		A	B			
Incinerador Hospital Universitario San José	0.043	88.5	-	-	61.95	20	88.5	40	70.8	50	0.027	8850*	10000*		
Caldera Hospital Universitario San José	-			0.957							6.423			9.225	0.683
Productos Reina	-			15.292							1.399			0.200	115.340
Café Alcázar	-			-							-			-	-
Café La Palma	-			-							-			-	-
Velas el Sol del Cauca	-			0.024							0.286			0.841	0.060
Friesland -2 CALDERAS	-			0.405							12.827			0.001	2.16
Friesland -2 PLANTAS	-			0.020							0.646			0.001	0.109
Friesland -1 PLANTA	-			0.597							0.189			0.001	3.186

^a Valor mas alto de concentración del contaminante en la línea central del Modelo de Dispersión Gaussiana

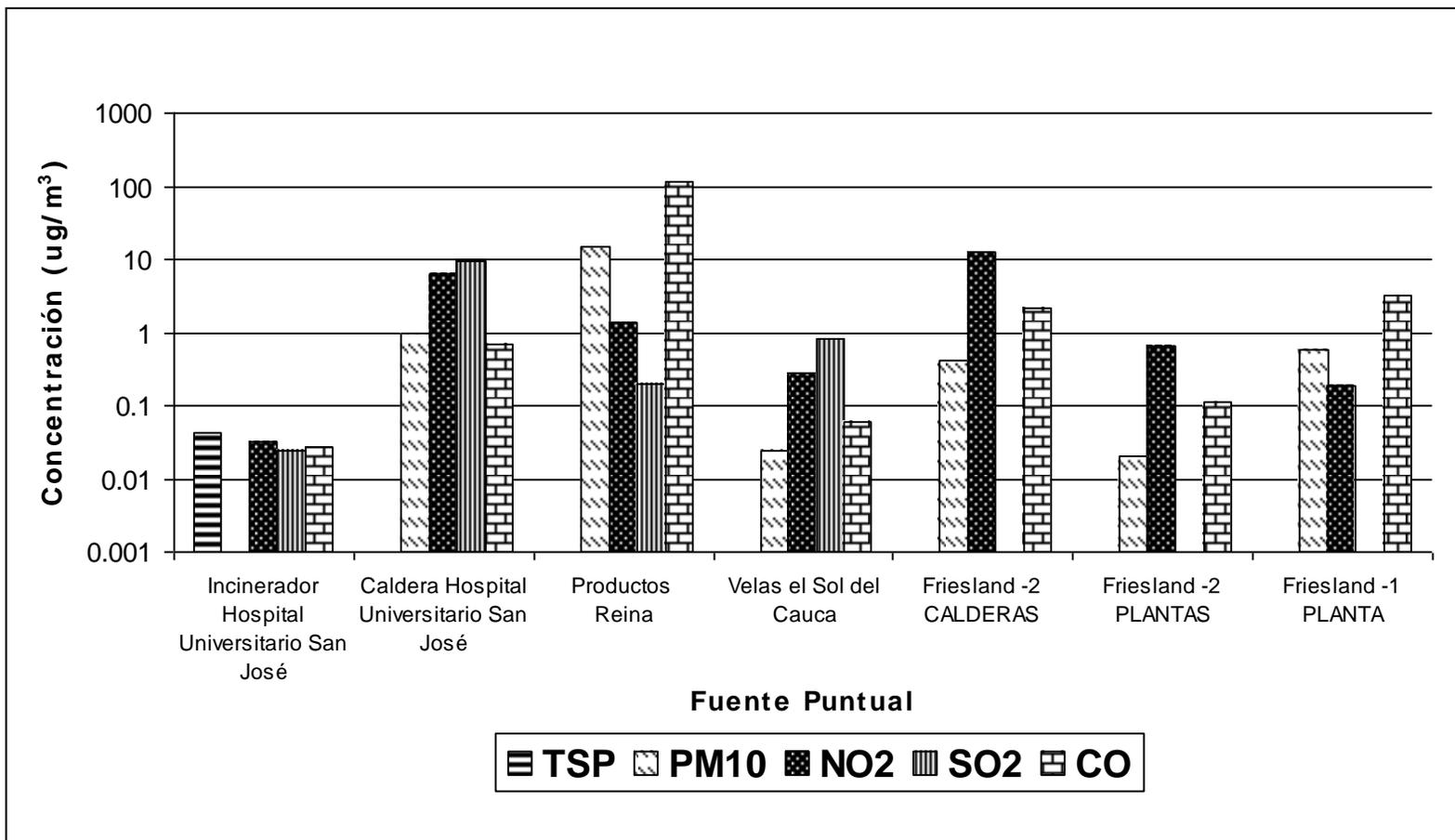
^b Tiempo de exposición a 8 horas.

A. Norma Colombiana, Resolución 0601 de 2006. A condiciones de Popayán. Tiempo de exposición anual.

B. Norma de Organización Mundial de la Salud (OMS). Tiempo de exposición anual.

Los datos de la tabla 27 se muestran gráficamente en la siguiente Figura:

Figura 14. Inmisión de Fuentes Puntuales por Modelo de Dispersión Gaussiana.



7.5 ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS INMISIONES DE FUENTES PUNTUALES.

Al observar la Tabla 27 y la Figura 14, se tiene que las inmisiones de Monóxido de Carbono y PM_{10} de Productos Reina, son mayoritarias comparado con las demás fuentes puntuales, ya que al ser esta la única fuente que utiliza carbón como combustible hace que las concentraciones de estos contaminantes sean mas altas que las que utilizan como combustible el ACPM o el GLP, lo cual es coherente con lo encontrado en la literatura.

Para Friesland Colombia S.A. los valores de inmisión de Dióxido de Azufre no aparecen en la Figura 14 debido a que son muy pequeños, puesto que el GLP tiene un porcentaje de azufre muy bajo, evidenciando que el GLP es uno de los combustibles más limpios.

Los valores de concentración de TSP solo se observan para el Incinerador del Hospital Universitario San José, debido a que la EPA así lo ha reportado para este tipo de fuente puntual y para las demás solo considera el PM_{10} .

Debido al tipo de proceso que se ejecuta en las tostadoras de Café Alcázar y Café La Palma y a que no se tiene factores de emisión registrados en el AP – 42 de la EPA para este tipo de fuentes en cuanto a determinados tipos de contaminantes (tales como PM_{10} , que si se observaba que se emitían), no se obtuvieron valores de inmisión para compararlos con los contaminantes que se registran en la normatividad colombiana y la OMS, por lo cual no se colocan en la Tabla 27 ni en la Grafica 14, si no que se analizan las emisiones de CO_2 y COV más adelante como Gases de Efecto Invernadero. Lo cual hace notar que la metodología de la EPA aunque es la más utilizada y confiable para este tipo de estimaciones, aun requiere incluir Factores de Emisión que se acoplen mejor a los procesos de fábricas de países en vía de desarrollo.

Los resultados de inmisiones por fuentes puntuales en Popayán no sobrepasan los límites permisibles estipulados por la normatividad colombiana, ni los de la OMS, lo que indica que, en general el sector industrial de Popayán no constituye un riesgo por contaminación atmosférica para la salud humana, se considera que esta situación debe mantenerse, para lo cual se hace necesario seguir inspeccionando, registrando y llevando un seguimiento periódico de las emisiones que generan este tipo de fuentes, y de esta manera asegurar el control y prevención de futuros eventos que sobrepasen estos limites y por tanto tengan implicaciones para la salud de los habitantes.

8. METODOLOGIA, DATOS, RESULTADOS Y ANALISIS DE LAS EMISIONES DE FUENTES DE AREA

8.1 METODOLOGIA FUENTES DE AREA

De acuerdo a las características de Popayán y con la visión de que se harán nuevos estudios mas detallados acerca de esta problemática, en los cuales seguramente se contará con mayor sensibilización por parte de la ciudadanía y de las autoridades competentes, además de un mayor presupuesto económico; se seleccionaron para el estudio de las fuentes de área, el RELLENO SANITARIO EL OJITO y LA TERMINAL DE TRANSPORTES S.A., por ser las fuentes de este tipo de mayor relevancia dentro de la ciudad.

8.1.1 Metodología para el Relleno Sanitario el Ojito

Se estimaron las emisiones por medio del **Modelo Matemático Para Cálculo de Gases y Lixiviados de CORENOSTÓS**, elaborado por Jaime Echeverry Torné y Héctor Collazos Peñaloza, (Versión 1 de junio de 2002). Este modelo está destinado a simular el proceso de llenado de un relleno sanitario y calcula los gases y lixiviados que se van produciendo, en parte, por la biodegradación que sufren los desechos orgánicos después de dispuestos y, en parte, por la infiltración de las aguas lluvias que llegan a tener contacto directo con los lechos de basura dispuesta.

El programa del modelo consta de dos hojas en Excel. En la primera, denominada "*Básica*", entran las condiciones permanentes del proceso y se calcula la cantidad de gas y lixiviado que produce una unidad (tonelada) de basura, de tipo doméstico, en las condiciones concretas de tal basura. En la segunda, titulada "*Mensual*", operan las cantidades que varían de un mes a otro (por lo menos el acumulado de basuras) y ofrece resultados mes a mes (Torné, 2002).

Para la aplicación de este modelo se requirió solicitar la siguiente información al Coordinador del Grupo de Aseo Municipal de Popayán, Luís Fernando Tobar (ver tabla 31):

- Fecha de inicio del Relleno Sanitario.
- Cantidad de basura dispuesta diaria.
- Composición física y química de la basura (porcentaje o cantidad de basura putrescible, cartón, papel, jardinería y otros)

- Grado de descomposición de la basura (en porcentaje).
- Grado de retención de líquidos en la basura (humedad de cada tipo de basura).
- Vida útil del relleno sanitario.
- Altitud o presión atmosférica.
- Temperatura media del sitio.

Esta información se introdujo en la hoja de cálculo "Básica" de CORENOSTÓS, la cual arrojó resultados de las emisiones de Metano y CO₂, en m³ por tonelada de basura. Esta información no se introdujo en la hoja "mensual" debido a que el resultado de gases emitidos no está discriminado por tipo de contaminante emitido.

Además, se realizó una visita al relleno para observar sus instalaciones, proceso y manejo, de esta forma, obtener registros fotográficos, (Ver Figura 15).

Figura 15. Fotografía de las Chimeneas del Relleno Sanitario El Ojito



8.1.2 Metodología para la Terminal de Transportes

Se utilizó el Modelo IVE, que es un modelo computacional diseñado para estimar las emisiones de los vehículos de motor, financiado por la US-EPA en el 2003, con el objetivo de suplir las necesidades de países en vía de desarrollo en la realización de inventarios de emisiones de fuentes móviles. Este trabajo ha sido llevado a cabo por investigadores de la Universidad de California y el ISSRC. El protocolo involucrado en el modelo, incluye no solo la herramienta computacional sino el desarrollo de una metodología que permite recolectar, de manera efectiva y económica, la información necesaria para estimar las emisiones provenientes del parque automotor (IVE Model Users Manual, online).

Una vez se contó con la información requerida por el modelo se procedió a correr el mismo para estimar el inventario de emisiones de la Terminal de Transportes de Popayán.

Para emplear este modelo en la Terminal de Transportes, fue necesario tener algunas consideraciones, para adecuar los resultados obtenidos a la realidad, debido a que los vehículos en la Terminal tienen el motor en funcionamiento, pero no están recorriendo una distancia. Como el modelo arroja resultados de las emisiones para las encendidas del motor de un vehículo estacionado (Start - Ups), después de estar apagado por algún tiempo, se asumen estos valores como las emisiones realizadas dentro del Terminal de Transportes por los vehículos que allí operan, teniendo consideraciones como la siguiente: la velocidad promedio de los vehículos que se ingresa al software es de 4 Km/h (Inventario de Emisiones de Mexicali, 1999), ya que para la aplicación de otros modelos de cálculo de emisiones de fuentes móviles para una Terminal de Transportes, se ha acordado que es la velocidad menor que se puede relacionar para vehículos que permanecen estacionados o que no recorren una distancia.

Lo que hace primordial tener datos como: número y tipo de vehículos que funcionan dentro de la Terminal y número de encendidas del motor o de salidas del vehículo de la Terminal, información que suministró la empresa. Además tipo de combustible, modelo del vehículo, tiempo que se tiene el motor encendido dentro de la Terminal, presencia de aire acondicionado en los vehículos, información que se obtuvo por medio de encuestas al azar a los conductores, encuesta que cubrió al 30% de los vehículos totales y se proyectaron los datos al total, teniendo como referencia que las empresas transportadoras guardan una similitud entre las tecnologías de los vehículos que tienen a su servicio. (Ver anexo 2).

De otro lado, los datos ambientales: altitud, temperatura y humedad promedio de Popayán, se obtuvieron del POT, en cuanto a las características del combustible: ppm de sulfuro, porcentaje de Benceno y de oxigenación se consiguieron en el catalogo de productos de ECOPETROL.

Posteriormente, toda esta información se llevo al software del Modelo IVE. Al ingresar toda la información el modelo arroja una tabla de resultados, dentro de la pestaña *Calculation*. Valores que están en gramos o microgramos por día.

8.2 DATOS FUENTES DE AREA

8.2.1 Datos Relleno Sanitario el Ojito

A continuación, se encuentran consignados los datos que se ingresaron a la Hoja de Calculo de CORENOSTOS.

Tabla 28. Datos para la Estimación de emisiones del Relleno Sanitario el Ojito.

VARIABLE	DATO
Fecha inicio relleno sanitario	Marzo de 2002
Cantidad basura dispuesta diaria	167.5 Ton/día
Composición física y química de la basura (porcentaje o cantidad de basura putrescible, cartón, papel, jardinería y otros)	Residuos de alimentos 66.18% Papel y cartón 14.95% Plásticos 9.78% Textiles 1.35 % Poda 1.91% Caucho 0.39% Madera 0.70% Vidrio 2.52% Metales 1.02% cuero 0.20% Icopor 0.69% Otros 0.31%
Altitud	1770 m.s.n.m
Temperatura media del sitio.	19.3 °C
Vida útil del relleno sanitario.	Hasta el año 2017

Fuente: Coordinador Grupo de Aseo Municipal de Popayán.

8.2.2 Datos Terminal de Transportes S.A.

Seguidamente se muestran los datos que se ingresaron al Modelo IVE.

Tabla 29. Datos para la estimación de emisiones de la Terminal de Transportes S.A.

VARIABLE	DATO
Clase de vehiculo dentro de la Terminal.	Automóviles (AU), Camperos (CA), Microbuses (MI), Busetas (BT) y Buses (BU).
Numero promedio de vehículos diarios que utilizan las instalaciones de la Terminal. (Suministrado por la empresa).	807

Número de encendidas del motor o de salidas del vehículo del Terminal diarias. (Suministrado por la empresa).	807
Tiempo promedio que se tiene el motor encendido dentro del Terminal. (Encuesta).	10 minutos
Presencia de aire acondicionado en el vehículo. (Encuesta).	Dentro de las instalaciones de la Terminal no la usan, la usan cuando circulan en lugares de mayor temperatura a la de Popayán.
Altitud de la ciudad (POT)	1738
Temperatura promedio de Popayán (POT).	18°C
Humedad promedio de Popayán (POT)	(68% – 82%) → 75 %
Características del combustible:	
% m de sulfuro	0.1
% vol Benceno	1.0
% oxigenación	3.5

Luego de obtener los datos de las encuestas para determinar los tipos de tecnologías, se hallaron los porcentajes de acuerdo al número de vehículos que se encuentran registrados en la Terminal, como lo muestra la Tabla 30.

Tabla 30. Porcentajes de la cantidad de vehículos según tipo de tecnología

Descripción	Combustible	Peso	control Aire/combustible	Exhosto	Evaporador	Edad	Código (IVE)	Porcentaje
Auto	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	>161K km	5	2.50
Auto	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	>161K km	68	2.50
Auto	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	743	17.50
Auto	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	80 -161 K km	760	2.50
Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	>161K km	830	2.50
Bus	Petrol	Medium	Carburetor	2-Way	PCV	>161K km	842	1.25
Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1082	3.75
Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1081	16.25
Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1085	15.00
Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1084	36.25

8.3 RESULTADOS DE LAS EMISIONES DE FUENTES DE AREA:

8.3.1 Resultados Relleno Sanitario el Ojito

Los datos de la Tabla 28, se ingresaron a la hoja de cálculo de CORENOSTOS, como lo explica su manual y como lo indica la misma hoja, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 31. Resultados de estimación de emisiones Relleno Sanitario el Ojito.

a.c.d.l. A Condiciones del Lugar

UNIDADES	CH ₄	CO ₂
En m ³ de gases a. c. d. l., Por una tonelada dispuesta.	113.34	100.60
En m ³ de gases a. c. d. l., Total día.	18984.16	1685.19
En µg/s de gases a.c.d.l.	457175.93	23.15

7.3.2 Resultados Terminal de Transportes

Los datos de las Tablas 29 y 30, se ingresaron al software del IVE Model, como lo explica su manual, teniéndose los siguientes resultados:

Tabla 32. Resultados de estimación de emisiones de la Terminal de Transportes.

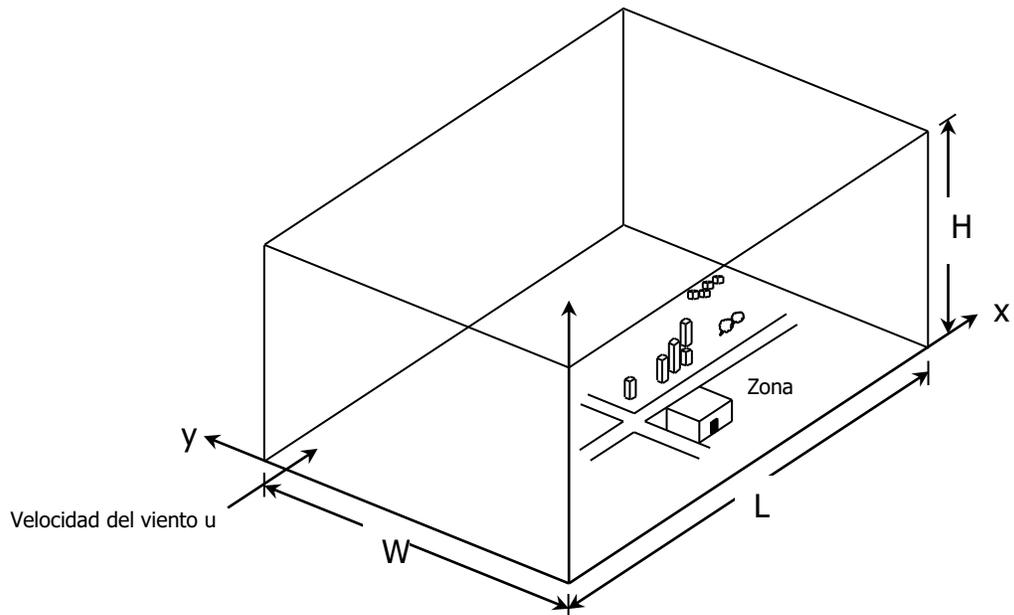
UNIDADES	CO	NO _x	SO _x	PM
g/ día	7021.34	1048.8	3.01	282.36
µg/s	81265.51	12138.88	34.84	3268.06

8.4 APLICACIÓN DEL MODELO DE CAJA FIJA

8.4.1 Metodología

Se considera una región rectangular, como se muestra en la Figura 16. Con el fin de calcular la concentración del contaminante en el aire, con aplicación de la ecuación 16, en esta zona, se establecen importantes hipótesis simplificadoras que se dan a continuación:

Figura 16. Zona rectangular, en la que se indica el significado de los símbolos usados en el Modelo de Caja Fija (Nevers, 1998).



$$\left(\begin{array}{c} \text{velocidad} \\ \text{de acumulacion} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{todos los flujos} \\ \text{de entrada} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{todos los flujos} \\ \text{de salida} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{velocidad} \\ \text{de creacion} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{velocidad de} \\ \text{destruccion} \end{array} \right)$$

(Ec. 16)

Hipótesis simplificadoras:

1. La zona es un rectángulo con dimensiones \$W\$ y \$L\$, y con uno de sus lados paralelos a la dirección del viento.
2. La turbulencia atmosférica produce el mezclado completo y total de los contaminantes hasta la altura de mezclado \$H\$, y no hay mezclado por encima de esta altura.
3. Esta turbulencia es bastante fuerte en la dirección contra el viento, de modo que la concentración del contaminante es uniforme en el volumen completo de aire que está sobre la zona y no a más altura, en el lado en la dirección del viento y en el lado contra el viento. Esta hipótesis es bastante contraria a lo que se observa en la naturaleza, pero permite una gran simplificación del aspecto matemático.
4. El viento sopla en la dirección \$x\$ con velocidad \$u\$. Esta velocidad es constante e independiente del tiempo, lugar o elevación por encima del suelo. También esto es contrario a la observación; la velocidad del viento aumenta con la elevación. En lo que sigue se usa la \$u\$ promedio entre aquella al nivel del suelo y la correspondiente a la altura \$H\$.
5. La concentración del contaminante en el aire que entra a la zona (en \$x = 0\$) es constante e igual a \$b\$ [\$b\$ por concentración "de fondo" (*background* en inglés), un término prestado del campo nuclear porque muchos de los meteorólogos especialistas en

contaminación del aire vinieron de allí]. En este modelo, las concentraciones suelen darse en g/m^3 o microgramos/ m^3 (1 microgramo= 10^{-6} g).

6. El índice de emisiones del contaminante del aire de la ciudad es Q (normalmente expresado en g/s). Lo normal es que éste se dé como un índice de emisiones por unidad de área, q , en g/s. m^2 . Se puede convertir uno en el otro por medio de $Q = qA$, en donde A es el área de la zona, la cual es igual a w multiplicado por L , en este caso este índice de emisiones es constante y no cambia con el tiempo.

7. Ningún contaminante sale o entra por la parte superior de la caja, ni por los lados que no sean paralelos a la dirección del viento.

8. El contaminante en cuestión tiene una duración suficiente en la atmósfera como para que la velocidad de destrucción de la ecuación 16 sea cero.

Con estas hipótesis, ahora se pueden evaluar todos los términos de la ecuación (16). Se elige el volumen WLH como el sistema. Debido a que todas las hipótesis indican que los flujos y los índices de emisiones son independientes del tiempo, se ve que ésta es una situación de estado estacionario en la que nada está cambiando con el tiempo. Para cualquier situación de estado estacionario, en cualquier aplicación de la ecuación general del balance (16), la velocidad de acumulación es cero, de modo que el término a la izquierda del signo igual es cero.

Se puede tratar el índice de emisiones Q como un índice de creación o como un flujo hacia el interior de la caja a través de su cara inferior. Cualquiera de las dos concepciones da exactamente el mismo resultado; en la literatura de la contaminación del aire, es más común tratarlo como un flujo a través de la cara inferior, de modo que se fijará la velocidad de creación igual a cero. De este modo, la ecuación 16 se ha simplificado hasta

$$0 = (\text{todos los flujos de entrada}) - (\text{todos los flujos de salida}) \quad (Ec. 17)$$

Se tienen dos flujos de entrada. El flujo de entrada del contaminante hacia adentro de la cara contra el viento de la ciudad es

$$\text{Flujo de entrada} = u * W * H * b \quad (Ec. 18)$$

Los primeros tres símbolos constituyen el volumen de aire que cruza la frontera contra el viento del sistema por unidad de tiempo y se puede verificar que $u * W * H$ tiene dimensiones de volumen/tiempo. Multiplicándolo por una concentración (masa/volumen), se obtiene un gasto másico (masa/tiempo).

El segundo flujo de entrada es el del contaminante emitido por la zona hacia el interior por la frontera, o cara, inferior del sistema,

$$\text{Flujo de entrada} = Q = q * W * L \quad (Ec. 19)$$

Según las hipótesis precedentes, la concentración en la zona completa es constante e igual a c . (Se usa c para denotar la concentración). La única manera en la que el contaminante sale del sistema es por el flujo hacia afuera a través de la cara en la dirección del viento. El gasto de salida se expresa por la ecuación.

$$\text{Flujo de salida} = u \cdot W \cdot H \cdot c \quad (\text{Ec. 20})$$

Si se sustituyen estas expresiones en la ecuación 16 y se despeja c , se encuentra:

$$C = b + qL/uH \quad (\text{Ec. 21})$$

Que es el sencillo modelo de caja fija.

8.4.2 Cálculo y Resultado de la aplicación del Método de Caja Fija en las Fuentes de Área

➤ **Relleno Sanitario el Ojito:** Para esta fuente, debido a que CORENOSTOS solo calcula CH_4 y CO_2 los cuales no son contaminantes que se puedan comparar con los niveles permisibles de la Resolución colombiana 601 de 2006 o con los de la OMS, si no que son Gases Efecto Invernadero, no se procede a aplicar el modelo de la caja fija, ya que este arroja resultados de inmisiones y los GEI se analizan en cuanto emisiones, que son los valores que se obtienen directamente con CORENOSTOS.

➤ **Terminal de Transportes S.A.:** Para este caso, el valor de b se tomó de los datos del día del no carro, registrados por la CRC, los cuales se encuentran consignados inicialmente en la tabla en la tabla 1 (Recopilación de estudios previos, página 29) y en seguida en la tabla 33, de la cual se toma el promedio aritmético. Se tomaron los datos del día del no carro del 2002, puesto que en la ciudad de Popayán son los únicos registros existentes en cuanto a calidad del aire y, además se midieron en distintos puntos de la ciudad, lo cual los hace más representativos.

Tabla 33. Concentración de fondo (b) según medición calidad de aire – Popayán 2002 – Día del no carro (CRC).

Sitos de Muestreo	Concentración de Partículas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración de Dióxido de Azufre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración de Dióxido de Nitrógeno $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Edificio Edgar Negret Dueñas	66	26	42
Centro Comercial Anarkos	108	41	13
Colegio Antonio García Paredes	71.0	3.6	3.0
Hotel Belmont-La Esmeralda	162.1	5.1	5.1
Empaques del Cauca	117	24.23	25.66
Promedio Aritmético	104.82	20	17.752

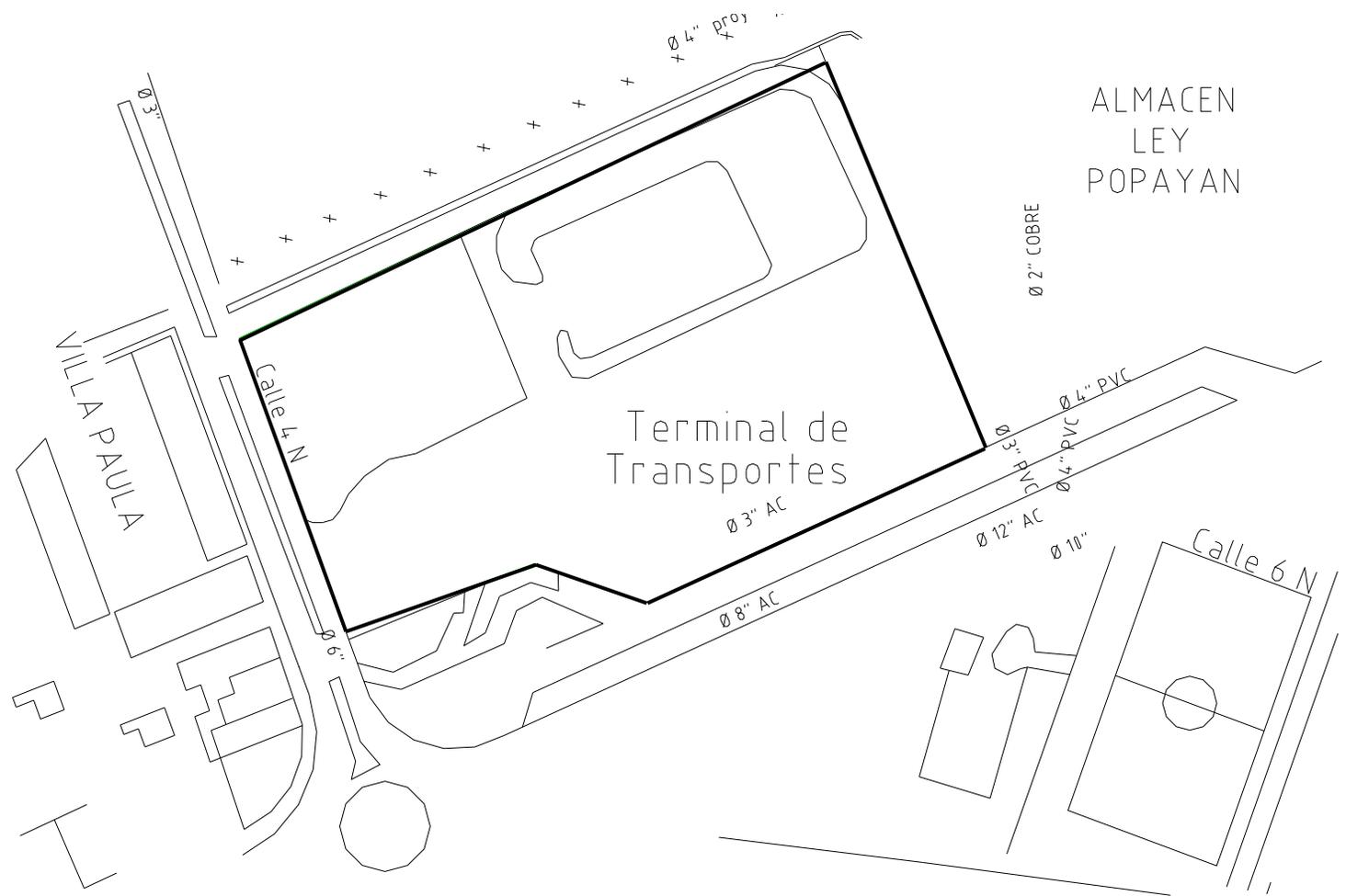
La concentración de fondo (b) para Monóxido de Carbono es $7.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El valor de L , W y u , se obtuvieron de medir directamente del mapa de Popayán por medio del Programa Autocad, siendo estos $L = 195.870\text{m}$, $W=126.400\text{ m}$. y $u=1.5\text{ m/s}$. (Ver Figura 17).

El valor de H se tomó como la altura de la cubierta de la Terminal de Transportes, entonces $H = 10\text{ m}$.

Los valores de q son los valores calculados por el IVE Model, ver tabla 32.

Figura 17. Terminal de Transportes S.A.



Luego de ingresar los datos de L, W, H, u y q, referenciados anteriormente, a la Hoja de calculo del Modelo de Caja Fija para la fuente de área de elaboración propia, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 34. Resultados de la Inmisión de las Fuentes de Área aplicando Modelo de Caja Fija.

^a Tiempo de exposición de 8 horas.

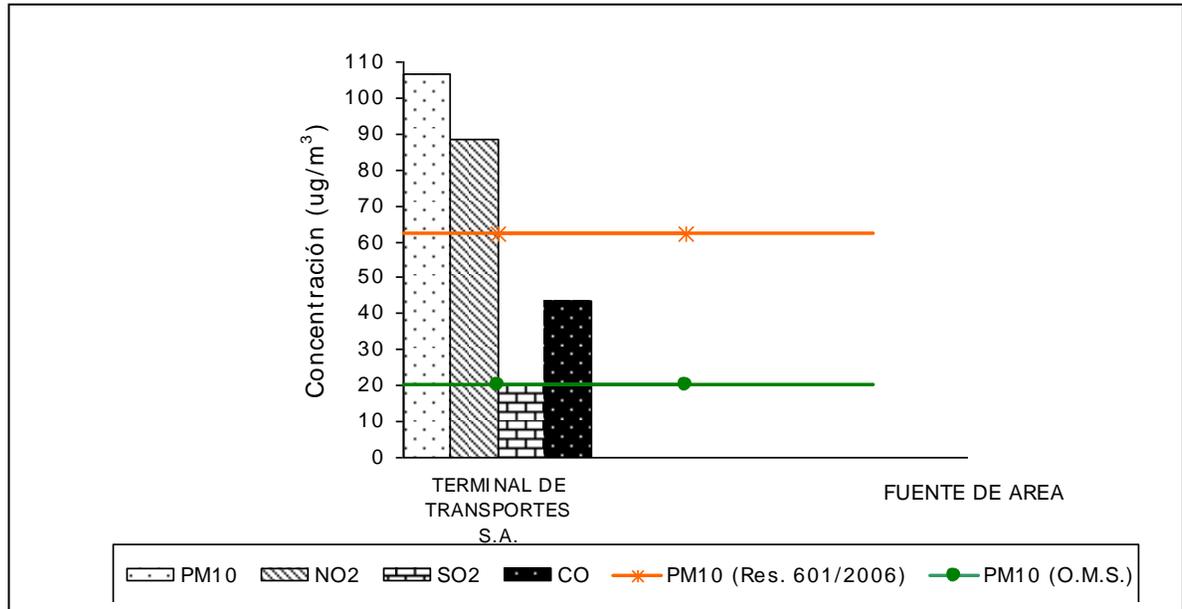
FUENTE	PM ₁₀ (ug/m ³)			NO _x (ug/m ³)			SO ₂ (ug/m ³)			CO (ug/m ³)		
	VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA	
		A	B		A	B		A	B		A	B
TERMINAL DE TRANSPORTES S.A.	106.544	61.95	20	24.154	88.5	40	20.018	70.80	50	43.332	8850 ^a	10000 ^a

A. Norma Colombiana, Resolución 0601 de 2006. A condiciones de Popayán. Tiempo de exposición anual.

B. Norma de Organización Mundial de la Salud (OMS). Tiempo de exposición anual.

Los datos de la tabla 34 se muestran gráficamente en la siguiente Figura:

Figura 18. Inmisiones de Fuentes de Área Por Modelo de Caja Fija.



8.5 ANALISIS DE RESULTADOS DE INMISIONES DE FUENTES DE AREA

En cuanto a la Terminal de Transportes S.A., se observa en la tabla 34 y Figura 18 que se presentan inmisiones por parte del PM₁₀, NO₂, SO₂ y CO, las cuales son muy bajas, sin embargo, el PM₁₀ es el único de estos contaminantes que sobrepasa los límites permisibles establecidos por la norma colombiana y la OMS, en 104.594 y 86.544 ug/m³ respectivamente.

Al superar el PM₁₀ los niveles máximos permisibles, podrían presentarse un amplio abanico de efectos en la salud humana tras exposiciones prolongadas, pero produciéndose en particular consecuencias en los sistemas respiratorio y cardiovascular.

Según el valor guía de la OMS 20 ug/m³ es el nivel más bajo en el cual se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón aumenta en respuesta a la exposición prolongada al MP_{2,5}.

9. METODOLOGIA, DATOS, RESULTADOS Y ANALISIS DE FUENTES MOVILES

9. 1 METODOLOGIA DE FUENTES MOVILES

Como se menciona anteriormente, Popayán ha presentado un crecimiento sostenido a través del tiempo, lo que ha implicado el incremento del uso del transporte público para cubrir la demanda de este servicio, además, como Popayán posee sus principales sitios de abastecimiento o comercio en La Esmeralda, El Centro y el Bolívar, es en estos sitios por donde circulan la mayor cantidad de vehículos, convirtiéndose estos sectores en los más vulnerables para la salud humana por causa de la contaminación atmosférica.

Como la contaminación por fuentes móviles depende de distintos factores internos y externos al vehículo, tales como:

Externos:

- Tipo, calidad y cantidad de combustible
- Estado de las vías
- Velocidad promedio
- Factores climáticos
- Características de conducción del vehículo

Internos:

- Combustión del motor
- Edad del vehículo
- Millas viajadas acumuladas
- Tipo de vehículo
- Mantenimiento del vehículo
- Uso del automóvil
- Tecnología

Se tiene que la metodología que encierra la mayoría de estos factores y que fue la utilizada para esta estimación de emisiones de fuentes móviles es la establecida por el Modelo IVE (anteriormente citado para las fuentes de área), el cual ha sido aplicado de manera estandarizada en 11 ciudades del mundo. El Modelo IVE, es un modelo diseñado para estimar emisiones de los vehículos en países en vías de desarrollo.

Para la estimación de emisiones, el modelo requiere información acerca de los siguientes componentes: la tasa de emisión de contaminantes de los vehículos (factores de emisión), el nivel de actividad de los vehículos y la distribución

tecnológica de la flota (uso de aire acondicionado, tipo de combustible utilizado, sistemas de control de emisiones), además se recolectó información relacionada con el número total de vehículos registrados en la ciudad, la temperatura y humedad relativa, el factor de actividad vehicular (kilómetros promedio recorridos al día por cada categoría de vehículos) y las características y calidad de los combustibles, información que se obtuvo por medio de una campaña de recolección de datos, a través de las siguientes actividades:

- 1 - Se desarrollaron encuestas en parqueaderos de la ciudad.
- 2 - Recolección de información utilizando Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) para determinar los patrones de conducción para cada categoría de vehículos.
- 3 - Aforos (conteos) vehiculares utilizando cámaras de video.

Esta metodología se aplicó en los sectores donde se presenta mayor flujo vehicular en Popayán, como son: el Sector Histórico (Carreras 3ª y 9ª entre Calles 4ª y 5ª y, Calles 4ª y 7ª entre Carreras 3ª y 9ª), La Esmeralda (Carrera 17 entre Calles 4ª y 5ª) y el Barrio Bolívar (Sobre la Carrera 6ª y la Calle 1N).

Seguidamente se especifica la metodología aplicada en cada actividad.

1- Encuesta en parqueaderos: Para realizar la encuesta se requirió de una previa familiarización con los tipos de tecnologías de los vehículos (Ver Anexo 3).

Además, para recolectar la información acerca del tipo de tecnología de los vehículos de servicio público (buses, colectivos y taxis), se solicitó directamente a las Empresas de Transporte respectivas, las cuales entregaron una base de datos con las características de los vehículos tales como: modelo, marca, tipo de combustible y número de pasajeros.

2- Medición con GPS: Para esta medición se programó un recorrido por los sectores a analizar y se registraron con el GPS mediciones de coordenadas cada 20, 10 y 5 segundos para el sector Centro, Esmeralda y Bolívar respectivamente; para luego determinar las distancias, la velocidad y las pendientes necesarias para determinar la Potencia Específica del Vehículo (VSP).

3- Aforos vehiculares utilizando cámaras de video: En cada sector se seleccionaron los puntos estratégicos para realizar un balance de los vehículos que circulaban dentro del sector, teniendo en cuenta las salidas y entradas de los vehículos. Los puntos de filmación se ubicaron en balcones para tener un mejor ángulo de visión. El número de puntos va de acuerdo a las características del sector. En cada punto se filmó durante un día, en rangos de tiempo distribuidos así, de 7:00 a.m. – 9:00 a.m., de 11:30 a.m. – 2:30 p.m. y de 5:30 p.m. - 7:30 p.m. que son las horas picos en la ciudad de Popayán, según informes de Inventarios de Emisiones realizados por estudiantes de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca en la asignatura de Contaminación Ambiental I.

9.2 DATOS FUENTES MOVILES

Para el cálculo de las emisiones se recolectaron previamente los datos que aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 35. Datos generales para la Estimación de Emisiones Fuentes Móviles

VARIABLE	DATO
Tipo de combustible	GASOLINA Y DIESEL
Número de encendidas promedio por cada vehículo, que se realizan dentro del sector Centro. (Encuesta)	1
*Presencia de aire acondicionado en el vehículo. (Encuesta).	No se usa, debido a las condiciones climáticas de Popayán.
Altitud de la ciudad (POT)	1738
Temperatura promedio de Popayán (POT)	18 °C
Humedad promedio de Popayán (POT)	(68 % – 82 %) → 75 %
Características del combustible:	
% m de sulfuro	0.1
% Vol. Benceno	1.0
% oxigenación	3.5

Después de obtener los datos de las características de los vehículos para determinar los tipos de tecnologías, se hallaron los porcentajes de acuerdo al número de vehículos que circulan en los tres sectores en estudio como lo muestran las Tablas 36 a 38.

Tabla 36. Porcentajes de la cantidad de vehículos tipo taxi - (determinados por estadísticas según información de empresas transportadoras).

Descripción	Combustible	Peso	control Aire/combustible	Exhosto	Evaporador	Edad	Código (IVE)	Porcentaje
Auto	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	>161K km	5	3.70
Auto	Petrol	Medium	Carburetor	2-Way	PCV	>161K km	14	16.40
Auto	Petrol	Medium	Carburetor	3-Way	PCV	>161K km	32	49.30
Auto	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way/EGR	PCV	>161K km	131	12.60
Auto	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	121	4.20
Auto	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	118	1.70
Auto	Petrol	Light	Single-Pt FI	none	PCV	<79K km	45	2.50
Auto	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	66	2.20
Auto	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	63	2.00
Auto	Petrol	Light	Single-Pt FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	90	5.20
Auto	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	756	0.20

*Descripción según el modelo IVE.

Tabla 37. Porcentajes de la cantidad de vehículos tipo bus - (determinados por estadísticas según información de empresas transportadoras).

Descripción	Combustible	Peso	control Aire/combustible	Exhosto	Evaporador	Edad	Código (IVE)	Porcentaje
Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1082	23.40

Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	>161K km	1091	11.00
Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1084	15.20
Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	80-161K km	1093	41.3
Bus	Petrol	Light	Carburetor	2-Way	PCV	>161K km	839	1.90
Bus	Petrol	Light	FI	3-Way	PCV	>161K km	902	1.80
Bus	Natural Gas	Light	FI	3-Way/EGR	PCV	80-161K km	991	0.90
Bus	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	>161K km	836	1.30
Bus	Petrol	Heavy	Carburetor	2-Way	PCV	>161K km	845	2.0

*Descripción según el modelo IVE.

Tabla 38. Porcentajes de la cantidad de vehículos particulares según encuesta.

Descripción	Combustible	Peso	control Aire/combustible	Exhosto	Evaporador	Edad	Código (IVE)	Porcentaje
Auto	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	117	19.05
Auto	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	120	9.52
Auto	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	744	2.38
Auto	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	80-161K km	4	16.67
Auto	Petrol	Light	Carburetor	3-Way	PCV	<79K km	27	2.38
Auto	Petrol	Light	Carburetor	3-Way	PCV	80-161K km	28	16.67
Auto	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	118	7.14
Auto	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	121	4.76
Auto	Petrol	Light	Carburetor	3-Way	PCV	>161K km	29	7.14
Auto	Petrol	Medium	Carburetor	3-Way	PCV	>161K km	32	14.29

*Descripción según el modelo IVE.

De los aforos vehiculares utilizando cámaras de video, se obtuvieron la cantidad de buses, taxis, camiones, vehículos particulares y motos para cada sector que se consignan en la Tabla 39.

Tabla 39. Aforos vehiculares para los Sectores Bolívar, Esmeralda y Centro.

BOLIVAR					
MICROBUS	TAXIS	CAMION	PARTICULAR	MOTOS	HORA
307	214	31	203	313	7-8 a.m.

416	317	49	418	396	8-9 a.m.
337	277	46	485	462	11:30-12:30 M.
332	265	32	361	353	12:30 -1:30 p.m.
318	248	30	403	379	1:30 -2:30 p.m.
314	262	21	424	405	5:30-6:30 p.m.
295	261	32	463	287	6:30 -7:30 p.m.
2319	1844	241	2757	2595	Total por Tipo de Vehículo
23,77	18,90	2,47	28,26	26,60	% Participación en el Total de Vehículos
Total Vehículos Bolívar = 9756					
ESMERALDA					
MICROBUS	TAXIS	CAMION	PARTICULAR	MOTOS	HORA
443	853	119	970	1136	7-8 a.m.
427	908	133	1258	1420	8-9 a.m.
345	642	86	996	464	11:30-12:30 M.
387	725	92	1195	804	12:30 -1:30 p.m.
388	821	131	1122	1695	1:30 -2:30 p.m.
385	824	138	1451	1457	5:30-6:30 p.m.
395	740	92	1266	1519	6:30 -7:30 p.m.
2770	5513	791	8258	8495	Total por Tipo de Vehículo
10,73	21,35	3,06	31,97	32,89	% Participación en el Total de Vehículos
Total Vehículos Esmeralda = 25827					
CENTRO					
MICROBUS	TAXIS	CAMION	PARTICULAR	MOTOS	HORA
374	300	6	290	462	7-8 a.m.
327	375	8	345	612	8-9 a.m.
309	353	7	504	732	11:30-12:30 M.
281	371	5	457	684	12:30 -1:30 p.m.
339	510	5	513	911	1:30 -2:30 p.m.
289	345	5	608	562	5:30-6:30 p.m.
283	276	3	495	380	6:30 -7:30 p.m.
2202	2530	39	3212	4343	Total por Tipo de Vehículo
17,86	20,53	0,32	26,06	35,23	% Participación en el Total de Vehículos
Total Vehículos Centro = 12326					

A continuación se muestra por medio de las Figuras 19, 20 y 21, la cantidad de buses, taxis, camiones, vehículos particulares y motos para cada sector consignados en la Tabla 39.

Figura 19. Cantidad de vehículos en el sector Bolívar.

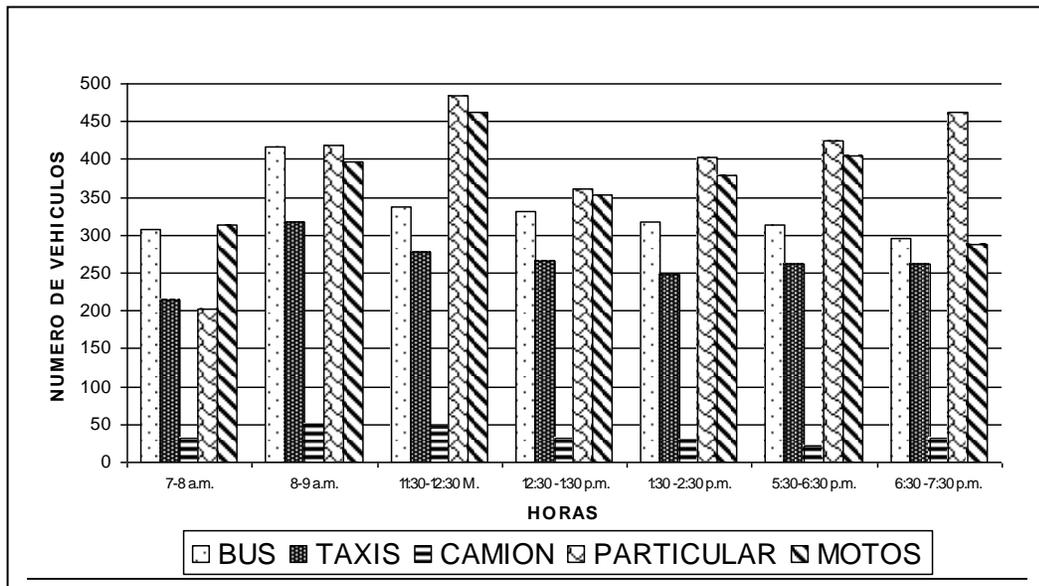


Figura 20. Cantidad de vehículos en el sector Esmeralda.

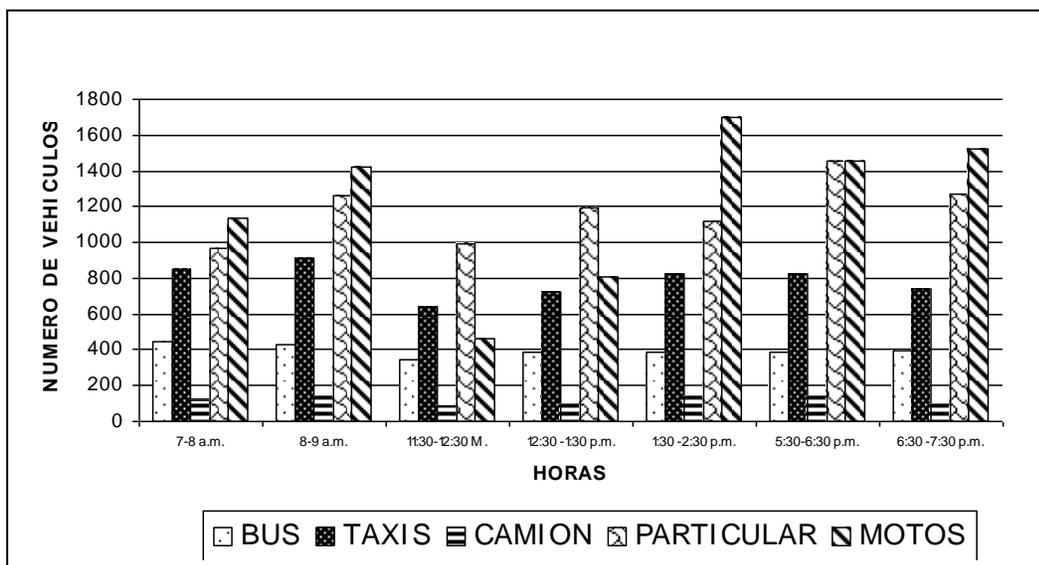
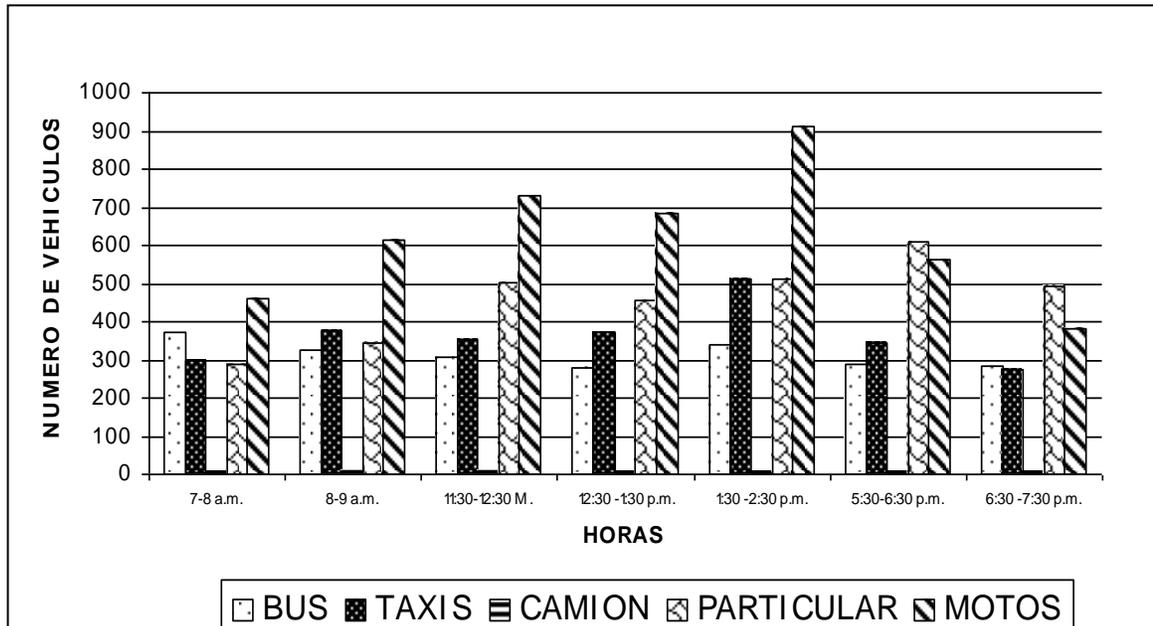


Figura 21. Cantidad de vehículos en el sector Centro.



La cantidad de vehículos en los sectores Centro, Esmeralda y Bolívar de Popayán, se observan en las Figuras 19 a 21, las cuales se obtuvieron de los aforos vehiculares (ver tabla 39), en estas Figuras se presenta el comportamiento, en términos del número de vehículos en los sectores, de las diferentes categorías vehiculares para cada hora entre las 7:00 a.m. y las 7:30 p.m. Y al comparar las tres Figuras, se tiene que el sector en el cual transitan una mayor cantidad de vehículos es La Esmeralda, le sigue el centro y el de menor cantidad de vehículos que transitan es el Bolívar.

Es claro que la categoría vehicular que se encuentra en mayor cantidad en los tres sectores seleccionados de la ciudad es la de los Vehículos Particulares lo cual concuerda con la información que la Secretaria de Transito Municipal de Popayán reporta en el Oficio No. 28930 del 22 de junio de 2007 (Ver Anexo 4).

Las horas en las que se registró un mayor número de vehículos para la categoría de Vehículos Particulares como se muestra en las Figuras de cantidad de vehículos anteriores, fueron las 11:30 a.m. a 12:30 p.m., para el sector Bolívar y de la 5:30 p.m. a 6:30 p.m. en los otros dos sectores, resultados que son coherentes con las actividades típicas de la población en un día laboral.

Aunque las emisiones tanto de las motos como de los camiones no se pudieron estimar, debido a que, para las primeras no se tiene un modelo estándar establecido y para los segundos no se pudo realizar una encuesta para determinar los porcentajes de la cantidad de vehículos, los resultados obtenidos demuestran que la mayor participación en el total de los vehículos que circulan en el Centro, la Esmeralda y el Bolívar son las motos con unos porcentajes de 35.23, 32.89 y 26.60 respectivamente, seguidos por los vehículos particulares.

Los buses y camiones presentan una mayor participación en el sector de la Esmeralda, lo que se atribuye por ser la vía Panamericana, aunque se puede decir que estos últimos (camiones) son los que menos aporte en emisiones hacen en los tres sectores ya que su porcentaje de participación en el total de vehículos es muy bajo siendo para la Esmeralda 3.06%, el Bolívar 2.47% y para el Centro 0.32%.

9.3 RESULTADOS DE EMISION POR FUENTES MOVILES

Los siguientes datos fueron los arrojados por el software del Modelo IVE:

Tabla 40. Resultados de las emisiones para el total de vehículos del sector Bolívar^a

HORA	EMISIONES POR CONTAMINANTE en µg/s				
	CO	NO _x	SO _x	PM	COV
7:00-8:00 A.M.	369844	88049	50	3517	42616
8:00-9:00 A.M.	597079	125208	79	4807	67968
11:30-12:30 M.	487845	102077	64	3896	55884
12:30-1:30 P.M.	499478	101452	66	3846	56811
1:30-2:30 P.M.	505645	98572	66	3695	57039
5:30-6:30 P.M.	524948	99113	68	3660	59255
6:30-7:30 P.M.	538324	95936	69	3458	52191

^aEl total de vehículos solo se refiere a la suma de la cantidad de vehículos tipo bus, taxi y particulares.

Tabla 41. Resultados de las emisiones para el total de vehículos del sector Centro^a

HORA	EMISIONES POR CONTAMINANTE en µg/s				
	CO	NO _x	SO _x	PM	COV
7:00-8:00 A.M.	14388585	1987988	1077	61668	1143974

8:00–9:00 A.M.	16616113	1982216	1170	55103	1316620
11:30–12:30 M.	20765994	2065322	1315	53296	1538659
12:30–1:30 P.M.	19478339	1940774	1249	48702	1469795
1:30–2:30 P.M.	21107558	2168159	1353	57987	1559982
5:30–6:30 P.M.	22637810	2011134	1339	50527	1587808
6:30–7:30 P.M.	19374471	1867340	1197	48811	1395981

^aEl total de vehículos solo se refiere a la suma de la cantidad de vehículos tipo bus, taxi y particulares.

Tabla 42. Resultados de las emisiones para el total de vehículos del sector Esmeralda^a

HORA	EMISIONES POR CONTAMINANTE en µg/s				
	CO	NO _x	SO _x	PM	COV
7:00–8:00 A.M.	2252265	704234	354	24204	222221
8:00–9:00 A.M.	5010686	736249	509	13874	518001
11:30–12:30 M.	3769976	565596	666	11109	387601
12:30–1:30 P.M.	4392375	644762	451	12407	463439
1:30–2:30 P.M.	20704104	664686	457	12588	465763
5:30–6:30 P.M.	5152622	712044	519	12709	523863
6:30–7:30 P.M.	4575757	667775	469	12812	467189

^a El total de vehículos solo se refiere a la suma de la cantidad de vehículos tipo bus, taxi y particulares.

9.4 APLICACIÓN DEL MODELO DE CAJA FIJA PARA FUENTES MOVILES

9.4.1 Datos y cálculos de la aplicación del modelo de la caja fija para cada sector

➤ Sector Bolívar

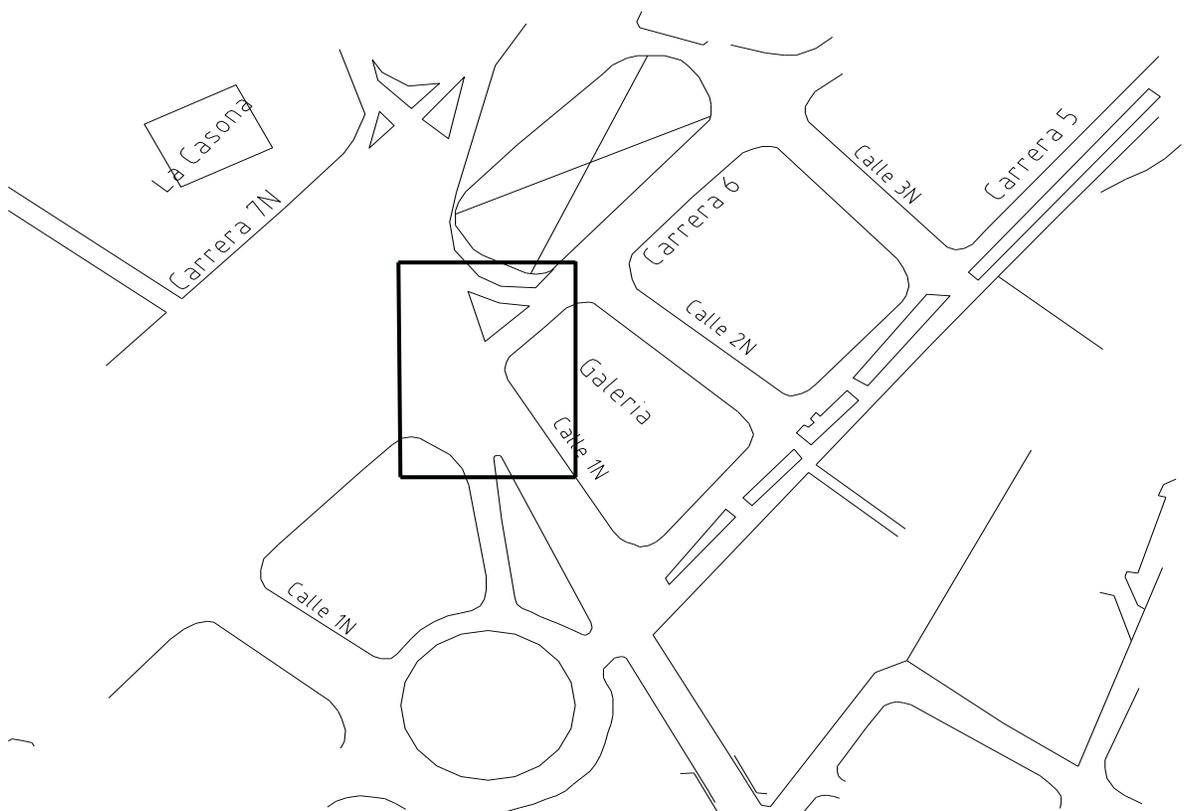
Para este caso el valor de b se tomó de los datos del día del no carro, registrados por la CRC, los cuales están consignados en la tabla 33:

Los valores de L , W y u , se obtuvieron de la misma manera que para las fuentes de área, siendo estos $L= 83.994$ m, $W= 58.730$ m y $u=1.5$ m/s. (Ver Figura 22).

El valor de H se tomó como la altura del edificio más alto del sector, $H = 8$ m.

Los valores de q son los valores calculados por IVE model. Ver tabla 40.

Figura 22. Zona de Estudio en el Sector Bolívar.



➤ **Sector Centro**

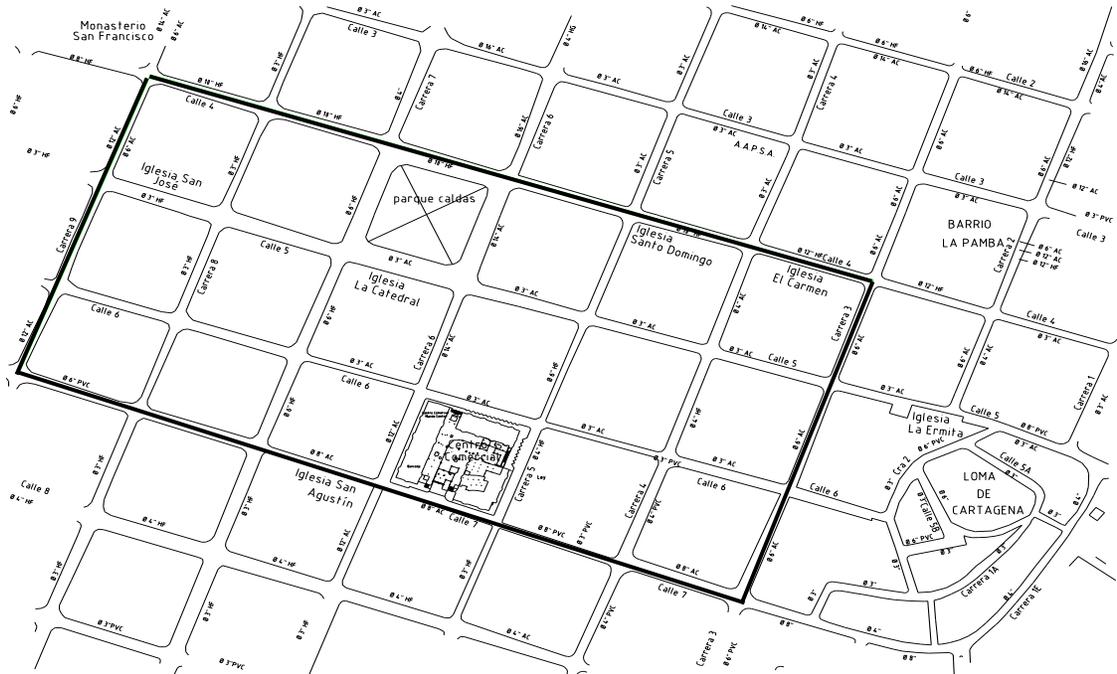
Para este caso el valor de b se tomó los datos del día del no carro, registrados por la CRC, los cuales son los consignados en la tabla 33:

Los valores de L , W y u , se obtuvieron de la misma manera que para las fuentes de área, siendo estos $L= 617.663$ m, $W = 294.871$ m y $u =1.5$ m/s. (Ver Figura 23).

El valor de H se tomo como la altura del edificio más alto del sector, $H = 14$ m.

Los valores de q son los valores calculados por IVE model. Ver tabla 41.

Figura 23. Zona de Estudio en el Sector Centro.



➤ **Sector Esmeralda**

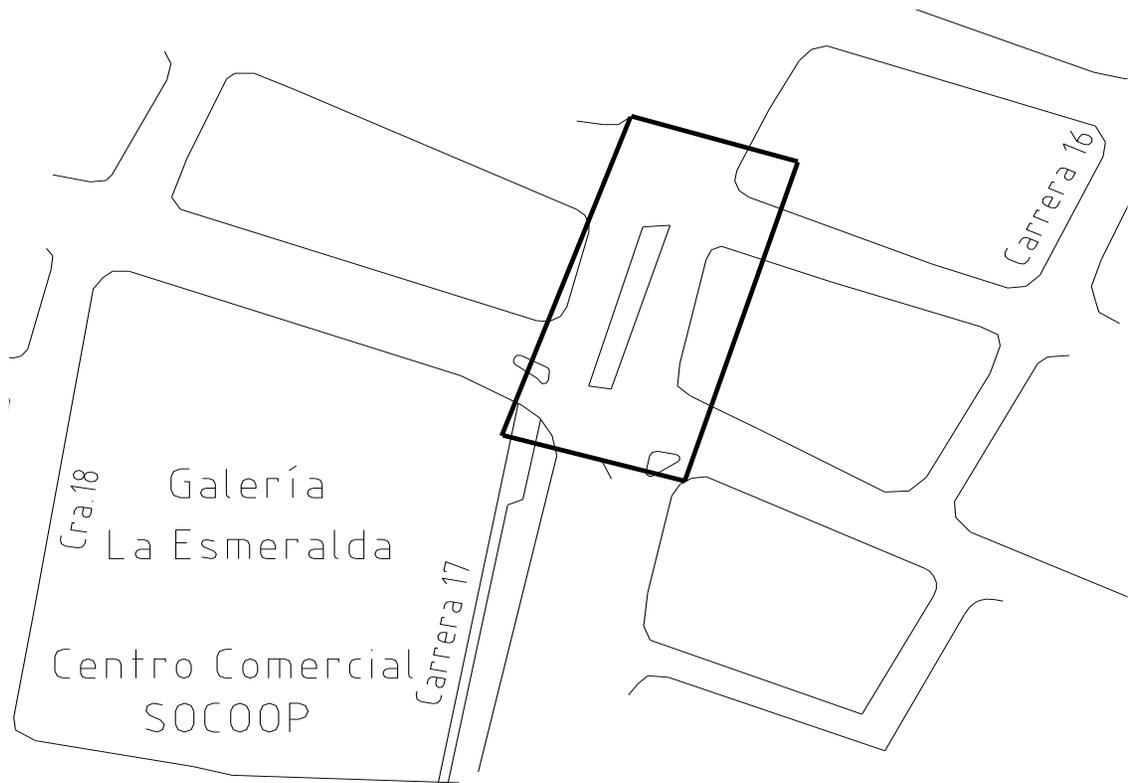
Para este caso el valor de b se tomó los datos del día del no carro, registrados por la CRC, los cuales son los consignados en la tabla 33:

Los valores de L, W y u, se obtuvieron de la misma manera que para las fuentes de área, siendo estos $L = 84.788$ m, $W = 38.056$ m y $u = 1.5$ m/s. (Ver Figura 24).

El valor de H se tomó como la altura del edificio más alto del sector, $H = 15$ m.

Los valores de q son los valores calculados por IVE model. Ver tabla 42.

Figura 24. Zona de Estudio en el Sector Esmeralda.



9.4.2 Resultados de la aplicación del Modelo de Caja Fija para cada sector

Después de obtener las estimaciones de las emisiones por fuente móviles por medio del Modelo IVE y luego de ingresar estos datos a la hoja de cálculo de elaboración propia, se calcularon las inmisiones por el Modelo de Caja Fija, para el sector Bolívar, Centro y Esmeralda; los cuales se registran en las Tablas 43 a la 45.

Tabla 43. Resultados calidad del aire año 2007 Sector Bolívar.

HORA	PM ₁₀ (ug/m ³)		NO ₂ (ug/m ³)			SO ₂ (ug/m ³)		CO (ug/m ³)				
	VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA	
		A	B		A	B		A	B		A	B
7:00 – 8:00 A.M.	110.838	61.95	20	168.382	88.5	40	20.087	70.80	50	633.180	8850 ^a	10000 ^a
8:00 – 9:00 A.M.	113.045			231.953			20.136			1021.922		
11:30 – 12:30 M	111.486			192.381			20.111			835.051		
12:30 – 1:30 P.M.	111.401			191.312			20.113			854.952		
1:30 – 2:30 P.M.	111.143			186.384			20.114			865.503		
5:30 – 6:30 P.M.	111.082			187.311			20.117			898.525		
6:30 – 7:30 P.M.	110.736			181.876			20.119			921.407		

A. Norma Colombiana, Resolución 0601 de 2006. Tiempo de exposición anual.

B. Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Tiempo de exposición anual.

^a Tiempo de exposición a 8 horas

Tabla 44. Resultados calidad del aire año 2007 Sector Centro

HORA	PM ₁₀ (ug/m ³)		NO _x (ug/m ³)		SO ₂ (ug/m ³)		CO (ug/m ³)					
	VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA				
		A	B		A	B		A	B			
7:00 – 8:00 A.M.	114.289			322.993			20.165			2209.734		
8:00 – 9:00 A.M.	113.281			322.107			20.180			2551.755		
11:30 – 12:30 M	113.003			334.867			20.202			3188.939		
12:30 – 1:30 P.M.	112.298	61.95	20	315.744	88.5	40	20.192	70.8	50	2991.229	8850 ^a	10000 ^a
1:30 – 2:30 P.M.	113.724			350.657			20.208			3241.384		
5:30 – 6:30 P.M.	112.578			326.547			20.206			3476.343		
6:30 – 7:30 P.M.	112.315			304.469			20.184			2975.280		

A. Norma Colombiana, Resolución 0601 de 2006. Tiempo de exposición anual.

B. Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Tiempo de exposición anual.

^a Tiempo de exposición a 8 horas

Tabla 45. Resultados calidad del aire año 2007 Sector Esmeralda

HORA	PM ₁₀ (ug/m ³)		NO _x (ug/m ³)		SO ₂ (ug/m ³)		CO (ug/m ³)					
	VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA		VALOR POPAYAN	VALORES NORMA				
		A	B		A	B		A	B			
7:00 – 8:00 A.M.	131.419	61.95	20	791.676	88.5	40	20.390	70.80	50	2475.613	8850 ^a	10000 ^a
8:00 – 9:00 A.M.	120.067			826.858			20.560			5506.999		
11:30 – 12:30 M	117.028			639.318			20.733			4143.512		
12:30 – 1:30 P.M.	118.455			726.319			20.496			4827.501		
1:30 – 2:30 P.M.	118.654			748.213			20.503			4946.936		
5:30 – 6:30 P.M.	118.788			690.362			20.571			5662.980		
6:30 – 7:30 P.M.	118.900			751.609			20.516			5029.031		

A. Norma Colombiana, Resolución 0601 de 2006. ^a Tiempo de exposición anual.

B. Norma de Organización Mundial de la Salud (OMS). ^a Tiempo de exposición anual.

^a Tiempo de exposición a 8 horas

Los datos de las tablas 43, 44 y 45 se muestran gráficamente en las siguientes Figuras, en donde se muestran para cada periodo de tiempo, las inmisiones de los diferentes contaminantes para cada sector, respectivamente:

Figura 25. Inmisiones por Fuente Móviles en el Sector Bolívar.

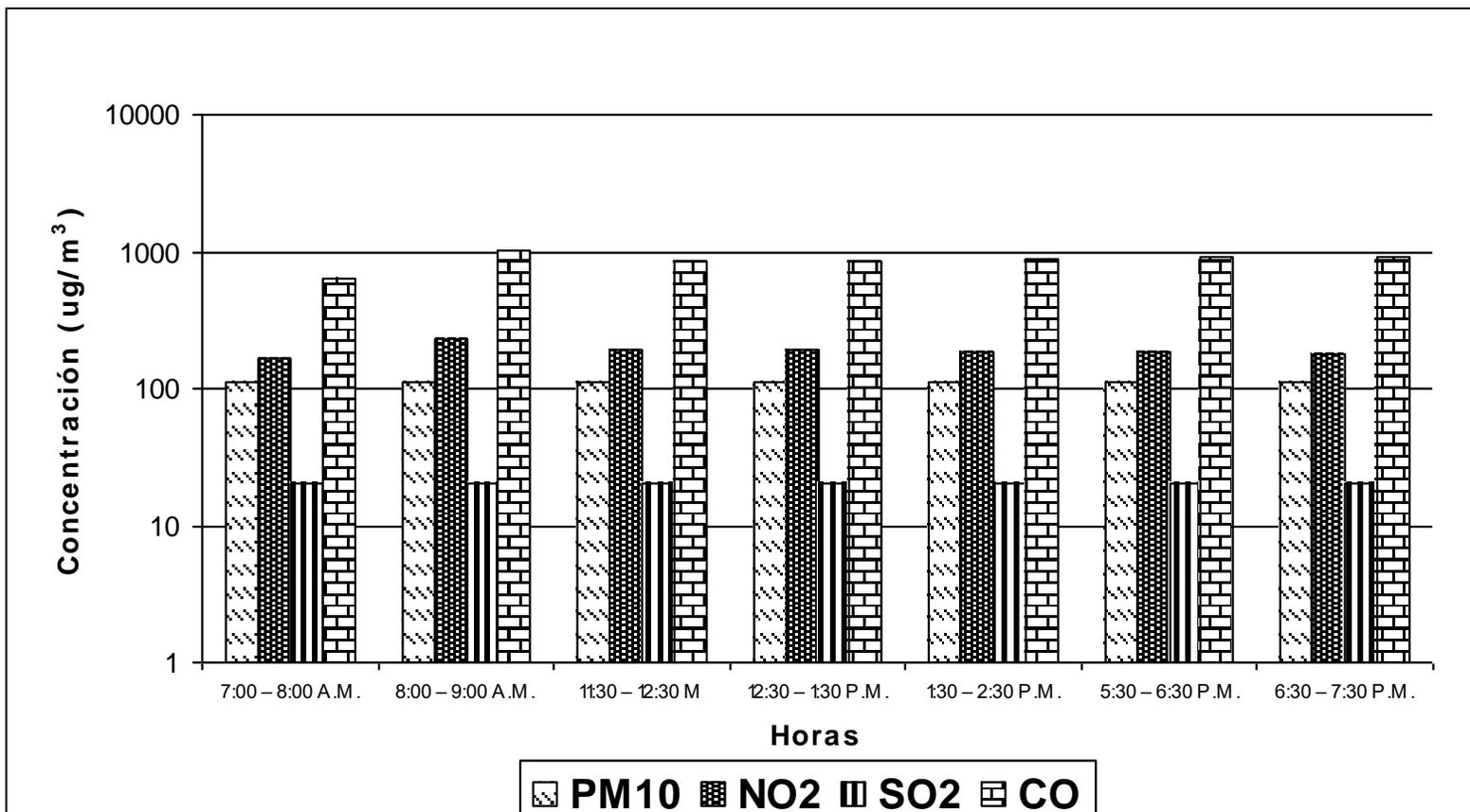


Figura 26. Inmisiones por Fuente Móviles en el Sector Centro.

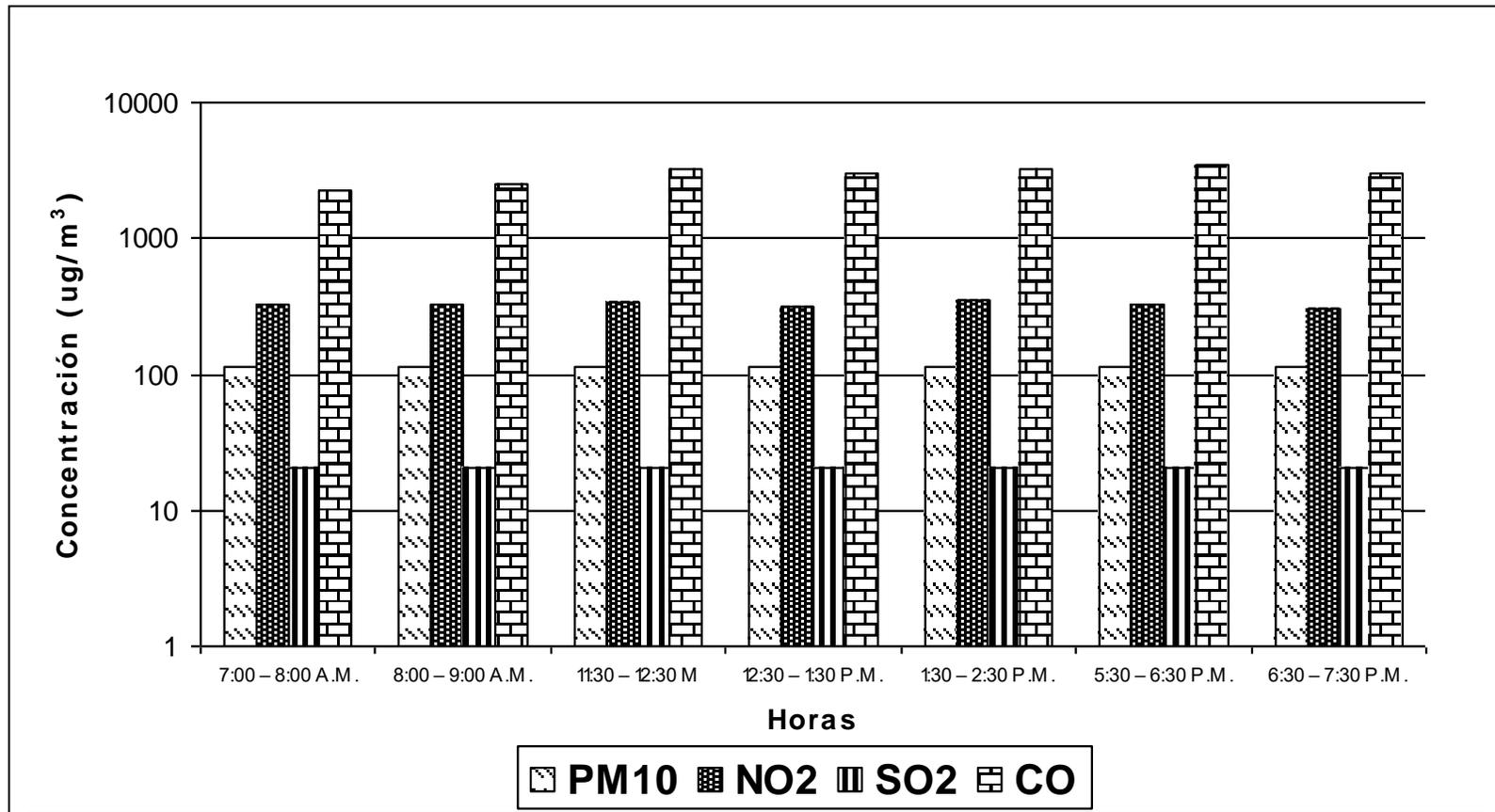
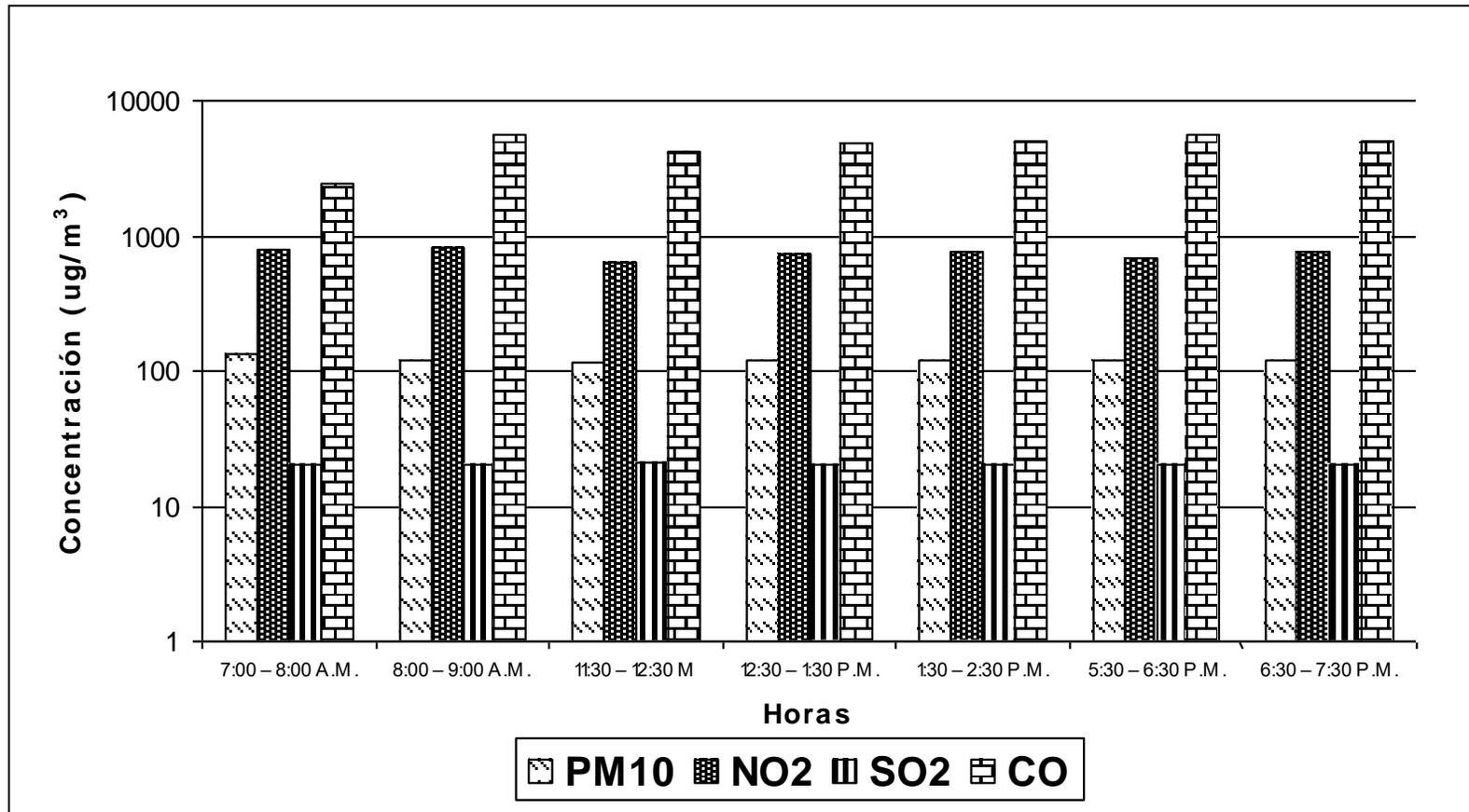


Figura 27. Inmisiones por Fuente Móviles en el Sector Esmeralda.



De acuerdo a las tablas 43, 44 y 45, se muestran gráficamente en las Figuras 28, 29 y 30, los datos de concentración de contaminantes que sobrepasan los niveles permisibles para los tres sectores estudiados.

Figura 28. Inmisiones por Fuente Móviles para PM₁₀ por fuentes móviles en Popayán comparadas con los niveles permisibles

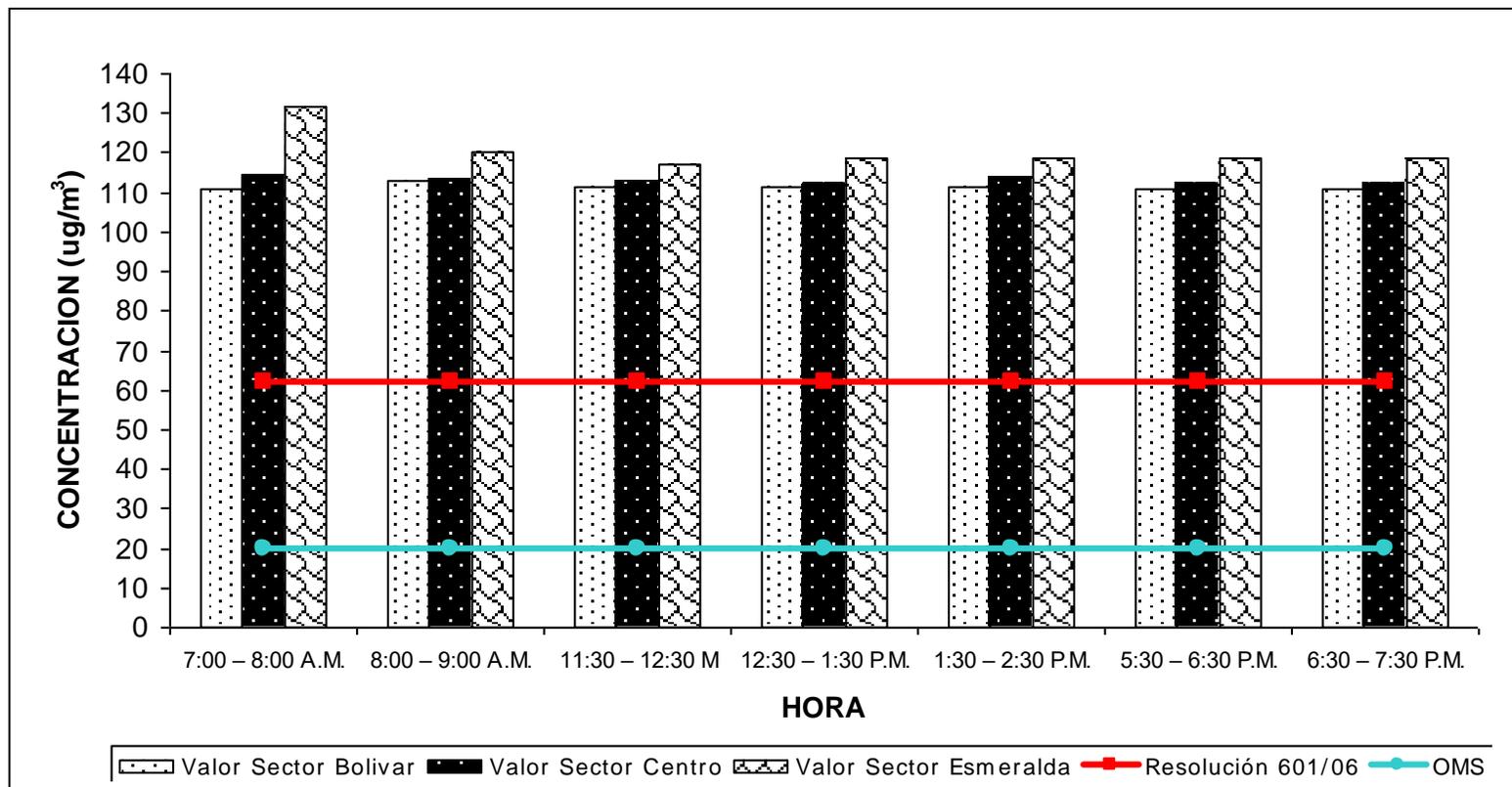


Figura 29. Inmisiones por Fuente Móviles para NO₂ por fuentes móviles en Popayán comparadas con los niveles permisibles.

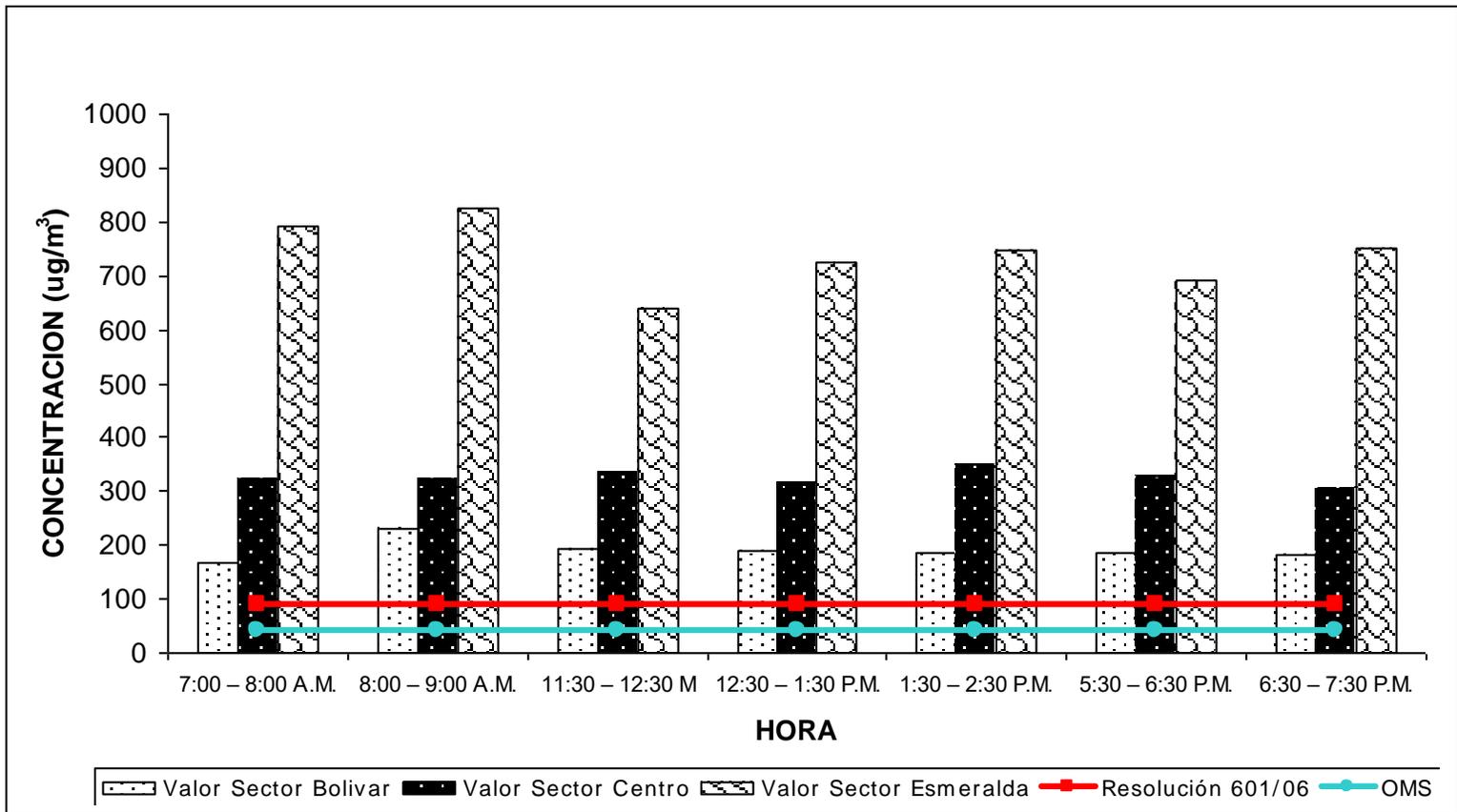
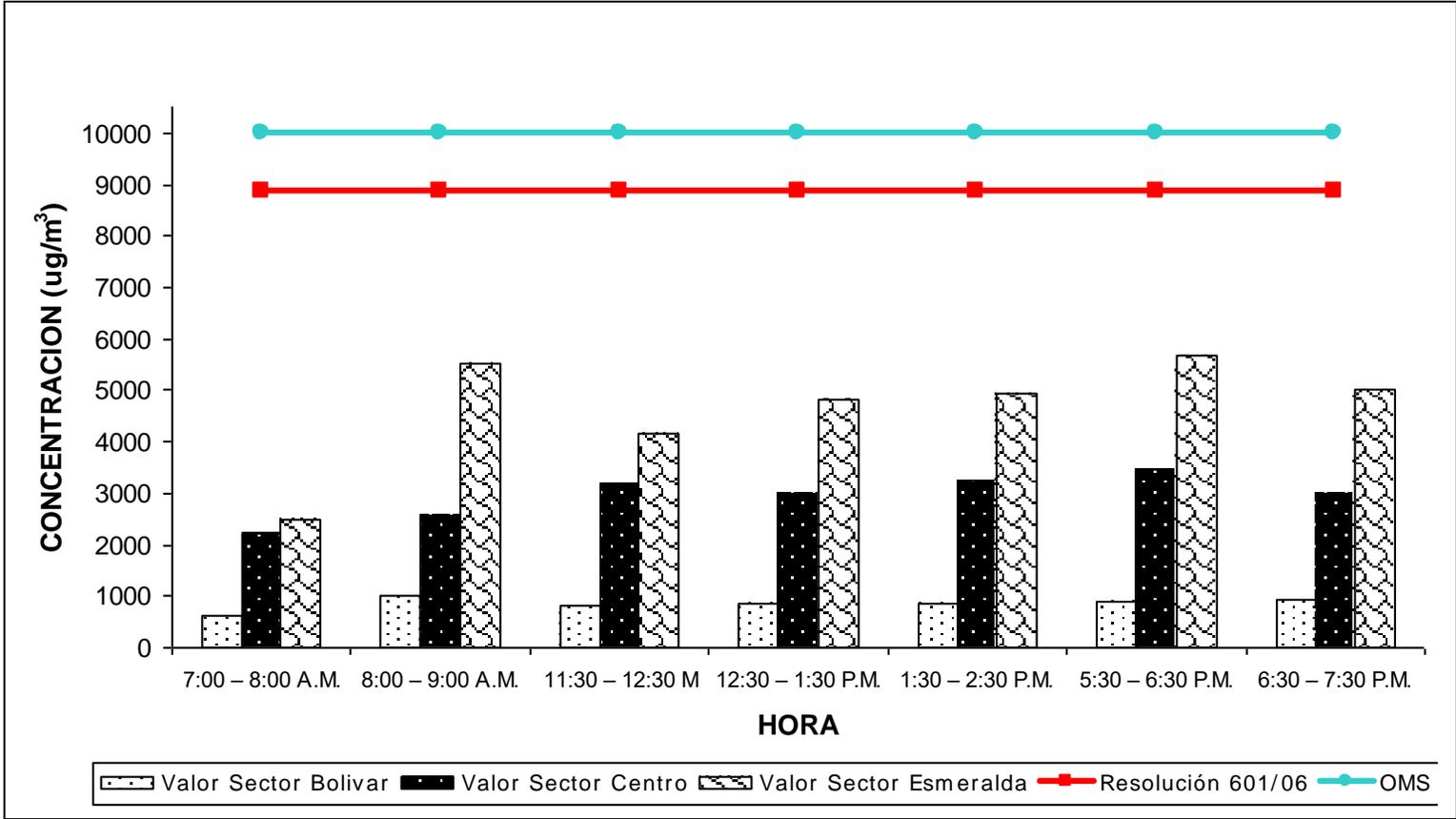


Figura 30. Inmisiones por Fuente Móviles para CO por fuentes móviles en Popayán comparadas con los niveles permisibles.



9.5 ANALISIS DE RESULTADOS DE LAS INMISION DE FUENTES MOVILES

En Popayán las inmisiones generadas por los vehículos automotores contribuyen significativamente en el deterioro de la calidad del aire, lo cual es producto del consumo de combustibles fósiles por el parque vehicular, a su vez es importante mencionar que la conformación del parque vehicular aun tiene integrado vehículos con tecnología carente de dispositivos para el control de la contaminación.

De las mismas Figuras es fácil ver que las concentraciones de los distintos contaminantes varían de acuerdo al intervalo de tiempo en cada sector. Para el caso del PM₁₀ las máximas concentraciones se presentan en el periodo de tiempo comprendido entre las 7:00 y 8:00 de la mañana para los sectores Centro y Esmeralda, para el Bolívar se presenta de 8:00 a 9:00 a.m., mientras que para el NO₂, en los tres sectores las inmisiones máximas se presentan entre las 8:00 a 9:00 de la mañana. En lo que respecta al Monóxido de Carbono los niveles mas altos de concentración se presentan entre 8:00 – 9:00 a.m. en el Bolívar y de 5:30 - 6:30 p.m. en el Centro y la Esmeralda.

De las tablas 43, 44 y 45 se observa que de todos los contaminantes, las concentraciones de SO₂ son las mas parecidas al realizar la comparación entre sectores, a pesar que en el sector que transita una mayor cantidad de vehículos es La Esmeralda, seguida por el centro y luego el Bolívar.

Los niveles máximos permisibles de concentración de contaminantes establecidos por la Resolución 0601 de 2006 y la Organización Mundial de la Salud, sólo se ven superados por el PM₁₀ y el NO₂ (en todos los rangos de tiempo), situación que provocaría dependiendo del tipo de contaminante, efectos perjudiciales en la salud humana.

En lo que respecta al PM₁₀ los efectos en la salud son amplios, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Las evidencias de la vinculación entre contaminación del aire y bronquitis crónica están bien establecidas. En la bronquitis crónica, la inflamación característica va acompañada de la producción excesiva de moco y una tos productiva y persistente. También, el PM puede agravar enfermedades respiratorias y cardíacas preexistentes y causar daño al tejido pulmonar. Los grupos más vulnerables a los efectos del PM son las personas con influenza, con enfermedades pulmonares y cardíacas crónicas, asmáticos, adultos mayores y niños.

Para el NO₂, se presentarían ligeros cambios en la función pulmonar de individuos asmáticos y niños, en estudios con animales se ha reportado que la exposición de corto plazo al NO₂ puede debilitar los mecanismos de defensa e incrementar la susceptibilidad a infecciones respiratorias. En estudios de exposición a largo plazo se han demostrado cambios estructurales en los pulmones de animales.

10. EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO

La identificación de la magnitud y fuentes de emisión de Gases de Efecto Invernadero en la Ciudad de Popayán es una herramienta fundamental para la planeación de su desarrollo económico y ambiental y el cumplimiento de los compromisos internacionales, ya que, debido a la presencia en el aire que se respira de las distintas sustancias que dan lugar al efecto invernadero estos pueden causar serios daños a la salud de las personas, es por eso que este estudio se decidió complementarlo con los resultados y análisis de contaminantes como el CO₂, el CH₄, el N₂O y los COV.

En primera instancia, se debe tener en cuenta que el efecto invernadero se presenta cuando la radiación de luz solar que entra queda atrapada por una combinación de gases activos respecto a la radiación. La energía luminosa del sol (radiación de longitud de onda corta) que pasa a través de la atmósfera de la tierra es absorbida por la superficie de la tierra y reflejada a la atmósfera como energía calorífica (radiación de longitud de onda larga). Entonces la energía calorífica es atrapada por la atmósfera creando una situación semejante a la que se presenta en un invernadero o en un automóvil cuando se suben las ventanillas. Muchos científicos creen que la emisión de estos gases hacia la atmósfera puede aumentar el efecto invernadero y contribuir al calentamiento global. A continuación se describe cada uno de estos gases.

El bióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e inodoro que existe naturalmente en la atmósfera de la tierra. También se emiten cantidades significativas por la combustión de combustibles fósiles.

El metano (CH₄) es el hidrocarburo gaseoso más abundante y estable en la atmósfera. La estimación más reciente de su tiempo de vida en la atmósfera es de 11 años (IPCC, 1993). Las reacciones químicas en las que participa dentro de la troposfera pueden llevar a la producción de ozono y la reacción con radicales hidroxilo (OH) en la estratosfera produce vapor de agua. Esto es importante debido a que tanto el ozono como el vapor de agua son gases de invernadero, al igual que el CO₂ que es el producto final de la oxidación del metano. Algunas fuentes antropogénicas de metano importantes son las operaciones en las minas de carbón, la producción de gas natural, los arrozales, la ganadería y la quema de biomasa. También se forma metano por la descomposición bacteriana de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (por ejemplo, residuos animales, tratamiento de aguas residuales domésticas y rellenos sanitarios).

El óxido nitroso (N₂O) es un importante gas de invernadero con una vida atmosférica de 110 - 168 años (WMO, 1992). Después de ser liberado es prácticamente inerte y rara vez participa en reacciones químicas en la troposfera.

También es la fuente principal de NO_x en la estratosfera, lo que está contribuyendo al agotamiento del ozono estratosférico. Más del 20 por ciento de las emisiones globales totales de N₂O y el 50 por ciento de las emisiones totales de N₂ pueden deberse a emisiones terrestres naturales (IPCC, 1993). La fuente antropogénica más importante de N₂O es el aumento del uso de fertilizantes nitrogenados. Otras fuentes potencialmente significativas de óxido nitroso incluyen la combustión de combustibles fósiles y la quema de biomasa (Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, 1997).

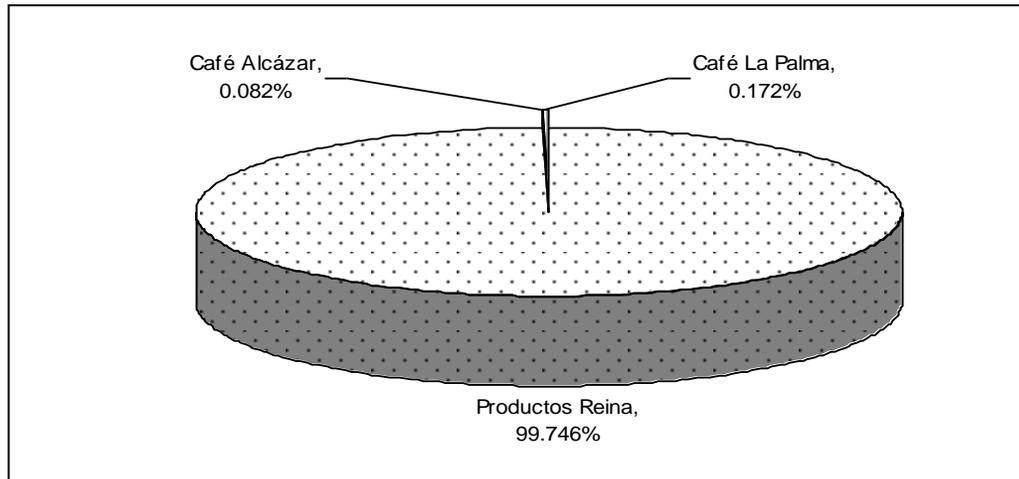
En cuanto a la metodología utilizada para calcular los resultados de las emisiones para gases de Efecto Invernadero, se obtuvieron empleando las mismas (Factores de Emisión de la EPA, CORENOSTOS y el Modelo IVE), que se utilizaron para el cálculo de emisiones de los contaminantes criterio para las Fuentes Puntuales, de Área y Móviles, arrojando los siguientes valores:

Tabla 46. Emisiones de Contaminantes Efecto Invernadero generadas por Fuentes Puntuales.

FUENTE	CONTAMINANTE	EMISIONES (lb/mes)
Productos Reina	COV	267.12
Café Alcázar	CO ₂	45
	COV	0.22
Café La Palma	CO ₂	95.40
	COV	0.46
Friesland calderas:	CO ₂	168750
	CH ₄	2.7
	N ₂ O	12.15
Friesland Plantas 1 y 2:	CO ₂	27500
	CH ₄	0.12
	N ₂ O	0.54
Friesland Planta 3	CO ₂	275000
	CH ₄	4.4
	N ₂ O	19.8

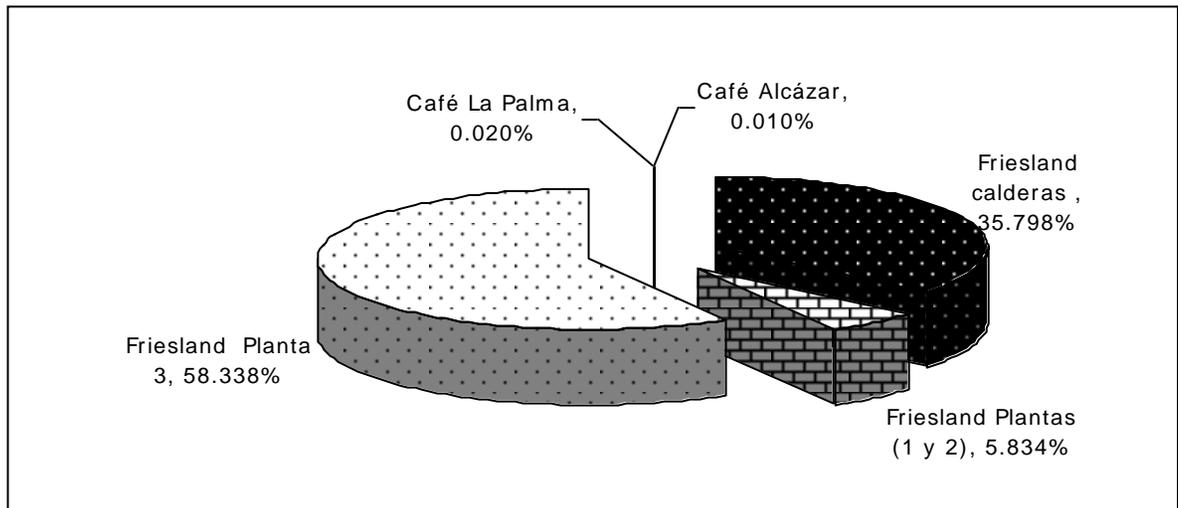
Para las emisiones de contaminantes que producen calentamiento global producidas por Fuentes Puntuales se graficaron por tipo de contaminante para comparar la contribución de cada industria, como seguidamente se muestra.

Figura 31. Emisión de COV generadas por las distintas Fuentes Puntuales.



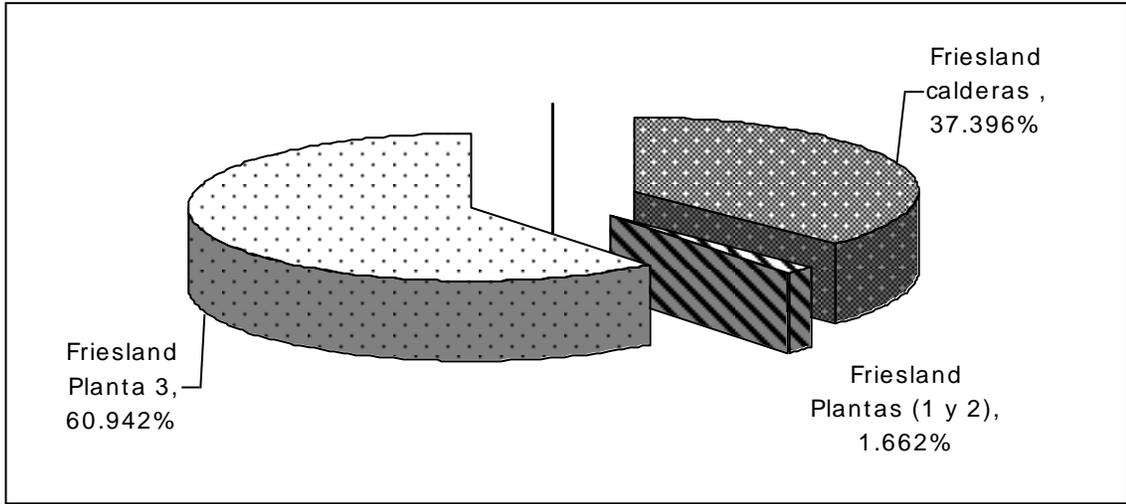
Como se muestra en la Figura anterior, el 99.746% de la emisión total de COV tiene origen en Productos Reina, el 0.172% en Café la Palma y el 0.082% en Café Alcázar y 0% para las demás fuentes puntuales, lo que podría atribuirse a los distintos tipos de combustibles que se utilizan.

Figura 32. Emisión de CO₂ generadas por las distintas Fuentes Puntuales.



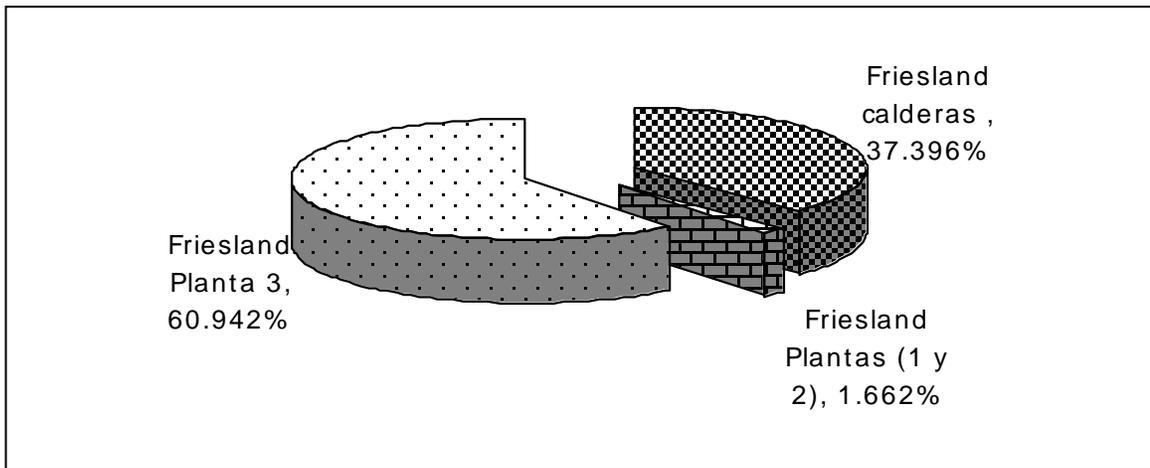
Como se enseña en la Figura 32, el mayor porcentaje de la emisión total de CO₂ tiene origen en la Planta 3 de Friesland con un valor de 58.338 %, seguida por las emisiones de las calderas con un 35.798 % de contribución y de las plantas (1 Y 2) con un 5.834 % de la misma fabrica, y finalmente las que menos contribuyen con esta emisiones son Café Alcázar y Café La Palma, con porcentajes por debajo del 1%.

Figura 33. Emisión de CH₄ generadas por las distintas Fuentes Puntuales.



En cuanto a los porcentajes de contribución de las emisiones de Metano, se tiene que el 100% lo emite Friesland Colombia, principalmente la planta 3 con un 60.942 %.

Figura 34. Emisión de NO₂ generadas por las distintas Fuentes Puntuales.



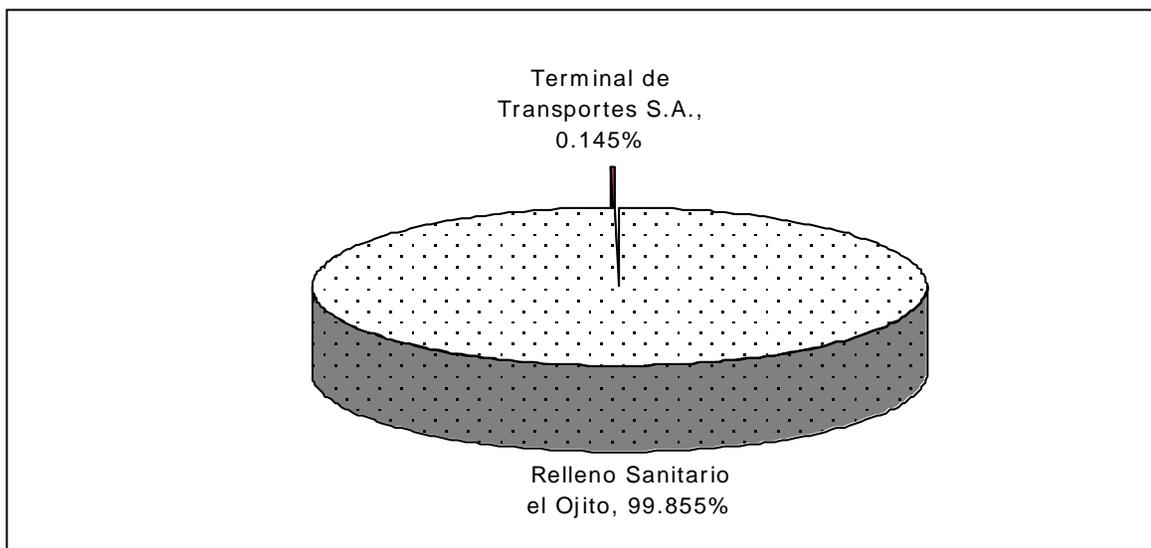
Como se muestra en la Figura anterior, las emisiones totales de N₂O son debidas solo a la Fuente Puntual Friesland Colombia, en donde el 60.942% de la emisión total de N₂O tiene origen la planta 3 (que es la mas utilizada y requiere mayor cantidad de combustible), el 37.396 % para las dos calderas y el 1.662% para las plantas 1 y 2.

Tabla 47. Emisiones de Contaminantes Efecto Invernadero generadas por Fuentes de Área.

FUENTE	CONTAMINANTE	EMISIONES (µg/s)
Relleno Sanitario el Ojito	CH ₄	457175.93
	CO ₂	23.148
Terminal de Transportes S.A.	CO ₂	3.5 E+05
	COV	8427.95
	CH ₄	665.65
	N ₂ O	18.99

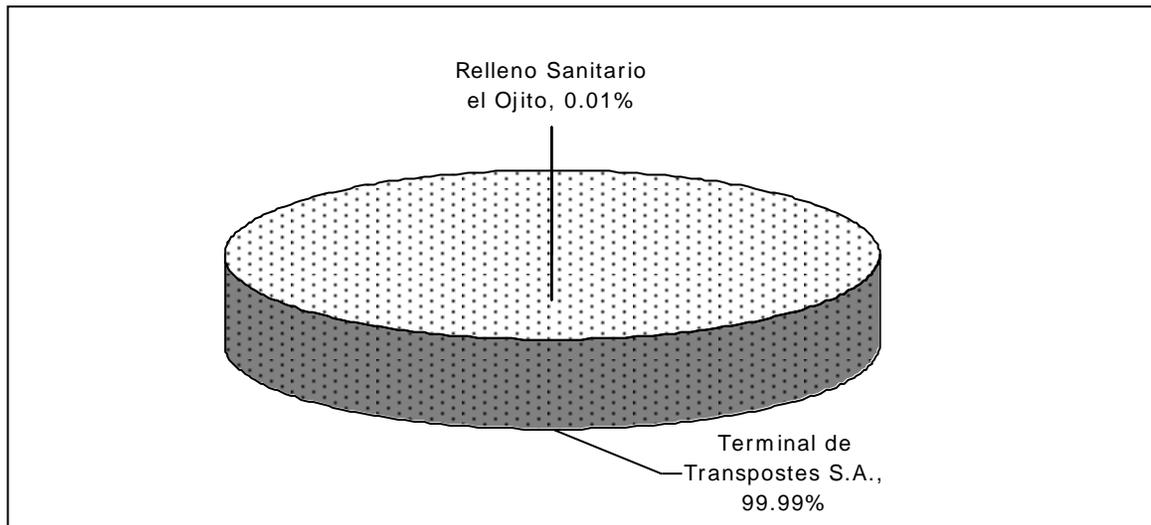
Para las emisiones de contaminantes Efecto Invernadero producidas por Fuentes de Área se representan con la Figura 35 el aporte del Relleno Sanitario y La Terminal de Transportes en cuanto a emisiones de CH₄ y en la Figura 36 se muestran los porcentajes de participación por tipo de gas Efecto Invernadero generadas por la Terminal de Transportes S.A.

Figura 35. Emisión de CH₄ generadas por las dos Fuentes de Área.



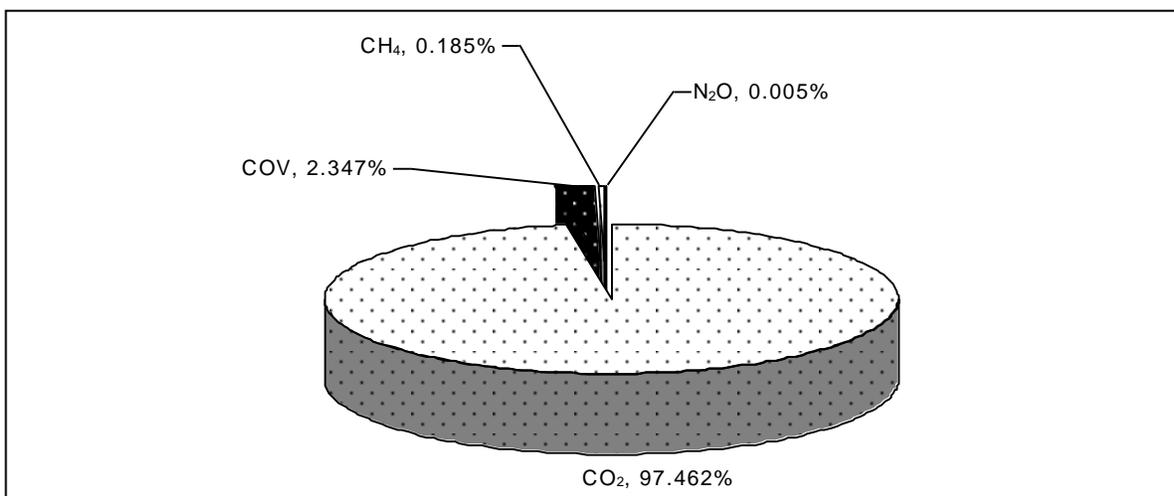
La Figura anterior indica que el mayor aporte de CH₄ generado por las Fuentes de Área, lo representa el Relleno Sanitario el Ojito con un 99.855% del total.

Figura 36. Emisión de CO₂ generadas por las dos Fuentes de Área.



La Figura 36 indica que el mayor aporte de CO₂ generado por las Fuentes de Área, lo representa el Terminal de Transportes con un 99.99% y el Relleno Sanitario el Ojito en menor porcentaje con el 0.01%.

Figura 37. Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por la Terminal de Transportes S.A.



Como se indica en la Figura 37 el mayor porcentaje de participación es del CO₂ con el 97.462 %, lo sigue el COV con un 2.347%, y con porcentajes menores al 1% se tienen las emisiones de CH₄ y N₂O para la Terminal de Transportes S.A.

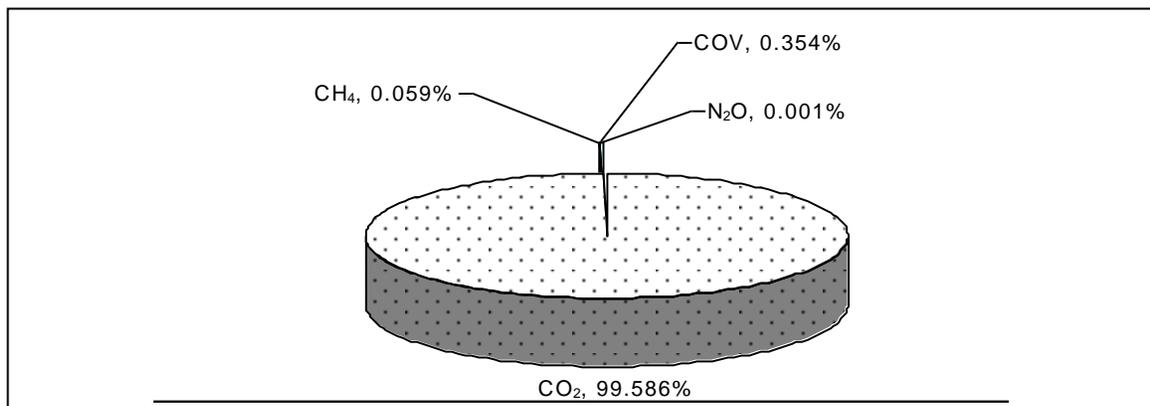
Tabla 48. Resultados de Emisiones para el total de vehículos del sector Bolívar^a

HORA	EMISIONES POR CONTAMINANTE en µg/s			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	COV
7:00-8:00 A.M.	1.23E+07	149	6489	42616
8:00-9:00 A.M.	1.87E+07	232	10737	67968
11:30-12:30 M.	1.71E+07	217	10559	55884
12:30-1:30 P.M.	1.54E+07	193	9058	56811
1:30-2:30 P.M.	1.54E+07	192	9171	57039
5:30-6:30 P.M.	1.57E+07	199	9617	59255
6:30-7:30 P.M.	1.57E+07	201	9957	52191

*El total de vehículos solo se refiere a la suma de la cantidad de vehículos tipo bus, taxi y particulares.

Para las emisiones de contaminantes Efecto Invernadero producidas por Fuentes Móviles para el sector Bolívar, se representan con la Figura 38 la participación de cada contaminante para el total de las 7 horas del día estudiadas. Y en las Figuras 39 a 42 se muestra la contribución por contaminante para cada periodo de tiempo.

Figura 38. Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.



Como se muestra en la Figura 38, el mayor porcentaje de participación es del CO₂ con el 99.586 %, lo sigue el COV con un 0.354 %, y con porcentajes menores al 0.1% se tienen las emisiones de CH₄ y N₂O para el Sector Bolívar.

Figura 39. Emisión de CO₂ generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.

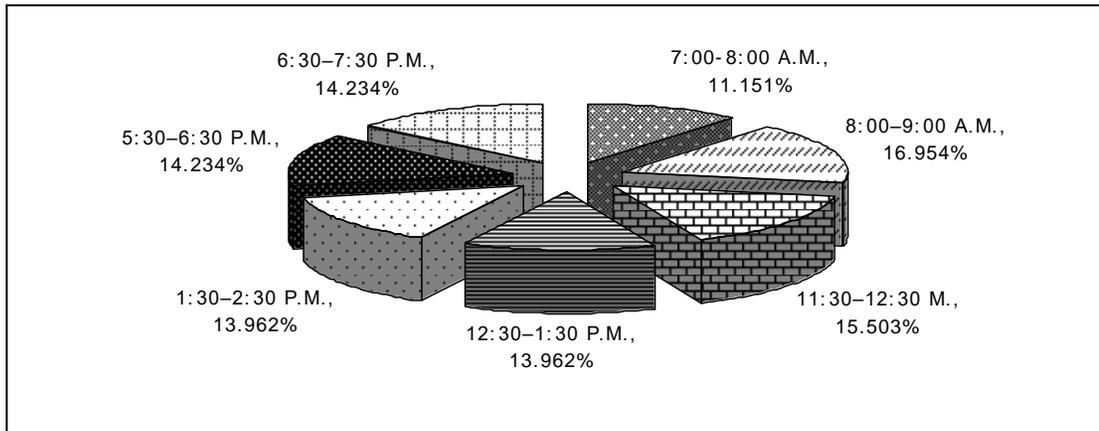


Figura 40. Emisión de N₂O generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.

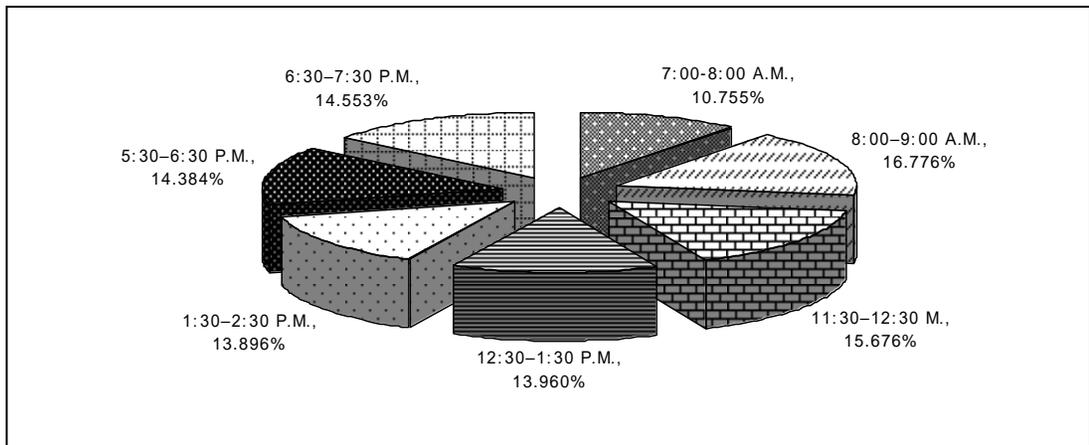


Figura 41. Emisión de CH₄ generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.

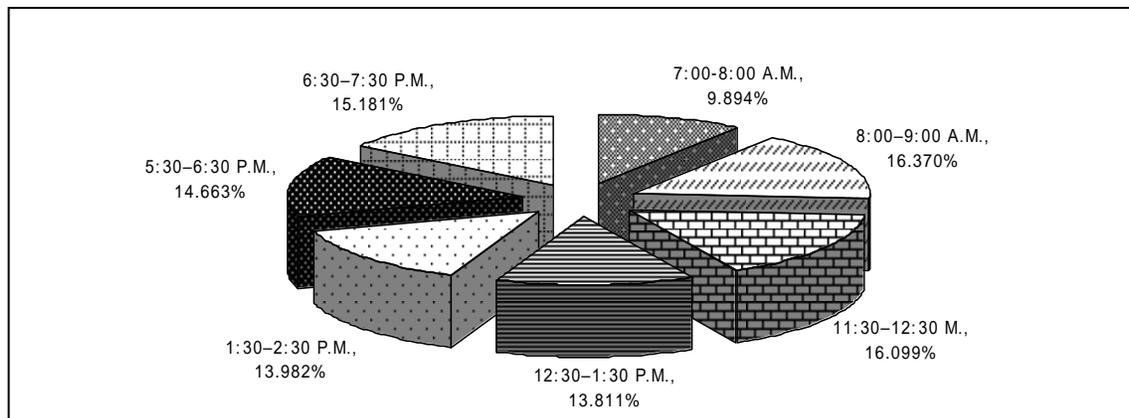
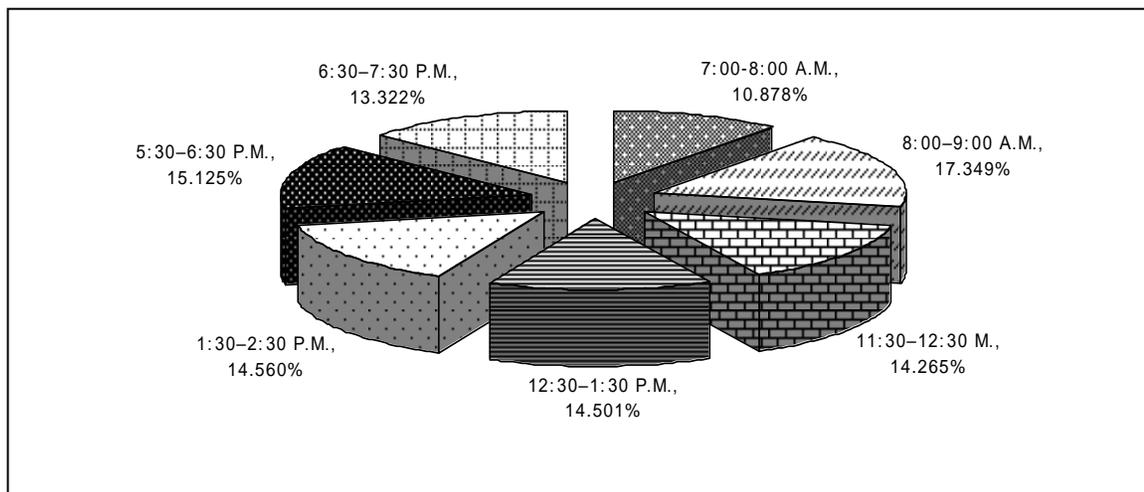


Figura 42. Emisión de COV generadas por Fuentes Móviles en el sector Bolívar.



En relación a las Figuras 39 a 42 en donde se muestra la contribución por contaminante para cada periodo de tiempo, se observa como para el mismo contaminante en los diferentes periodos de tiempo los porcentajes de participación son similares y están aproximadamente dentro del 9.894% y el 17.349 % para los cuatro tipo de contaminantes (CO₂, N₂O, CH₄ y COV), teniéndose además que entre las 8:00 a 9:00 de la mañana se presentan las mayores emisiones de los contaminantes Efecto Invernadero en el sector Bolívar.

Tabla 49. Resultados de Emisiones para el total de vehículos del sector Centro^a

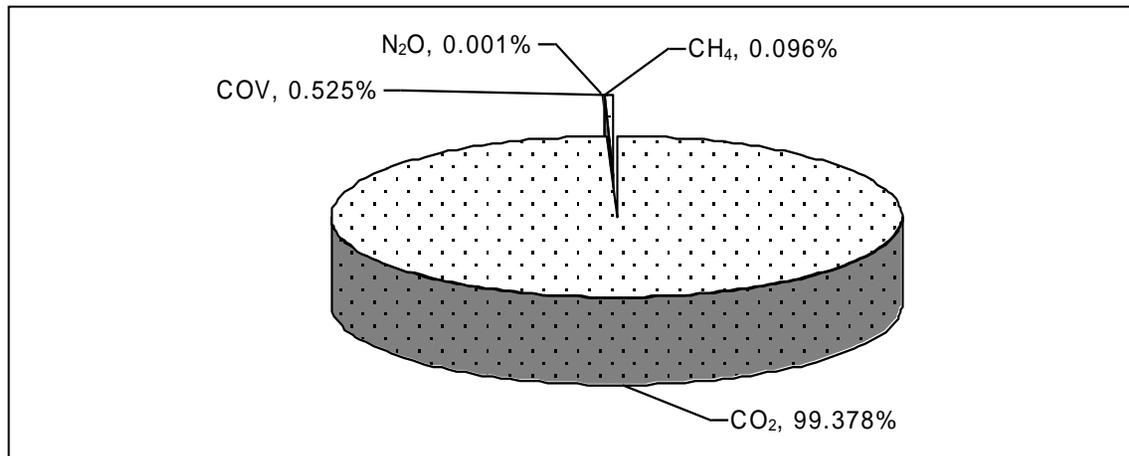
HORA	EMISIONES POR CONTAMINANTE en µg/s			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	COV
7:00-8:00 A.M.	2.47E+08	3371	192869	1143974
8:00-9:00 A.M.	2.54E+08	3750	228371	1316620
11:30-12:30 M.	2.76E+08	4186	271762	1538659
12:30-1:30 P.M.	2.60E+08	4020	260977	1469795
1:30-2:30 P.M.	3.18E+08	4983	320535	1559982
5:30-6:30 P.M.	2.89E+08	4478	301676	1587808
6:30-7:30 P.M.	2.51E+08	3750	245991	1395981

^aEl total de vehículos solo se refiere a la suma de la cantidad de vehículos tipo bus, taxi y particulares.

Para las emisiones de contaminantes Efecto Invernadero producidas por Fuentes Móviles para el sector Centro, se indica con la Figura 43 la participación de cada contaminante para el

total de las 7 horas del día estudiadas. Y en las Figuras 44 a 47 se muestra la contribución por contaminante para cada periodo de tiempo.

Figura 43. Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.



Como se presenta en la Figura 43, el mayor porcentaje de participación es del CO₂ con el 99.378 %, lo sigue el COV con un 0.525 %, y con porcentajes menores al 0.1% se tienen las emisiones de CH₄ y N₂O para el Sector Centro.

Figura 44. Emisión de CO₂ generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.

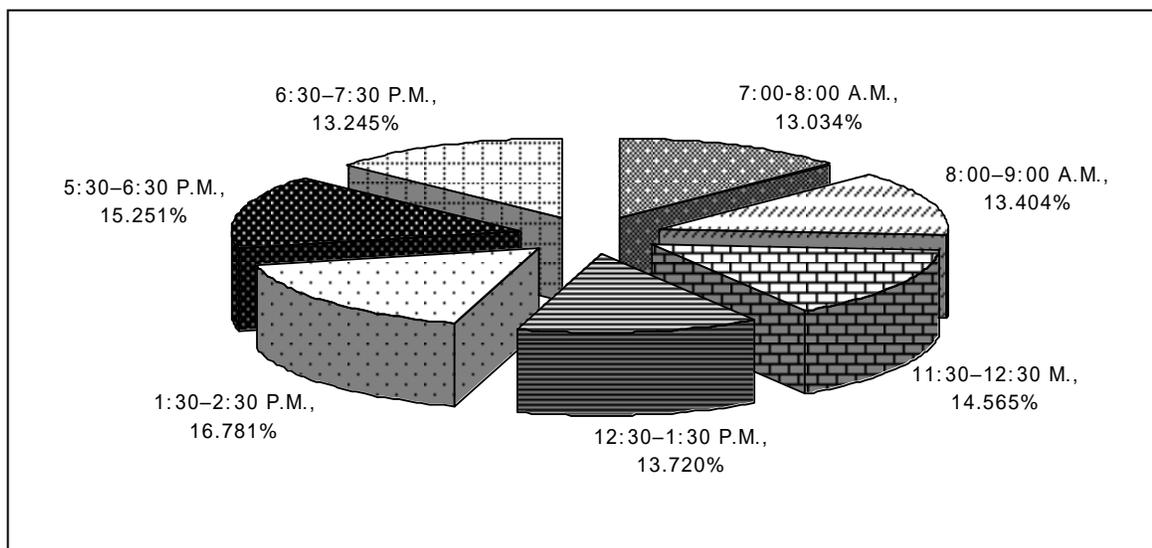


Figura 45. Emisión de N₂O generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.

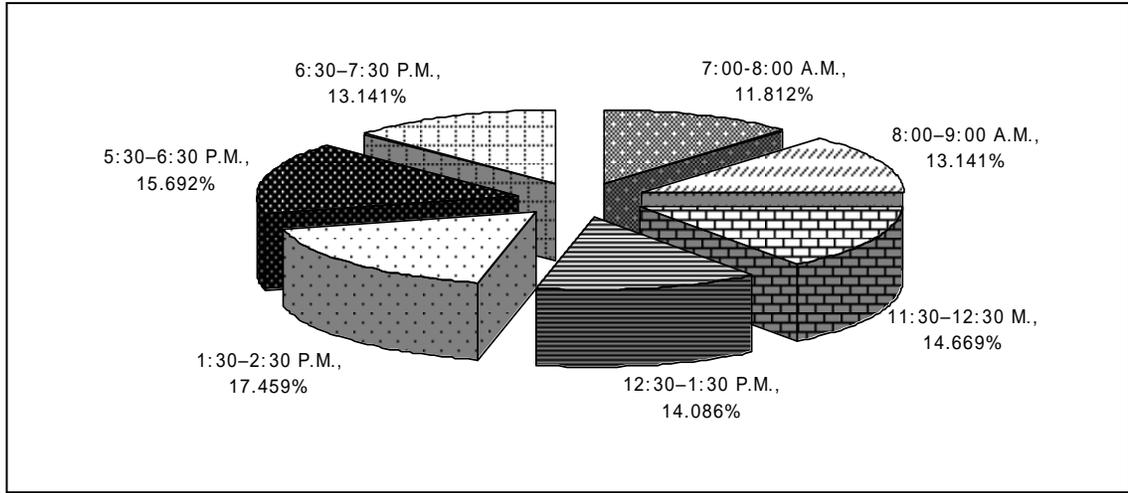


Figura 46. Emisión de CH₄ generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.

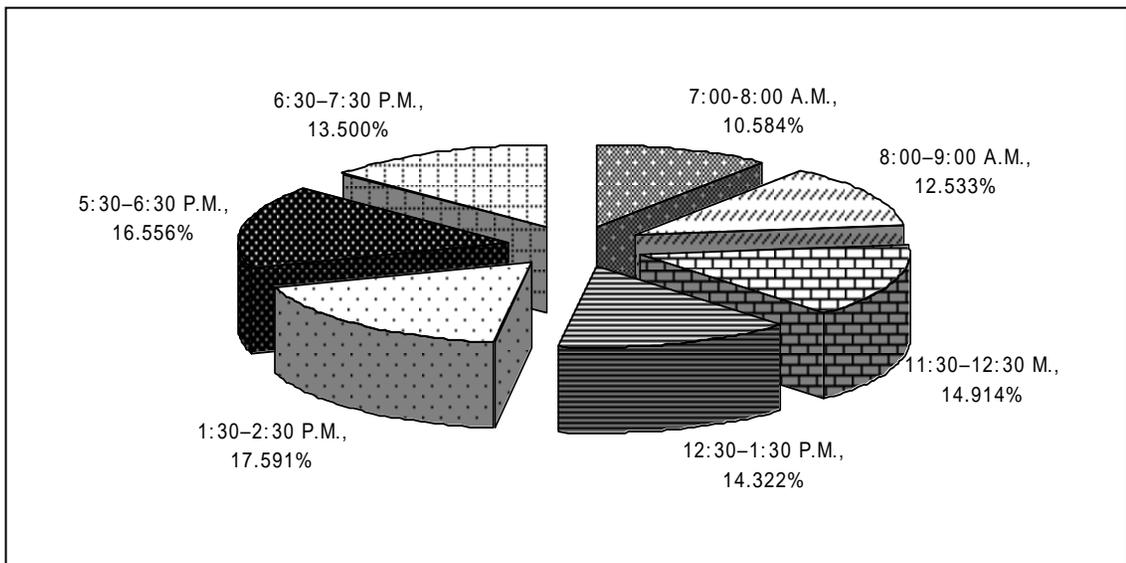
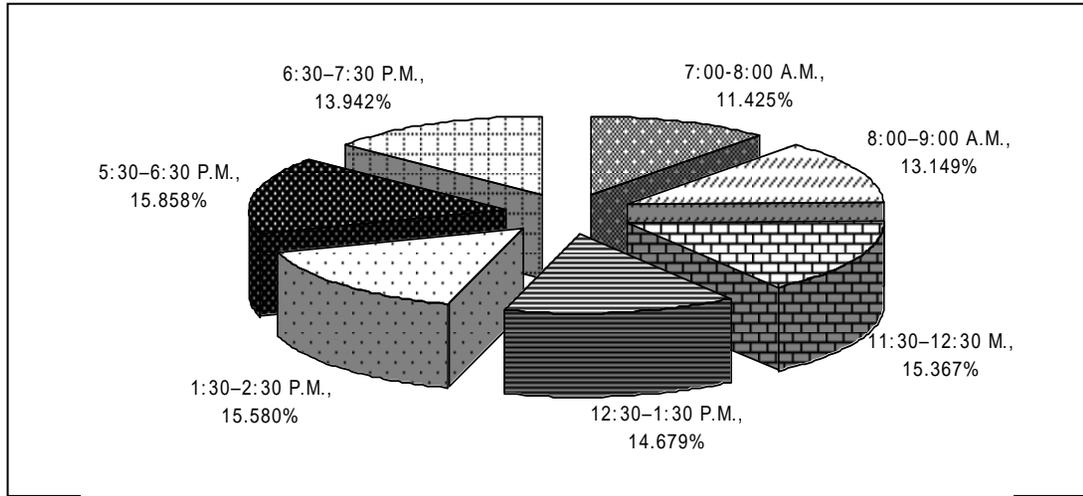


Figura 47. Emisión de COV generadas por Fuentes Móviles en el sector Centro.



En relación a las Figuras 44 a 47 en donde se muestra la participación por contaminante para cada periodo de tiempo, se observa como para el mismo contaminante en los diferentes periodos de tiempo los porcentajes de participación son similares y están aproximadamente dentro del 10.584% y el 17.591 % para los cuatro tipo de contaminantes (CO₂, N₂O, CH₄ y COV), teniéndose además que entre las 1:30 a 2:20 de la tarde se presentan las mayores emisiones de CO₂, N₂O, CH₄ y para el COV se emiten mayores porcentajes en el periodo comprendido entre las 5:30 a 6:30 p.m.

Tabla 50. Resultados de Emisiones para el total de vehículos del sector Esmeralda^a

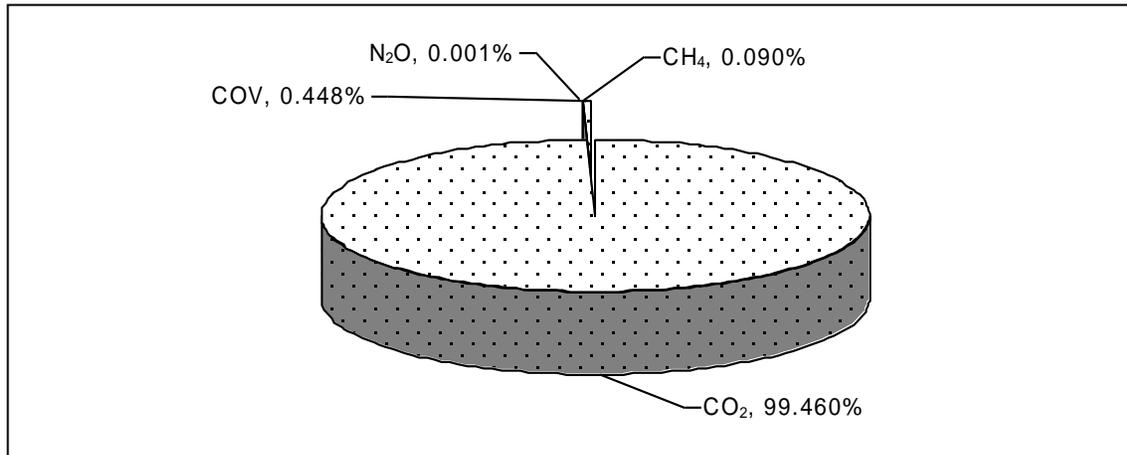
HORA	CONCENTRACIÓN CONTAMINANTE en µg/s			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	COV
7:00-8:00 A.M.	9.47E+07	1390	84873	222221
8:00-9:00 A.M.	1.06E+08	1564	97422	518001
11:30-12:30 M.	8.14E+07	1178	72723	387601
12:30-1:30 P.M.	9.39E+07	1360	84386	463439
1:30-2:30 P.M.	9.52E+07	1408	87593	465763
5:30-6:30 P.M.	1.07E+08	1564	98573	523863
6:30-7:30 P.M.	9.78E+07	1412	87688	467189

^a El total de vehículos solo se refiere a la suma de la cantidad de vehículos tipo bus, taxi y particulares.

Para las emisiones de contaminantes Efecto Invernadero producidas por Fuentes Móviles para el sector Esmeralda, se muestra con la Figura 48 el aporte de cada contaminante para el

total de las 7 horas del día estudiadas. Y en las Figuras 49 a 52 se representa la contribución por contaminante para cada periodo de tiempo.

Figura 48. Emisión de gases Efecto Invernadero generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.



Como se presenta en la Figura 48, el mayor porcentaje de participación es del CO₂ con el 99.460 %, lo sigue el COV con un 0.448 %, y con porcentajes menores al 0.1% se tienen las emisiones de CH₄ y N₂O para el Sector Esmeralda. Situación que es común para los tres sectores

Figura 49. Emisión de CO₂ generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.

Figura 50. Emisión de N₂O generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.

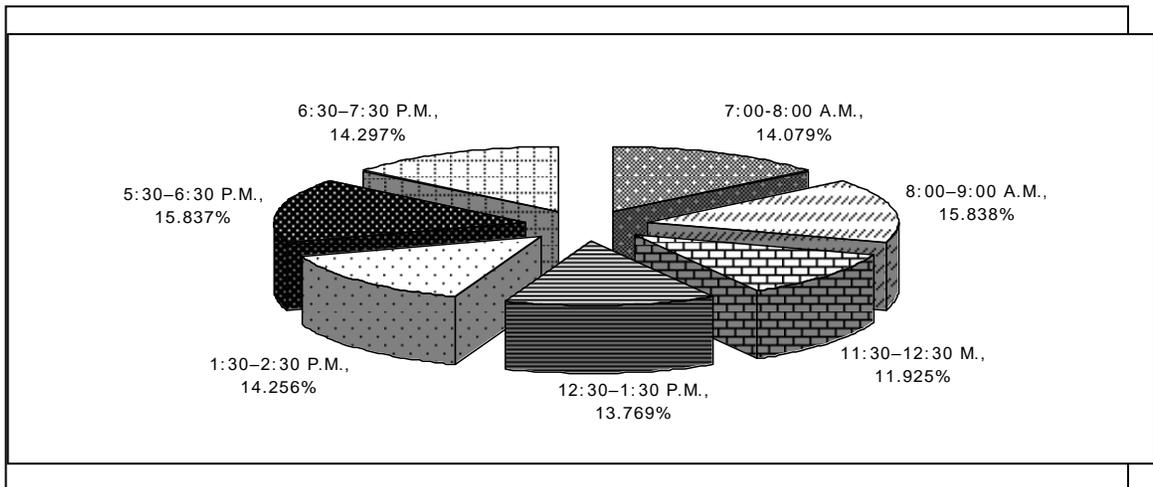


Figura 51. Emisión de CH₄ generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda.

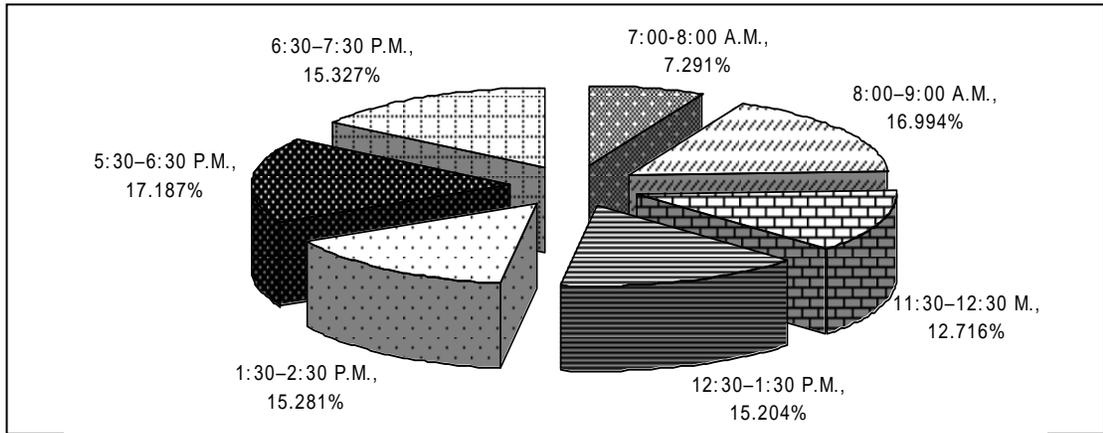
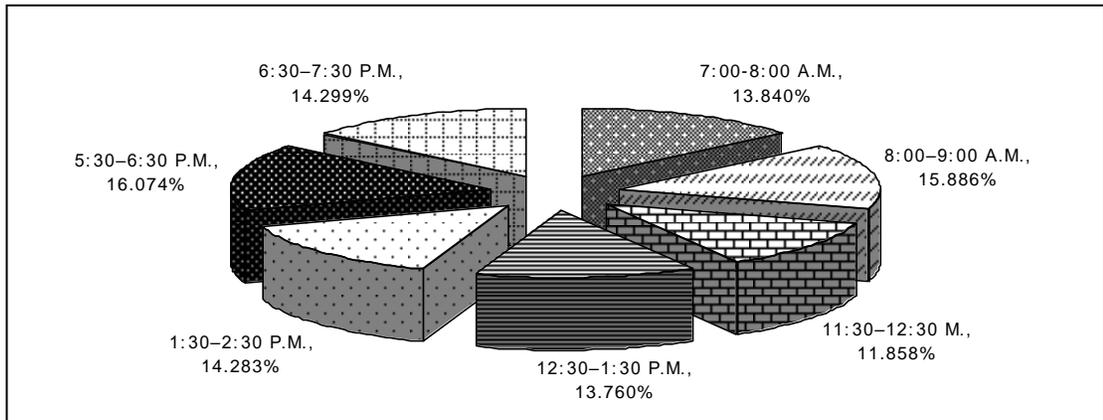


Figura 52. Emisión de COV generadas por Fuentes Móviles en el sector Esmeralda. En cuanto a las Figuras 49 a 52 en donde se muestra al aporte por contaminante para cada



periodo de tiempo, se observa como para el mismo contaminante en los diferentes periodos de tiempo los porcentajes de participación son similares y están aproximadamente dentro del 7.291% y el 17.187 % para los cuatro tipo de contaminantes (CO₂, N₂O, CH₄ y COV), teniéndose además que se presentan se emiten mayores porcentajes de CO₂, N₂O, CH₄ y de COV en el periodo comprendido entre las 5:30 a 6:30 p.m. para este sector.

Para tener una visión global de las emisiones de GEI por las distintas fuentes, a continuación se muestra la Tabla 53 en la cual se hace un consolidado de estos:

Tabla 51. Consolidado de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero.

Emisiones Ton/Año	Popayán 2007				Emisiones para Colombia (a)
	Fuentes Fijas	Fuentes de Área	Fuentes Móviles	Total	
CO ₂	2565.816	10.887	83399.155	85975.858	1.0913E+14

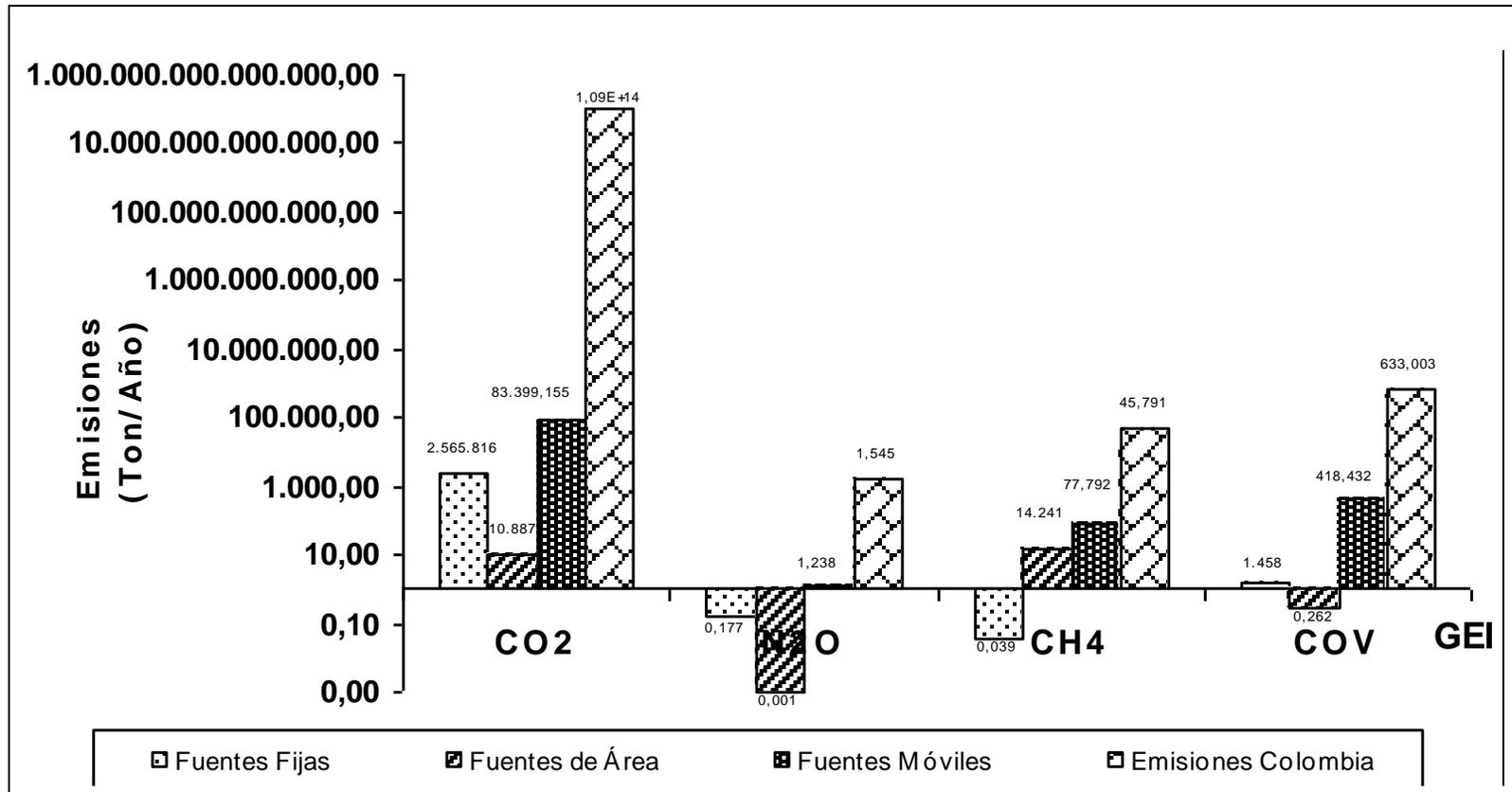
N₂O	0.177	0.001	1.238	1.416	1545
CH₄	0.039	14.241	77.792	92.072	45791
COV	1.458	0.262	418.432	420.152	633003

(a) Opciones para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia 1998-2010 (Rodríguez). Las Emisiones corresponden a las proyectadas para el Año 2007 en Colombia por Sectores Económicos: Comercial, Industrial, Rural, Urbano, Transporte, Electricidad y Transformación.

De la Tabla anterior, cabe resaltar que la participación (%) que tiene la ciudad de Popayán en la Emisión de Gases de Efecto Invernadero para Colombia es de $7.64E-08$, 0.092, 0.2 y 0.066 para el CO₂, N₂O, CH₄ y COV respectivamente. Además, que tanto para el CO₂, como para el N₂O, CH₄ y el COV, son las fuentes móviles las que realizan las mayores emisiones en comparación con las Fuentes Fijas y las de Área.

A continuación, se muestra gráficamente la participación que tienen las fuentes emisoras en la emisión de cada uno de los diferentes gases de efecto invernadero y se compara con la emisión total para Colombia:

Figura 53. Aportes de las Fuentes Fijas, de Área y Móviles en la Emisión de cada uno de los Gases de Efecto Invernadero.



Finalmente, de los gases efecto invernadero, el que se emite en mayor cantidad a nivel mundial por actividades humanas es el CO₂ (Pabón, 2001), lo que se semeja a lo obtenido en los resultados de este estudio, donde para todos los tipos de fuentes las emisiones superan en gran medida a las de los otros contaminantes, además se tiene que de los GEI emitidos por la actividad humana, el CO₂ tiene particular importancia ya que juega un papel preponderante en la regulación del clima del planeta, y conforma a los escenarios del IPCC, relativos al año 2000, el forzamiento radioactivo medio mundial debido a los GEI seguirá aumentando en el siglo XXI y la parte atribuible al CO₂ pasara de un poco mas de la mitad de las tres cuartas partes (Pabón, 2001), lo que hace necesario que en Popayán se inspeccionen y controlen este tipo de emisiones generadas por las distintas fuentes y también cabe resaltar, que algunos incrementos en la incidencia de enfermedades tropicales como las infecciones respiratorias agudas, la tuberculosis, la malaria, la fiebre amarilla, el cólera y el dengue han coincidido con las anomalías climáticas asociados con los eventos de El Niño, haciendo posible que este efecto cree condiciones favorables para el desarrollo y propagación de las mismas.

11. CONCLUSIONES

- Se debe tener en cuenta que, dentro de un ambiente tanto urbano como rural, la calidad del aire, no depende solamente de las emisiones de gases y partículas resultado de la operación diaria de los diferentes sectores como el automotor, agrícola, la construcción, el industrial, el domestico, etc., sino también de las condiciones meteorológicas que la rodean, ya que ello, puede o no, favorecer la dispersión y transporte de los contaminantes, por lo cual para este estudio se seleccionó la metodología que más se ajustara o tuviera en cuenta las características y condiciones de Popayán, lo que implica unos resultados de mayor confiabilidad.
- Los datos de inmisión de contaminantes tan bajos obtenidos para las fuentes puntuales que no superan los límites máximos permitidos por la Resolución 0601 de 2006 y la Organización Mundial de la Salud, confirman lo expresado por la CRC, de porque ninguna de las fábricas payanesas requiere permiso de emisiones atmosféricas.
- Como se puede observar en los resultados de emisión e inmisión de contaminantes para las diferentes fuentes (puntuales, móviles y de área) en la Ciudad de Popayán, son los vehículos automotores la principal fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera, emisiones generadas por el proceso de combustión del combustible que los impulsa. Por lo cual es importante la tendencia a la disminución de emisiones mediante el cambio a modelos más recientes del parque automotor, lo que implica el cambio tecnológico.
- Aunque se realizaron los conteos de las motos que circulan por cada uno de los sectores que se estudiaron para las fuentes móviles, el cálculo de las emisiones de estas no se pudo realizar ya que no se tiene un modelo estandarizado a seguir a pesar de que, estas contribuyen significativamente en la concentración de contaminantes en cada una de las zonas y así aumentar los riesgos en la salud humana.
- Al obtener resultados de inmisión bajos tanto para las fuentes puntuales como para el Relleno Sanitario el Ojito, son las Fuentes móviles y la Terminal de Transportes S.A. las responsables de que se presenten posibles efectos respiratorios y cardiovasculares en las personas que estén bajo exposiciones prolongadas en los sectores del Centro, el Bolívar, la Esmeralda y la Terminal, principalmente por las concentraciones de PM₁₀, NO₂ y CO, los cuales son los contaminantes que superan los niveles máximos permisibles establecidos por la normatividad colombiana y los valores guía de la O.M.S.
- De los Gases de Efecto Invernadero, el que se emite en mayor cantidad es el CO₂, seguido de los COV, el CH₄ y el N₂O, debido al uso de combustibles fósiles, pues para obtener la energía que contienen estos materiales y convertirla en vapor, electricidad, o movimiento, es necesario someter el material a combustión, además, la manipulación de los combustibles también genera gases de efecto invernadero a causa de la volatilización de sustancias de bajo punto de ebullición.

12. RECOMENDACIONES

✍ Instaurar mecanismos y acuerdos necesarios entre las dependencias estatales, departamentales, municipales y autoridades ambientales, para interrelacionar sus planes, programas y actividades, para asegurar el seguimiento de las políticas, líneas de acción y proyectos que se podrían derivar de este o de próximos estudios en cuanto a calidad del aire se refiere.

✍ Mantener, incrementar y facilitar las bases de datos y demás fuentes de información de datos de las dependencias oficiales, para la actualización continua de datos para realizar nuevos estudios de estimaciones de inmisiones en Popayán y de esta manera generar controles para evitar efectos en la salud de sus habitantes.

✍ En lo que se refiere a la industria payanesa, aunque se tiene baja presencia en el total de inmisiones, deben seguir vigilándose para controlar posibles incrementos que afecten a la salud de las personas e incentivar la industria para que su crecimiento vaya de la mano con el cumplimiento a las disposiciones ambientales; regule y disminuya sus emisiones al ambiente.

✍ Hacerle un seguimiento eficaz al programa de control vehicular y sensibilizar a los automovilistas a que en forma voluntaria y conciente mantengan en niveles adecuados las emisiones de sus automóviles, incentivando las autoridades competentes a aquellos que si cumplan con el control.

✍ Promover con la comunidad programas prioritarios de concientización y divulgación del problema de la calidad del aire, estableciendo los mecanismos que incentiven a la participación de los diversos sectores de la sociedad, generando una cultura en la sociedad mediante una campaña en los medios masivos de comunicación promoviendo los beneficios, objetivos, metas y líneas de acción establecidas para mejorar la calidad del aire de la ciudad. Esto puede incluir mantenimiento vehicular adecuado, obsolescencia del parque automotor, ya que la situación debe considerarse como un problema potencial, que puede incrementarse con el tiempo, por lo que es necesario emprender acciones tendientes a disminuir las emisiones de contaminantes para detener el deterioro de la calidad del aire.

✍ Incentivar a las autoridades y sector educativo por los esfuerzos que desarrollen en el establecimiento de acciones tendientes a prevenir la

contaminación ambiental. Para lo cual con las instituciones educativas de enseñanza media y superior, se podrían establecer programas de investigación y desarrollo para mejorar la recolección de información y establecimiento de bases de datos que apoyen la elaboración de inventarios, así como el desarrollo de modelos para prevenir situaciones de riesgo para la salud por contaminación atmosférica en Popayán.

✍ Para obtener un resultado completo de las inmisiones generadas por las Fuentes móviles en Popayán, es importante realizar una mayor cobertura de la ciudad, para lo cual se deberían tener en cuenta para estudios posteriores, otros sectores estratégicos por su ubicación y porque son paso obligado para la mayoría de rutas de servicio público, tales como:

- Calle 5 con carrera 37 (frente a la parroquia la Maria)
- Galería las palmas
- Calle 5 con carrera 25 (frente al cementerio central)
- Estadio Ciro López en el parque de la salud
- Vía panamericana en el Parque de Carantanta
- Barrio La Paz en el parque Central

13. GLOSARIO

AFORO: medición del número y tipo de vehículos que transitan en un punto dado de una vialidad durante un tiempo determinado.

AIRE: es el fluido que forma la atmósfera de la tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición es, cuando menos, de veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

AMBIENTE: conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos (naturales o artificiales inducidos por el hombre), que propician la existencia, transformación y desarrollo de organismos.

ATMOSFERA: capa gaseosa que rodea la tierra.

COMBUSTIBLES: sustancias capaces de sufrir una oxidación violenta acompañada de desprendimiento de calor y algunas veces de flama.

COMBUSTIBLES FÓSILES: compuestos orgánicos de los restos de plantas y animales que vivieron en la Tierra en épocas anteriores a la aparición del hombre (carbón mineral, petróleo y gas).

COMBUSTIÓN: proceso de oxidación rápida de combustibles acompañados de liberación de energía en forma de calor y luz.

CONTAMINACIÓN: presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables, afectando la integridad física, biológica, química o radiológica de los ecosistemas.

CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA: es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

CONTAMINANTE: sustancia que al incorporarse a la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier otra parte del ambiente, altera o modifica su composición, afecta la salud o impide su utilización como recurso.

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

FACTOR DE EMISIÓN: es un valor representativo que intenta relacionar la

cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada con la descarga de ese contaminante. Estos normalmente se expresan como el peso de contaminante dividido por el peso de la unidad, volumen, distancia, o duración de la actividad que emite el contaminante.

FORZAMIENTO RADIOACTIVO: es una medida de la influencia que un factor ejerce en la modificación del equilibrio entre la energía entrante y saliente en el sistema Tierra – atmósfera, y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial de cambio climático. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

FUENTE DE EMISION: es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención susceptible de emitir contaminantes al aire.

FUENTE FIJA: es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

FUENTE FIJA PUNTUAL: es la fuente fija que emite contaminantes al aire productos o chimeneas.

FUENTE FIJA DISPERSA O DIFUSA: es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión como en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales.

FUENTE MOVIL: es la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

INMISION: transferencia de contaminantes de la atmósfera a un receptor. Se entiende por inmisión la acción opuesta a la emisión. Aire inmisible es el aire respirable al nivel de la troposfera.

MEDIO AMBIENTE: medio ambiente, conjunto de elementos abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y bióticos (organismos vivos) que integran la delgada capa de la Tierra llamada biosfera, sustento y hogar de los seres vivos.

NIVEL NORMAL: es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no se producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente, o la salud humana.

PUNTO DE DESCARGA: es el ducto, chimenea, dispositivo o sitio por donde se emiten los contaminantes a la atmósfera.

SUSTANCIAS PELIGROSAS: son aquellas que aisladas o en combinación con otras, por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

Aire Sucio: Efectos de la Contaminación del Aire Sobre la Salud [online]. South Coast. AQMD. Disponible en Internet: http://www.aqmd.gov/forstudents/aire_sucio.html.

Aplicaciones del software DISPER de Canarina para simular los procesos de contaminación y de impacto ambiental [online]. Disponible en Internet: <http://www.canarina.com/disper.htm>.

Contaminación atmosférica [online]. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la ciudad. Disponible en Internet: <http://www.mambiente.munimadrid.es/contamiweb.html>

CRC. "Cartilla: ¿Cómo será la atmósfera que rodeara nuestro mundo si hoy no protegemos el recurso Aire?, Popayán, Pág., 8, 32 y 33.

DAVIS, Nicole. LENTS, James. NIKKILA, Nick; et al. Mexico City Vehicle Activity Study. Conducted January 25 – February 5, 2004. Final Report Submitted July 6, 2004. International Sustainable Systems Research 21573 Ambushers St. Diamond Bar, CA 91765.

Decreto 948 de 1995. Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Colombia.

Decreto 979 de 2006. Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Colombia.

GONZALEZ. Luís Jorge. Hidrología Práctica y Gestión Ambiental. Universidad del Cauca, Popayán, 2004, V1. Pág. 43.

GUÍAS Y NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN EXTERIORES [online], OPS/CEPIS/PUB/00.50, Original: español, Página 13. Disponible en Internet: http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/E/fulltext/normas/2_2.pdf

Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre [online]. Actualización mundial 2005. Disponible en Internet: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

IVE Model Users Manual [online].Version 1.1.1. Summer, 2004. Disponible en Internet: <http://www.gssr.net/ive> or <http://www.issrc.org> .

INVENTARIO DE EMISIONES DE MEXICALI (INFORME FINAL) Preparado por: Ingeniería en Control Ambiental y Riesgo Industrial, S. de R. L. M. I. Septiembre de 1999.

La contaminación atmosférica. El aire [online]. Disponible en Internet: http://www.gencat.net/mediamb/cast/eaire_i.htm.

LENTS, James. DAVIS Nicole. NIKKILA, Nick; et al. Santiago Vehicle Activity Study. Conducted December 2001.

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud [online]. Recursos Mundiales. 2000. Disponible en Internet: www.buenosdiasplaneta.org/

LOVERA, Daniel. OSSES, Mauricio. NIKILA, Nick; et al.. The Ive Model: methodology, measurements and simulation of emissions from mobile sources in the city of LIMA – PERU. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 7, N.º 14, 92-99 (2004) Universidad Nacional Mayor de San Marcos. ISSN: 1561-0888 (impreso) / 1628-8097 (electrónico).

MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO. Asociación de Gobernadores del Oeste. Volumen II. Denver, Colorado. Diciembre, 1997.

NEVERS, Noel de, Ingeniería de Control de la Contaminación del aire, Mc Graw Hill, México 1998. Pág. 123 – 152.

NIKKILA, Nick. LENTS, James. DAVIS, Nicole; et al. São Paulo Vehicle Activity Study. Conducted April 12 - 23, 2004. Report Submitted August 20, 2004.

PABON, José Daniel y CHAPARRO Rodrigo. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. El Medio Ambiente en Colombia. 2ª Edición. Bogotá, 2001.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE POPAYAN – CAUCA. Alcaldía Municipal de Popayán [online]. La Carta Ciudadana. Popayán, Cauca. Disponible en Internet: <http://www.popayan.gov.co>

Resolución 601 de 2006. Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Norma de la calidad del aire o Nivel de inmisión, para todo el territorio nacional. Colombia.

RODRÍGUEZ, Humberto. Opciones para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia 1998-2010. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No. 14. Págs. 63-74. Disponible en Internet en: [http://www.accefyn.org.co/Web_GEI\(actualizada\)/Archivos_gei/O_Cap00_Presentacion.PDF](http://www.accefyn.org.co/Web_GEI(actualizada)/Archivos_gei/O_Cap00_Presentacion.PDF)

SIERRA, Emilio y Cuscó José Maria. Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas. Centro nacional de condiciones de trabajo de España. Disponible en Internet: <http://www.mtas.es/insht/ntp/vigenvia.htm>

TORNÉ, Jaime Echeverri y H. Collazos. CORENOSTÓS. Modelo Matemático Para Calculo De Gases Y Lixiviados, versión 1 de junio de 2002.

TORRES Peña, Jesús Ignacio, Ahorro y uso racional de la energía en la industria dirigido a las "MIPYMES"- en el tema de la energía térmica e hidráulica. Bogota, D.C., 2000. Pág. 5 – 10.

US-EPA, United States Environmental Protection Agency (2001). Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, Volumen I: "Area Sources". Disponible en Internet: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>.

US-EPA, United States Environmental Protection Agency. Curso de Auto instrucción Toxicología de la Contaminación Atmosférica. Disponible en Internet: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>.

ANEXO 1. Datos de la Estación de la Universidad del Cauca para la elaboración de la Rosa de los Vientos.

ENE	AVG WIND SPEED	DOM DIR	FEB	AVG WIND SPEED	DOM DIR	MAR	AVG WIND SPEED	DOM DIR	ABR	AVG WIND SPEED	DOM DIR	MAY	AVG WIND SPEED	DOM DIR	JUN	AVG WIND SPEED	DOM DIR	JUL	AVG WIND SPEED	DOM DIR	AGO	AVG WIND SPEED	DOM DIR	SEPT	AVG WIND SPEED	DOM DIR
1	-	-	1	1.3	E	1	1.6	SW	1	1.4	SW	1	1	E	1	0.4	E	1	1.3	ESE	1	1.3	W	1	1.1	E
2	-	-	2	1.6	SW	2	1.5	W	2	0.7	ESE	2	0.9	WSW	2	0.4	WSW	2	1.4	SW	2	0.9	E	2	1	S
3	-	-	3	1	SW	3	1.7	SW	3	0.7	S	3	0.5	SSW	3	0.8	SW	3	1.4	E	3	1.2	E	3	0.8	SSW
4	-	-	4	1.1	WSW	4	1.2	E	4	1.1	SSW	4	0.6	SSW	4	1.5	SW	4	1.3	E	4	1	E	4	0.9	E
5	-	-	5	0.9	W	5	1	SW	5	1	E	5	1	ESE	5	0.9	SSE	5	1.9	SE	5	1.2	E	5	1.2	E
6	-	-	6	0.8	W	6	1	SW	6	0.8	SW	6	0.9	SSW	6	0.8	SSE	6	1.3	E	6	1	E	6	0.8	ESE
7	-	-	7	0.9	W	7	1	SW	7	1.1	E	7	1.3	E	7	0.8	E	7	1.2	E	7	0.8	S	7	1.4	E
8	-	-	8	1.3	W	8	0.8	W	8	1	E	8	0.6	WSW	8	0.8	NE	8	1	SW	8	0.7	N	8	1.3	E
9	-	-	9	0.9	W	9	1.2	E	9	0.6	W	9	1	SW	9	1.4	SW	9	0.9	SW	9	0.8	ESE	9	1.1	SE
10	-	-	10	1.1	SW	10	0.9	SW	10	1	ESE	10	0.6	SSW	10	1.3	WSW	10	1.3	E	10	0.8	E	10	1	E
11	0.7	ESE	11	1.7	SW	11	1.3	W	11	0.8	E	11	1.2	W	11	1.4	S	11	1.4	W	11	1.2	E	11	1.3	E
12	1	SW	12	1.3	SW	12	0.9	E	12	1.1	SW	12	1.3	WSW	12	1.3	E	12	0.8	E	12	0.9	E	12	1.5	E
13	1.3	W	13	1.1	E	13	1.1	ESE	13	1.3	S	13	0.9	E	13	1.5	ESE	13	0.9	ESE	13	0.8	ESE	13	1.5	E
14	0.8	W	14	1.1	E	14	1.2	SW	14	0.8	E	14	0.7	SSW	14	1	ENE	14	0.8	S	14	0.7	SSE	14	1.1	SE
15	1.3	WSW	15	1.3	E	15	0.9	WSW	15	0.9	ESE	15	1	SW	15	1.5	E	15	1.1	W	15	0.6	S	15	1.2	WSW
16	0.8	W	16	1.3	SW	16	1.1	NE	16	0.9	ESE	16	1	WSW	16	0.9	SW	16	0.8	S	16	0.8	S	16	1	W
17	1	E	17	0.8	W	17	0.9	SW	17	0.9	SW	17	1	SW	17	1.2	SW	17	0.8	ENE	17	0.8	W	17	0.9	SSW
18	1.2	SW	18	1.1	W	18	0.6	ESE	18	1	E	18	0.5	SW	18	1.2	ESE	18	0.8	W	18	1	SSW	18	0.9	W
19	1	W	19	1.1	W	19	0.8	E	19	1.1	S	19	0.8	SW	19	1.3	WSW	19	1	SW	19	1	SSE	19	1.1	ESE
20	0.7	SSW	20	1.6	WSW	20	1.3	SSW	20	0.8	WSW	20	0.6	NW	20	1.5	SW	20	1	WSW	20	0.9	E	20	0.9	ESE
21	1.1	ESE	21	0.8	ESE	21	0.8	E	21	0.7	E	21	0.4	E	21	1.6	E	21	0.6	SE	21	1.5	E	21	0.7	ESE
22	1.1	SW	22	0.9	SW	22	1.2	W	22	1	SSW	22	0.8	NNE	22	0.9	SSW	22	0.7	SE	22	1.2	E	22	0.9	SW
23	1.3	SW	23	2	SW	23	0.8	W	23	0.8	SW	23	0.9	SW	23	0.6	ESE	23	1	E	23	1	WSW	23	0.8	E
24	1.4	SW	24	1.3	SW	24	0.8	W	24	1.3	SW	24	1.1	SW	24	0.8	E	24	1.1	SE	24	1	ESE	24	1.1	WSW

ENE	AVG WIND SPEED	DOM DIR	FEB	AVG WIND SPEED	DOM DIR	MAR	AVG WIND SPEED	DOM DIR	ABR	AVG WIND SPEED	DOM DIR	MAY	AVG WIND SPEED	DOM DIR	JUN	AVG WIND SPEED	DOM DIR	JUL	AVG WIND SPEED	DOM DIR	AGO	AVG WIND SPEED	DOM DIR	SEPT	AVG WIND SPEED	DOM DIR
25	0.9	ESE	25	1.4	E	25	0.9	E	25	0.5	ESE	25	1.3	ESE	25	1	ESE	25	0.8	SW	25	0.8	ESE	25	0.7	ESE
26	1	WSW	26	2.5	E	26	1	SE	26	0.8	E	26	0.4	ENE	26	1.5	E	26	1.3	SW	26	0.7	NNE	26	0.7	E
27	0.8	SW	27	1.9	E	27	1	W	27	0.7	ESE	27	0.8	E	27	1	E	27	0.9	SW	27	1.1	SW	27	0.9	W
28	1.3	W	28	1.3	SW	28	0.7	SW	28	1.3	SW	28	0.6	SE	28	1.3	SSW	28	1.4	ESE	28	1.6	ENE	28	1.3	E
29	1.3	SW	-	-	-	29	0.7	SW	29	0.8	SW	29	0.8	SE	29	1.4	SW	29	2.9	ESE	29	1	W	29	1.4	E
30	1.9	SW	-	-	-	30	0.8	SW	30	0.8	E	30	0.8	WSW	30	1.3	SW	30	1.6	E	30	1	ESE	30	1.3	ESE
31	0.9	W	-	-	-	31	1.3	SW	-	-	-	31	0.8	SSW	-	-	-	31	1.1	ESE	31	1.5	E	-	-	-

Fuente: Estación Metereológica Universidad del Cauca

Wind Speed (m/s)

ANEXO 2. Formato de Encuesta Dirigida a los conductores de la Terminal de Transportes S.A.



SECRETARIA DE SALUD MUNICIPAL DE POPAYÁN

ENCUESTA DIRIGIDA A LOS CONDUCTORES

DE LA TERMINAL DE TRANSPORTES DE POPAYAN – CAUCA

FECHA: 6 de octubre de 2006.

OBJETIVO: obtener la información requerida para estimar las emisiones atmosféricas de los vehículos que funcionan dentro de la Terminal, con el modelo IVE, considerando el Terminal de Transportes como una fuente de área de la contaminación atmosférica en el municipio de Popayán.

1. Empresa transportadora: _____
2. Tipo de vehiculo: AU ___ CA ___ MI ___ BT ___ BU ___
3. Modelo: _____
4. Tipo Combustible: _____
5. Uso aire acondicionado: SI___ NO___

6. Control de emisiones: SI ____, Cual _____, NO___
7. Tiempo con el motor del vehiculo encendido, dentro de la Terminal: _____
8. Número de salidas del vehiculo por día: _____

ANEXO 3. Formato de Encuesta Dirigida a los Conductores de Vehículos Particulares (Realizada en Parqueaderos de Popayán).

ENCUESTA PARA LOS PARQUEADEROS, PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR FUENTES MÓVILES EN POPAYÁN

Nombre del Parqueadero: _____

1. Tipo de combustible:

a. Gasolina _____ b. Diesel _____ c. Gas _____

2. Tamaño del vehículo:

a. Light < 1.5 L _____ b. Medium (1.5 – 3L) _____ c. Large > 3L _____

3. Edad – Kilometraje:

a. <79 _____ b. 80- 161 _____ c. >161 _____

4. Modelo _____

5. Tiempo que permanecen el vehículo en reposo antes de encenderlo:-

Opcional:

Número de encendidas por día: _____.

ANEXO 4. Copia de Respuesta al oficio #018951 del 8 de junio de 2007, por parte de la Secretaria De Transito Municipal de Popayán.

18 JUL. 2007

Auw

UNICAUCA
Archivo y Correspondencia
Ventanilla Única

Direct-

ALCALDIA DE POPAYAN 7407 '07 JUL 16 A9:51
SECRETARIA DE TRANSITO MUNICIPAL

Popayán, 22 JUN 2007

28930

Señor (a)
PAULO MAURICIO ESPINOSA ECHEVERRI
Ingeniero Químico MSc. Departamento Ingeniería Ambiental
UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Cordial saludo:

En respuesta a su oficio Nro. 018951 del 8 de junio de 2007, me permito enviar a usted la información requerida.

Atentamente,


CARLOS JAVIER BURBANO VARA
Secretario de Transito Municipal

Consultado el Sistema Integrado de Tránsito y Transporte de Popayán y el archivo de los automotores, se encontró la siguiente información: 21/06/2007

NRO. CARPETAS	VEHICULOS ACTIVOS			MOTOS ACTIVAS		
	PARTICULARES	PUBLICOS	OFICIALES	PARTICULAR	OFICIAL	OTRO TIPO MOTOC.
13.956	7.328	2.989	185	3.394	54	6