



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**“MODELO GAUSSIANO DE DISPERSION Y LA
ESTIMACION DE LA TASA DE EMISION DE
MATERIAL PARTICULADO EN LA ZONA
COSTERA DE LA PANAMERICANA SUR EN EL
DISTRITO DE PARACAS PROVINCIA PISCO”**

PRESENTADO POR LA BACHILLER

CRISTINA KATHERINE, INCA ÑAÑEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

PISCO - PERÚ

2016

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis Padres, por su amor, trabajo, sacrificio, años de gran esfuerzo de brindarme el apoyo incondicional, la confianza y sus palabras alentadoras para conseguir mis objetivos; ya que gracias a ustedes, he logrado convertirme lo que soy.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a la Alcaldía del Distrito de Paracas, por facilitarme la información necesaria, a mis asesores por el apoyo brindado en mi proyecto de tesis.

RESUMEN

En el presente estudio de investigación se aborda la presencia en la atmósfera de sustancias contaminantes en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, estos vienen de los procesos industriales, la contaminación atmosférica se considera como la concentración de contaminantes como un indicador ambiental en el medio, por lo tanto su monitoreo y determinación resulta una herramienta indispensable para conocer la calidad de aire atmosférico y diseñar estrategias de lucha contra la polución.

El Modelo Gaussiano de dispersión y la estimación de las tasas de emisión de material particulado en la zona costera de la panamericana sur en el distrito de paracas provincia Pisco se toma en cuenta la dirección del viento predominante es Sur Oeste (SO), con una estimación de tasa de emisión de PM10 de concentración anual de 705.4 TON/Año es equivalente a 22.368 g/s o igual a 22.368×10^6 $\mu\text{g/s}$, considerándose a una distancia a favor del viento de 500 m, la velocidad del viento es de 4 m/s, y la clase de estabilidad atmosférica es "D" para un día nublado, obteniéndose la C_{PM10} de 13.897 $\mu\text{g/m}^3$ de PM10. El

análisis de las concentraciones de PM10 para las variables operacionales y meteorológicas con la estabilidad atmosférica predominante D, revela niveles por encima de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 anual. También cuando se ha tomado en cuenta que mejora con el viento de costado a 50 m de la línea central siendo la $C(500,50,0) = 5.335 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10.

Palabras clave: *Contaminación Atmosférica, Modelo gaussiano, calidad del aire, PM10.*

INTRODUCCIÓN

El material particulado (particulate matter, PM) afecta a más personas que cualquier otro contaminante atmosférico^[1], y es considerado como uno de los contaminantes más importantes en términos de sus efectos sobre la salud. Aproximadamente 1400 millones de residentes urbanos, principalmente en los países en desarrollo, están expuestos a niveles de concentraciones de PM superiores a los valores aceptables^[2].

Este tipo de problemáticas hace entonces necesario disponer de estimaciones confiables de las concentraciones del contaminante en los receptores, pero que a raíz de los costos asociados y dificultades técnicas de diversa índole, las mediciones de campo suelen ser inviables. Es por ello que surgen como alternativa el modelo gaussiano de dispersión y la estimación de las tasas de

¹ OMS. 2005. Particulate matter air pollution: how it harms health. World Health Organization. Fact sheet EURO/04/05. Berlin, Copenhagen, Rome.

² AEAT. 1999. Quantification of the health effects of air pollution in the UK for the review of the national air quality strategy. A report produced for The Department of the Environment, Transport and the Regions. Disponible en: <http://www.aeat.co>.

emisión, los cuales se convierten en una herramienta fundamental a la hora de tomar decisiones que puedan afectar a la calidad de aire^[3].

A pesar de la relación no lineal entre las emisiones y las concentraciones de un contaminante en un punto, debido a los procesos dinámicos complejos que tienen lugar en la atmósfera^[4], el modelo gaussiano de dispersión de dispersión permiten aproximar esta correspondencia con aceptable exactitud. Más aún si la información suministrada es representativa del escenario que se intenta significar, esto es las tasas de emisión, la ubicación de receptores, los datos meteorológicos y la topografía del terreno, entre otras^[5].

El presente trabajo tiene por objetivo determinar el impacto de las distintas fuentes de emisión en conjunto con la meteorología local, sobre la dispersión de PM10 desde un complejo industrial ubicado en la zona industrial de la panamericana sur en Pisco, dedicado a la producción de aceros, de estaño y otros materiales. La herramienta seleccionada para esta tarea es el modelo de dispersión ISC3, el cual ha sido clasificado como “refinado” (EPA, 1995) debido al detalle con que trata la dispersión de contaminantes. La utilización de este modelo permitirá: (i) estudiar el Modelo Gaussiano de dispersión que permite evaluar la concentración de contaminante por fuente estacionaria la variación estacional e interanual de PM10 en los puntos de interés considerando la

³ Seinfeld, J. H., 1986. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. Wiley Publisher. ISBN 0471828572. pp 738.

⁴ Pérez Camaño, J., L. 2004. Sistema integrado para la modelización y el análisis de la calidad del aire en modo operacional. Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de informática. Tesis doctoral.

⁵ Ghenai, C.; Lin, C. X. 2006. Dispersion Modeling of PM10 Released during Decontamination Activities. J. Hazardous Materials, Vol. 132, No.1, pp. 58-67.

influencia de la climatología del lugar y(ii) evaluar la desviación normal en la dirección del viento que influye en la estimación en las distintas fuentes de emisión sobre la concentración en las proximidades de la zona costera de la panamericana sur en Pisco.

“MODELO GAUSSIANO DE DISPERSION Y LA ESTIMACION DE LA TASA DE EMISION DE MATERIAL PARTICULADO EN LA ZONA COSTERA DE LA PANAMERICANA SUR EN EL DISTRITO DE PARACAS PROVINCIA PISCO”

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	6
TABLA DE CONTENIDOS	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS	14
ÍNDICE DE TABLAS	16
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	19
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	19
1.2 Delimitaciones y Definición del Problema	20
1.2.1 Delimitaciones	20
A. Delimitación Espacial	21
B. Delimitación Temporal	21
C. Delimitación Conceptual	21
a. Modelo Gaussiano	21
b. Material Particulado	22
1.2.2 Definición del Problema	22

1.3	Formulación del Problema	24
1.4	Objetivo de la Investigación	24
1.5	Hipótesis de la investigación	24
1.6	Variables e Indicadores	24
1.6.1	Variable Independiente	24
	A. Indicadores	24
	B. Índices	25
1.6.2	Variable Dependiente	25
	A. Indicadores	25
	B. Índices	25
1.7	Viabilidad de la investigación	25
1.7.1	Viabilidad técnica	25
1.7.2	Viabilidad operativa	25
1.7.3	Viabilidad económica	26
1.8	Justificación e Importancia de la Investigación	26
1.8.1	Justificación	26
1.8.2	Importancia	27
1.9	Limitaciones de la Investigación	28
1.10	Tipo y Nivel de la Investigación	28
1.10.1	Tipo de investigación	28
1.10.2	Nivel de investigación	28
1.11	Método y Diseño de la investigación	29
1.11.1	Método de la investigación	29
1.11.2	Diseño de la investigación	29

1.12	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información	29
1.12.1	Técnicas	29
1.12.2	Instrumentos	29
1.13	Cobertura de Estudios	29
1.13.1	Universo	29
1.13.2	Muestra	30
	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	31
2.1	Antecedentes de la Investigación	31
2.2	Marco Histórico	36
2.3	Bases Teóricas	38
3.3.1.	Modelos Matemáticos	38
3.3.2.	Modelos de Dispersión Atmosférica	39
3.3.3.	Formulación Matemática	41
3.3.4.	Distribución Gaussiana	44
3.3.5.	Modelos Gaussianos	46
2.3.6.	Descripción Ciudad Pisco	49
2.3.7.	Características Topográficas y Meteorológicas	50
2.3.8.	Población y Desarrollo Urbano	56
2.3.9.	Los Contaminantes Atmosféricos	57
2.3.10.	Estándares de Calidad del Aire Ambiental para los Contaminantes de Referencia	59
2.3.11.	Unidades de Concentración	62
2.3.12.	Contaminantes de Referencia	63

2.3.13. Tipos de Fuentes Emisoras	84
2.3.14. Universo de Fuentes Emisoras	86
2.3.15. Inventario de Emisiones	88
2.3.16. Inventarios de Fuentes Fijas	88
2.3.17. Dispersión de Contaminantes	91
2.3.18. Calidad del Aire	94
2.3.19. Meteorología de la Contaminación del Aire	98
2.4 Marco Conceptual	103
CAPÍTULO III: METODOLOGIA	106
3.1 Metodología la Desviación Normal en la Dirección del Viento Y estimación de la tasa de emisión	106
3.2 Mitología para el Modelo Gaussiano de Dispersión y la con- Contracción Máxima en Línea a Nivel del Suelo	114
3.3 Mitología de la Altura Efectiva de la Columna y la Tasa de Emisión	119
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	
4.1. Desviación Normal en la Dirección del Viento en la Estimación De la Tasa de Emisión	123
4.2. Modelo Gaussiano de Dispersión y la Concentración Máxima en Línea a Nivel del Suelo	128
4.3. Altura Efectiva de la Columna y la Tasa de Emisión	131
4.4. Prueba de Hipótesis	133

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
Conclusiones	143
Recomendaciones	146
FUENTES DE INFORMACIÓN	147
ANEXOS	151

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°2.1	: Estructura general de un modelo de dispersión	40
Gráfico N°2.2	: Función de distribución gaussiana o normal	46
Gráfico N°2.3	: Representación Esquemática de la Pluma Gaussiana	47
Gráfico N° 2.4	: División Política de la Provincia de Pisco	49
Gráfico N° 2.5	: Mapa de Ubicación de Industrias en la Zona Costera de la Panamericana Sur, Distrito de Paracas	54
Gráfico N° 2.6	: Rosa de Viento. Estación Pisco	55
Gráfico N° 2.7	: Comportamiento de los 6 tipos de plumas bajo Diversas Condiciones de estabilidad atmosférica. Las líneas Punteadas Representan el Perfil Adiabático de Temperatura; las Líneas Continuas, el Perfil Existente	93
Gráfico N° 2.8	: Comparación de Resultados de Monitoreo de Calidad del Aire en Pisco con ECAS y Valores de Tránsito Anuales	97
Gráfico N° 2.9	: Comparación de Resultados de Monitoreo de Calidad del Aire en Pisco con ECAS y Valores de Tránsito para Exposición Corta	98
Gráfico N°2.10	: Variación de la Velocidad del Viento (capa límite) con la Altura Sobre El Terreno, Según la Ley Exponencial de Hellmann	103
Gráfico N° 3.1	: Desviación Normal, en la Dirección del Viento	108

Cruzado Como una Función de la Distancia en la
Dirección del Viento

- Grafico N° 3.2 : Desviación Normal, σ_z en la Dirección Vertical, 109
Como una Función de la Distancia en la Dirección
del Viento
- Grafico N°3.3 : Efecto de Reflexión del Suelo 114
- Grafico N°3.4 : Distancia de la Máxima Concentración en la 116
Dirección del Viento y Valor Máximo Cu/Q en la
Dirección del Viento Como una Función de la
Clase De Estabilidad y de la Altura Efectiva, en
Metros

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	: Temperaturas Medias en la Cuenca Atmosférica de Pisco	51
Tabla 2.2	: Temperaturas Medias Mensuales en la Ciudad de Pisco. Periodo Enero-Diciembre 2013	51
Tabla 2.3	: Variaciones de la Velocidad y Dirección del Viento en la Estación Pisco Corpac	53
Tabla 2.4	: Velocidad del Viento. Estación Pisco (Periodo 1949- 2011).	54
Tabla 2.5	: Comportamiento de la Humedad Relativa Media en la Cuenca Atmosférica De Pisco	56
Tabla 2.6	: Población de la Provincia De Pisco	57
Tabla 2.7	: Estándares Internacionales de Calidad del Aire Ambiental Para Contaminantes De Referencia	60
Tabla 2.8	: Propiedades y Trascendencia de los Contaminantes de Referencia	61
Tabla 2.9	: Emisiones Totales de Monóxido de Carbono Per Cápita	64
Tabla 2.10	: Emisiones Totales De Monóxido De Carbono. Fuente Móvil (M) Y Estacionaria (ES)	65
Tabla 2.11	: Emisiones Totales de Dióxido de Nitrógeno Per Cápita	68
Tabla 2.12	: Emisiones de Dióxido de Nitrógeno. Fuentes Móviles	68

	(M) y Estacionarias (ES)	
Tabla 2.13	: Emisiones De Dióxido De Azufre Per Cápita	71
Tabla 2.14	: Emisiones de Dióxido de Azufre. Fuente Móvil (M) y Estacionaria (Es)	71
Tabla 2.15	: Tamaño De Partícula	73
Tabla 2.16	: Valores Típicos de Humo Negro y Concentraciones de PM	73
Tabla 2.17	: Partículas Totales Per Cápita	74
Tabla 2.18	: Partículas Fuentes Móviles (M) Y Estacionaria (Es)	75
Tabla 2.19	: Emisiones de COV Per Cápita	76
Tabla 2.20	: Clasificación De Los Hidrocarburos	78
Tabla 2.21	: Emisiones Totales De Hidrocarburos Per Cápita	79
Tabla 2.22	: Emisiones de Hidrocarburos Fuentes Móviles (M) y Estacionarias (Es)	80
Tabla 2.23	: Emisiones de Plomo Per Capital Procedentes de Vehículos	83
Tabla 2.24	: Porcentajes de Gasolina Sin Plomo Comercial en 2005	84
Tabla 2.25	: Tipos de Fuentes Puntuales y de Área	85
Tabla 2.26	: Tipos de Fuentes Emisoras	87
Tabla 2.27	: Emisiones de Contaminantes al Aire en la Ciudad de Pisco (Año 2011)	88
Tabla 2.28	: Inventario de Emisiones Anuales de Fuentes Fijas de la Ciudad De Pisco, 2011	89

Tabla 2.29	: Emisiones de Fuentes Fijas en la Cuenca Atmosférica de la Ciudad De Pisco (Desagregado), Año 2011	90
Tabla 2.30	: Estándares de Calidad Ambiental del Aire	95
Tabla 3.1	: Clave de las Categorías de Estabilidad	110
Tabla 3.2	: Valores Aproximados de σ_y Y σ_z , Como una Función de la Distancia en la Dirección del Viento Para Las Diversas Clases De Estabilidad, (m)	111
Tabla 3.3	: Valores de las Constantes Por Utilizar en la Ecuación (3.2) Como una Función de la Distancia en la Dirección del Viento y de la Condición de Estabilidad	112
Tabla 4.1	: Niveles de Factores	134
Tabla 4.2	: Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa	134
Tabla 4.3	: Diseño de Experimentos Factorial 2 ² : Diseño Básico	135
Tabla 4.4	: Diseño de Experimentos Factorial 2 ² : Combinaciones Adicionales	136
Tabla 4.5	: Resultados del Diseño de Experimentos Factorial 2 ²	137
Tabla 4.6	: Algoritmo de Yates	137
Tabla 4.7	: Cuadrados de las Desviaciones de la Respuesta	138
Tabla 4.8	: Análisis de Varianza y F-Test	139
Tabla 4.9	: Valores de F, Fc	140
Tabla 4.10	: Cuadro Comparativo De F	140

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

La dispersión constituye uno de los elementos base del proceso en la aplicación de los estándares de calidad del aire y tiene por finalidad evaluar de manera integral la calidad del aire en una zona y sus impactos sobre la salud y el ambiente, a través de estudios específicos como el monitoreo de la calidad del aire e inventario de emisiones, siendo así la base para la toma de decisiones correspondientes a la elaboración de los Planes de Acción y manejo de la calidad del aire a nivel local. Con la finalidad de apoyar el cumplimiento de las responsabilidades asignadas a la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA del Ministerio de Salud.

La contaminación creada por las partículas totales en suspensión (PTS), presentes en las emisiones a la atmósfera producto del proceso

productivo de fuentes puntuales en el Distrito de San Andrés Provincia de Pisco en el Departamento de Ica, como premisa para conocer su desempeño ambiental. Se definen las principales fuentes de contaminación que afectan el entorno de la planta de producción, se definen los parámetros y se caracterizan mediante indicadores propuestos, que definen las características físicas y químicas de los contaminantes.

En la actualidad la dispersión en la atmosfera de los efluentes que proceden de respiraderos y chimeneas depende de muchos factores correlacionados, la naturaleza física y química de los efluentes, las características meteorológicas del ambiente, la ubicación de la chimenea en relación con las obstrucciones al movimiento del aire y la naturaleza del terreno que se encuentra en la dirección del viento que viene de la chimenea han permitido la elaboración de modelos de dispersión.

1.2 Delimitaciones y Definición del Problema

1.2.1 Delimitaciones

Este trabajo se realizó en la zona costera de la panamericana sur del Distrito de Paracas de la Provincia de Pisco. El periodo en el cual se realizó esta investigación comprendió el mes de Mayo a octubre del 2015. En la investigación se aplicaron las técnicas e

instrumentos destinados al recojo de información para el modelo Gaussiano.

A. Delimitación Espacial.

Esta investigación está comprendida en la Región de Ica, Provincia de Pisco, Distrito de Paracas, en la zona costera de la panamericana sur del Distrito de Paracas.

B. Delimitación Temporal.

Esta investigación es de actualidad, por cuanto el tema de satisfacción laboral es vigente y más aún en el ámbito de procesos industriales.

C. Delimitación Conceptual

Esta investigación abarca dos conceptos fundamentales como la satisfacción laboral y la productividad en la planta industrial en la zona costera de la panamericana sur del Distrito de Paracas.

a. Modelo Gaussiano

La modelización gaussiana en el transporte de contaminantes sirve para la determinación de la variación de la concentración de un determinado contaminante en el espacio y en el tiempo. De esta manera, podremos estimar ciertos parámetros de emisión desde una fuente fija para mantener los límites

indicados por la legislación en las zonas circundantes al foco emisor cuando se diseña una chimenea industrial, en la planificación del territorio, etc. Existen varios tipos de modelos y paquetes de software destinados a la estudiar la evolución de los contaminantes en la atmósfera.

b. Material Particulado.

La siderurgia corresponde a la fundición primaria de hierro, la que puede ser realizada en una planta integrada de hierro y acero, donde se integran varios procesos entre los que se encuentran una planta de producción de coke, producción de hierro, producción de acero, producción de productos de acero, suministro de energía y sistemas de transporte de productos.

1.2.2 Definición del Problema

Los principales problemas sociales son:

La apropiada caracterización de la fuerza laboral y de los grupos de interés permitirá diseñar un programa de reconversión laboral y de acciones que reduzca el impacto social que implica el cierre de una Planta. Se enmarcan dentro de este aspecto el aprovechamiento de la infraestructura y terreno que quedara en esta etapa.

Los principales problemas técnicos son:

Considerar medidas que eviten la contaminación del aire, agua subterránea que en este caso resulta ser única fuente de agua disponible en el área. Este objetivo se integra con aquel de aprovechamiento del terreno.

Los principales problemas comerciales son:

Caracterizar los impactos ambientales sobre los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, para proponer medidas que minimicen y/o eliminen los riesgos sobre la salud y la seguridad pública. Se enmarcan dentro de este aspecto el control o eliminación de focos de contaminación que puedan originar drenaje ácido o residuos tóxicos que el agua o el viento transportan a lugares poblados.

Los principales problemas legales son:

Uno de los problemas principales se presenta el marco legal aplicable al cierre de estas actividades en la zona costera, estas normas regulan las obligaciones, estándares y procedimientos que deben cumplir los titulares de la actividad industrial para la elaboración, presentación e implementación del PCM y para la constitución de las garantías ambientales.

1.3 Formulación del Problema.

¿De qué manera el modelo Gaussiano de dispersión permite evaluar eficientemente la estimación de la tasa de emisión del material particulado en la zona costera de la panamericana sur en el Distrito de Paracas Provincia Pisco?

1.4 Objetivo de la Investigación

Desarrollar el modelo Gaussiano de dispersión que permite evaluar eficientemente la estimación de la tasa de emisión del material particulado en la zona costera de la panamericana sur en el Distrito de Paracas Provincia Pisco

1.5 Hipótesis de la investigación.

El modelo Gaussiano de dispersión permite evaluar eficientemente la estimación de la tasa de emisión del material particulado en la zona costera de la panamericana sur en el Distrito de Paracas Provincia Pisco.

1.6 Variables e Indicadores

1.6.1 Variable Independiente : Modelo Gaussiano de dispersión

A. Indicadores : Desviación normal en la dirección del viento

- B. Índices** : Distancia en la dirección del viento y Desviación Estándar “y”
- 1.6.2 Variable Dependiente** : Estimación de las tasas de emisión del material particulado
- A. Indicadores** : Concentración máxima a nivel del suelo
- B. Índices** : $ug/m^3 = ppm$

1.7 Viabilidad de la investigación.

1.7.1 Viabilidad técnica

El trabajo de investigación es técnicamente viable ya que dispone de los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto, estos son proporcionados por una institución particular.

1.7.2 Viabilidad operativa

- El investigador cuenta con el conocimiento necesario para el manejo de las diversas herramientas de desarrollo del trabajo de investigación.
- El investigador cuenta con el apoyo de la Alcaldía del distrito de Paracas en el área de Recursos Humanos. Se dispone de información necesaria que ayude al proceso de

investigación como son libros, revistas, folletos, acceso al Internet, al correo electrónico.

1.7.3 Viabilidad económica

La realización del proyecto de investigación ha sido factible debido a que los costos, han sido solventados por la Institución Municipal.

1.8 Justificación e Importancia de la Investigación.

1.8.1 Justificación

La importancia del presente proyecto radica en lo valioso que sería para la región de Ica aplicar modelos de dispersión en fuentes puntuales como fuentes de área, que presenta según experiencias de otros países una mejor calidad de aire en el ambiente.

Las fuentes puntuales permiten elaborar modelos matemáticos gaussianos, ya que en la actualidad los nuevos sistemas son automatizados y permitirán una mejor captación de contaminantes, permitiendo una mejor calidad de aire al ambiente.

La aplicación de los fundamentos científicos en la que basarán sus capacidades los estudiantes de Ingeniería Ambiental abrirá

nuevos campos y las bondades del diseño de la chimenea, además de presentar una alternativa de depuración de contaminantes en la atmosfera mejorando el ecosistema de la zona, región y del país.

1.8.2 Importancia.

La rápida industrialización ha dado lugar a innumerables accidentes que han contaminado los recursos terrestres, atmosféricos y acuáticos con materiales tóxicos y otros contaminantes, amenazando a las personas y los ecosistemas con graves riesgos para la salud. El uso cada vez más generalizado e intensivo de materiales y energía ha originado una creciente presión en la calidad de los ecosistemas locales, regionales y mundiales.

Como es el caso del material particulado afecta a más personas que cualquier otro contaminante atmosférico. Cerca de un tercio de la fracción respirable del material particulado, también denominada PM10, penetra hasta los pulmones pudiendo provocar en el corto plazo la irritación de las vías respiratorias y el deterioro de la función pulmonar, y a largo plazo el desarrollo de enfermedades crónicas, el cáncer o la muerte prematura.

1.9 Limitaciones de la Investigación

Como en toda investigación, siempre hay obstáculos ya sean teóricos, metodológicos o prácticos que dificultan y en marcan el desarrollo de la investigación. Las limitaciones de la presente investigación son las escasas investigaciones sobre la materia en estudio.

1.10 Tipo y Nivel de la Investigación

1.10.1 Tipo de investigación.

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizaron conocimientos de las Ciencias Ingenieriles Ambientales. A fin de aplicarlas en el modelo gaussiano de dispersión y predecir el comportamiento de las tasas de emisión en la zona costera de la panamericana sur del Distrito de Paracas Provincia de Pisco.

1.10.2 Nivel de investigación.

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio explicativo buscando definir claramente el estado actual y futuro de la estimación de la tasa de emisión en la zona costera de la panamericana sur del Distrito de Paracas Provincia de Pisco.

1.11 Método y Diseño de la investigación

1.11.1 Método de la investigación.

En la presente investigación utilizaremos el método inductivo deductivo.

1.11.2 Diseño de la investigación.

Prueba de Hipótesis: Método del Algoritmo de Yates

1.12 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

1.12.1 Técnicas.

Las principales técnicas que utilizaremos en la investigación son:

Análisis

Observación

1.12.2 Instrumentos.

Guía de análisis documental

Legislación

Situación Ambiental

1.13 Cobertura de Estudio

1.13.1 Universo.

En la zona costera de la panamericana sur (litoral, región costera o costa propiamente dicha), denominada Penillanura Costera, que

se caracteriza por la presencia de amplias pampas, interrumpidas ocasionalmente por lomadas de relieve suave o por quebradas, gran parte de las cuales se encuentran cubiertas por depósitos eólicos (dunas). Abarca parte de la cuenca de Rio Pisco (margen izquierda) y la cuenca de la quebrada rio Seco. El área involucrada se ubica al sureste de la ciudad de Pisco y al noreste de la ciudad de Paracas, en el Km 240 de la Panamericana Sur, pertenece al Distrito de Paracas, Provincia de Pisco, Departamento de Ica, localizándose entre las coordenadas UTM 8 676 090 a 8 476 729 N y 372 910 a 373 650 E.

1.13.2 Muestra

Empresas en la zona costera de la panamericana sur del Distrito de Paracas Provincia de Pisco.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por el tráfico vehicular en una vía de Ciudad de La Habana (2004).

M.Sc. Ernesto Paz Ortega, Dr. José de Jesús Rivero Oliva. M.Sc. Leonor Turtós Carbonell, Lic. Madeleine Sánchez Gácita, M.Sc. Elieza Meneses Ruiz, Ing. Norberto Díaz Rivero y Dr. Saturnino Píre.

El impacto que producen las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por el transporte por carretera puede considerarse eminentemente negativo, puesto que se producen generalmente en zonas con alta densidad de habitantes y prácticamente a nivel del terreno, trayendo como consecuencias directas afectaciones a la calidad de vida de la población. La modelación de cómo se dispersan estos contaminantes emitidos

permite analizar estrategias con vistas a reducir las emisiones y afectaciones generadas por este sector.

En el presente trabajo se efectúa el cálculo de las concentraciones incrementales de los contaminantes atmosféricos generados por el tráfico vehicular en una vía de Ciudad de La Habana y se representa su distribución espacial. Se realiza una comparación entre las concentraciones obtenidas para 1 y 24 horas, y se muestran cuáles son los contaminantes que más aporte realizan a la polución ambiental, el porcentaje que estas concentraciones representan de acuerdo con la norma vigente de «Calidad del aire» y, por último, se tienen en cuenta los valores obtenidos de concentraciones anuales y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Palabras clave: Contaminación atmosférica, calidad del aire.

2.1.2 Modelación de la Dispersión de Material Particulado en Zona Minera del Cesar, Colombia, Usando Fluent (Cfd). (2012).

Daniel Fernando Prato Sánchez. Universidad EAN Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental Bogotá D.C.

La zona minera del Cesar está ubicada en la región Norte de Colombia, al occidente de la cordillera oriental de los Andes. La producción de carbón en esta región es cercana a las 70 Mton/año lo que la convierte en una de las áreas mineras a cielo abierto más grandes del mundo. Desde el año 2007 y según la

información de la red de monitoreo de calidad del aire de la autoridad ambiental Colombiana en la región, la concentración de partículas suspendidas totales (PST) y material particulado respirable (PM10) en las inmediaciones de la zona minera exceden los límites establecidos por la normativa nacional. En diferentes ejercicios previos se han modelado las condiciones de calidad del aire de la zona haciendo uso de herramientas computacionales tales como ISC3 y AERMOD. El trabajo que aquí se presenta tiene como objetivo hacer uso de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) como nueva alternativa para la modelación de las condiciones de calidad del aire en la región minera del Cesar; el cual resuelve las ecuaciones que gobiernan el modelo físico del problema, obteniendo campo de velocidad, y concentraciones a lo largo de un volumen de estudio. Como parte de este trabajo se diseñó una metodología orientada a facilitar la apropiación del modelo, donde se incluye la definición de los parámetros de entrada al modelo que son geografía, meteorología y emisiones. Los resultados preliminares obtenidos de las treinta y seis (36) modelaciones que se realizaron con CFD, sugieren una representación significativa de la condición de calidad del aire de la zona. Así mismo, estos resultados evidencian que las concentraciones de PST y PM10 en inmediaciones de la zona minera sobrepasan los estándares nacionales y los valores considerados como perjudiciales para la salud de las personas

por la Organización Mundial de la Salud (concentraciones promedio anuales de hasta $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente).

2.1.3 Análisis de la contaminación atmosférica de la planta de asfalto caliente “Abel Santamaría”, de Coliseo (2013). Air pollution analysis from the plant of Hot Asphalt “Abel Santamaria” in Coliseo.

Ing. Edna Elina Arencibia Gutiérrez. Empresa de Reparaciones Capitalizadas del Petróleo, Cuba. edna@empercap.cupet.cu / Dra. Juana Zoila Junco Horta. Universidad de Matanzas, Cuba. juana.junco@umcc.cu / MSc. Manuel Adrián Perera Sánchez. Empresa de Investigaciones Aplicadas. UIC. Matanzas, Cuba. manuel@eniamtz.co.cu.

A pesar de las quejas de la población por las emisiones desde la planta de asfalto, no existe un sistema de monitoreo que permita conocer la magnitud de las concentraciones en la zona. El presente estudio tiene como objetivo determinar, aplicando la modelación las concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) y dióxido de azufre (SO_2) generadas por las emisiones a la atmósfera de la planta asfalto “Abel Santamaría”. El estudio del proceso productivo de la industria, el cálculo de las emisiones, el conocimiento de la línea base medioambiental, permite tener una idea de la situación actual. Con esta información se utilizaron los modelos de dispersión atmosférica, SCREEN 3 y Disper y se

analizaron las concentraciones de contaminantes. Los niveles de concentración para los rumbos del viento de N y NNW superaron la norma cubana en áreas dentro del radio mínimo de protección de la planta. Esto permite sugerir medidas a la industria, tanto dirigidas a las mejoras técnicas, como al cambio de ubicación. Estas medidas se encuentran actualmente en fase de aplicación.

Palabras clave: *concentraciones, contaminación atmosférica, calidad del aire, norma.*

2.1.4 Modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por Antillana de Acero (2013).

Modelling of the dispersion of air pollutants emitted by Antillana de Acero.

Lic. Lázaro R. Batule Águila. lazaro.batule@insmet.cu. Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Cuba / Dr. Osvaldo Cuesta Santos. cuesta@insmet.cu. Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Cuba / Lic. Alejandro Adonis Herrera G. alejandro.adonis@insmet.cu. Centro de Meteorología Marítima, Cuba.

Actualmente, la contaminación de la atmósfera es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la humanidad, y Cuba no está exenta de ello, lo cual se ratificó en la Estrategia Ambiental Nacional (CIT MA, 2007). La presente investigación pretende conocer cómo se dispersan los contaminantes atmosféricos emitidos por Antillana de Acero, en el municipio Cotorro. La hipótesis de la investigación supone que el mayor

impacto negativo en la calidad del aire por la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por esta industria, ocurre dentro de los límites del municipio, para lo cual se aplicó el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos DISPER 4 con la finalidad de caracterizar la distribución espacial de los contaminantes. Se realizó la modelación para los horarios correspondientes a las 7:00 a.m. y 4:00 p.m., en los que se emplearon los valores medios de las variables y los parámetros meteorológicos del período 2006-2010. Asimismo, se modeló un escenario crítico bajo condiciones meteorológicas desfavorables y se obtuvieron las mayores concentraciones. Los resultados de la modelación muestran que el material particulado es el contaminante principal que emite la chimenea de esta acería. El dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno resultaron ser los principales contaminantes emitidos por las chimeneas de los hornos 250 y 300.

Palabras Clave: *Modelo, modelo de dispersión, contaminantes atmosféricos, emisiones, modelación, dispersión atmosférica, Antillana de Acero.*

2.2 MARCO HISTÓRICO.

En los últimos años, la modelación y la simulación se han convertido en una herramienta de diversas disciplinas que buscan explicar o reproducir

sus respectivas observaciones. Es así como, Bird (1995) señala: “La modelación matemática es una metodología sistemática de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza basada sobre sus partes observables y sus relaciones”. La simulación es la representación del comportamiento de un proceso real mediante la resolución de un modelo matemático. Pelayo (2011). La modelización del transporte de contaminantes, Camacho (1998) se utiliza para determinar cómo varía la concentración de un determinado contaminante en el espacio y en el tiempo. De esta manera, se estiman ciertos parámetros de emisión desde una fuente fija para mantener los límites indicados por la legislación en las zonas circundantes al foco emisor cuando se diseña una chimenea industrial, en la planificación del territorio, etc. Existen varios tipos de modelos y paquetes de software destinados a la estudiar la evolución de los contaminantes en la atmósfera.

El modelo matemático que se presenta implicó: la identificación de las variables causantes del cambio de un sistema, el plantear un conjunto de hipótesis razonables acerca del sistema (leyes empíricas aplicables), donde las hipótesis planteadas implicaron la tasa de cambio de variables que intervinieron. El enunciado de esas hipótesis es el algoritmo para el cálculo de las emisiones e inmisiones de los productos de la combustión. De todos los modelos desarrollados, uno de los más usados, cuando los contaminantes no son reactivos, es el modelo de dispersión gaussiano,

Poch (2005). Este modelo parte de varias suposiciones. El presente trabajo tuvo por objeto investigar el modelo de dispersión atmosférica de tipo gaussiano para determinar el impacto de uno o varios contaminantes atmosféricos en los alrededores de la fuente fija de emisión. Existen limitados modelos matemáticos que proyectando las concentraciones de contaminantes viento abajo permiten predecir la calidad del aire como consecuencia de las actividades industriales.

Los modelos gaussianos son ampliamente usados para estimar el impacto de contaminantes no reactivos. Estos modelos incorporan datos meteorológicos de superficie y altura, topografía, características de la fuente y del contaminante emitido para simular la dispersión y el transporte de contaminantes. (Senamhi, 2011). Cuando se requiere simular los efectos que pueden causar las emisiones gaseosas de generadores de vapor y cuál es su influencia en la calidad ambiental de su entorno, se debe considerar contaminantes como el monóxido de carbono, el óxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el material particulado MP10.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Modelos matemáticos

Un modelo numérico es un algoritmo matemático basado en ecuaciones físicas que intenta describir fenómenos que suceden

en la naturaleza. El algoritmo matemático de un modelo es traducido a un lenguaje de programación para ser luego utilizado mediante equipos de cómputo. La utilización de estos modelos permite llevar a cabo estudios preliminares previos a la realización de un trabajo de campo para analizar el problema a investigar y conocer los parámetros que van a gobernar dicho problema, entre otras aplicaciones^{[6], [7]}.

2.3.2 Modelos de dispersión atmosférica

Los modelos de dispersión atmosféricos son usados para estimar concentraciones de gases de acuerdo con la distribución de sus fuentes y sumideros, y con el efecto de transporte por flujos turbulentos en la atmósfera. Este tipo de modelo requiere de una descripción adecuada del transporte atmosférico, que es obtenido de modelos meteorológicos y/o de observaciones de campo^[8].

Esta manera de modelar la dispersión de gases es adecuada en tanto las especies en cuestión no afecten la dinámica atmosférica, al menos durante las escalas de tiempo consideradas en el modelo. Para aplicar un modelo de transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera se necesita recopilar información específica de la fuente de emisión.

⁶ Benavides B. Henry O. (2003). "Pronóstico de la concentración de material particulado por chimeneas industriales en Bogotá." Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.

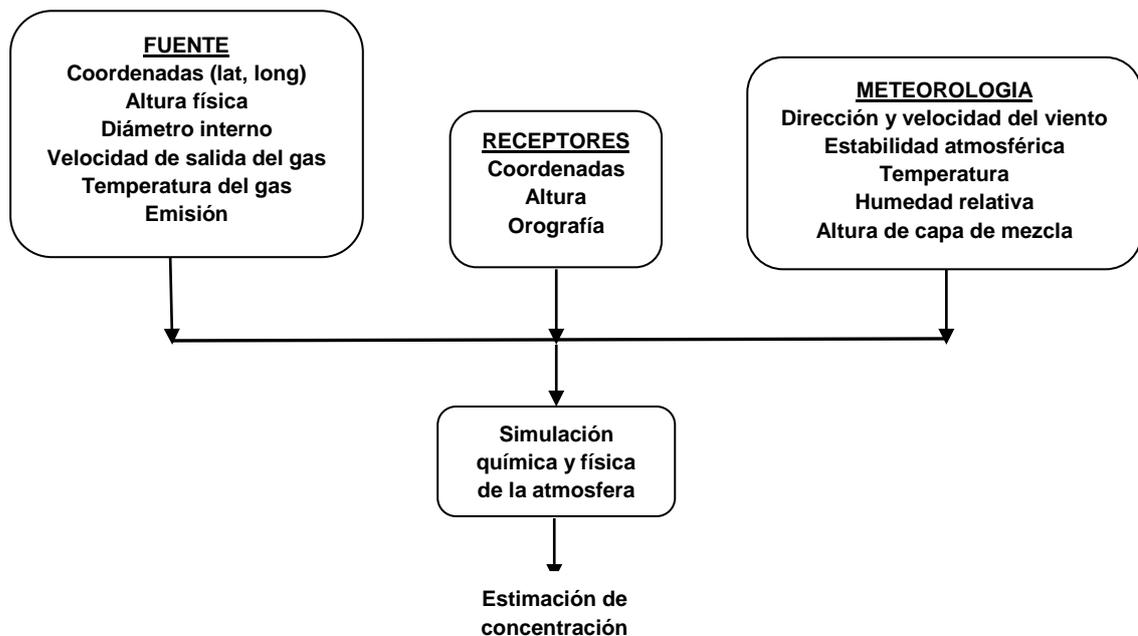
⁷ Holmes N. S., Morawska L. (2006). "A review of dispersion modeling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available." Atmospheric environment 40: 5902-5928.

⁸ Holmes N. S., Morawska L. (2006). "A review of dispersion modeling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available." Atmospheric environment 40: 5902-5928.

Esta información incluye la ubicación del punto de emisión, cantidad y tipos de contaminantes emitidos, condiciones de la corriente gaseosa de la chimenea, altura de la chimenea y factores meteorológicos tales como velocidad y dirección de viento, temperatura y presión atmosférica, así como también la orografía de la zona de estudio.

Esta información es usada como entrada por el modelo para predecir cómo los contaminantes se dispersan en la atmósfera. El Grafico 2.1, muestra a nivel general el tipo de entradas requeridas para un modelo de dispersión.

Grafico N°2.1
Estructura general de un modelo de dispersión



Los modelos de dispersión tienen muchas aplicaciones en el control de las emisiones, pues son herramientas que evalúan la dispersión de los contaminantes^[9]. La exactitud de los modelos está limitada al tratar de simplificar los factores complejos e interrelacionados que afectan el transporte y dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

Los modelos de dispersión atmosférica pueden tener diferentes propósitos entre los que destacan:

1. Desarrollo de estrategias de control;
2. Evaluación de la calidad del aire y análisis de sus tendencias;
3. Selección del sitio apropiado para ubicar estaciones de monitoreo y
4. Estudios de diseño de chimeneas, etc.

Estos modelos pueden variar en complejidad, en la cantidad de datos de alimentación requeridos y en las formas de llegar a los resultados.

2.3.3 Formulación matemática

En la modelación de la dispersión se utiliza la conservación de masa para describir la concentración $C(x,y,z,t)$ de un determinado

⁹ Hao Jiming, Wang Litao, Shen Minjia, Li Lin, Hu Jingnan (2006). "Air quality impacts of power plant emissions in Beijing." Environmental pollution 147: 401408.

contaminante en un punto (x,y,z) al tiempo t de una fuente $S^{[10]}$. El cambio de la concentración con respecto al tiempo es:

Al tiempo es:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V \cdot \nabla C + K \nabla^2 C + S \quad (2.1)$$

Donde:

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.2)$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.3)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2.2) y (2.3) en la ecuación (2.1), resulta entonces:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{-u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} - w \frac{\partial C}{\partial z}}_{\text{adveccion}} + \underbrace{K_{xx} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) + K_{yy} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_{zz} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)}_{\text{Difusion}} + \underbrace{S}_{\text{Fuente}} \quad (2.4)$$

Dónde:

C = Es la concentración, t es el tiempo y las magnitudes

K_{ii} = Son los coeficientes de difusión turbulenta en la dirección de los tres ejes de coordenadas.

La ecuación (2.4) se conoce como la ecuación de transporte de contaminantes atmosféricos. No obstante, esta ecuación es difícil de resolver en forma analítica, por lo que usualmente se hacen

¹⁰ Gratt Lawrence B. (1996). "Air toxic risk assessment and management: public health risk from normal operations".

suposiciones para simplificar este modelo general. Así, para el modelo gaussiano se hacen las siguientes suposiciones^[11]:

1. El contaminante emana de una fuente de forma continua
2. El proceso está en estado estacionario, esto es, $\delta C/\delta t = 0$
3. El eje x se alinea con la dirección del viento.
4. La velocidad del viento (u) es constante en cualquier punto del sistema de coordenadas x, y, z
5. El transporte de contaminantes debido al viento en la dirección x predomina sobre la difusión descendente, esto es, $u(dC/dx) \gg K_{xx}(\delta^2 C/\delta x^2)$
6. No hay reacción química, o equivalentemente, se considera que la especie modelada es inerte

Con las suposiciones anteriores, la ecuación de transporte (2.4) se reduce a la siguiente forma:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = K_{yy} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_{zz} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (2.5)$$

Dónde:

$K_{yy} \neq K_{zz}$ = La solución de esta ecuación debe cumplir las siguientes condiciones de frontera^[12]:

1. $C \rightarrow \infty$, cuando $x \rightarrow 0$ (una alta concentración en la fuente)

¹¹ Wark Kenneth, Warner Cecil F. (2000). "Contaminación del Aire". Origen y Control.

¹² Gratt Lawrence B. (1996). "Air toxic risk assessment and management: public health risk from normal operations".

2. $C \rightarrow 0$, cuando $x, y, z \rightarrow \infty$ (la concentración es cero a una gran distancia)
3. $K(\delta C/\delta z) \rightarrow 0$, cuando $z \rightarrow 0$ (no hay difusión en la superficie)
4. $\int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} uC(x, y, z) \delta y \delta z = Q, x > 0$. (La rapidez de transporte del contaminante en la dirección del viento es constante e igual a la tasa de emisión Q del contaminante).

2.3.4 Distribución Gaussiana

Existen varias formas de resolver la ecuación (2.6), sin embargo, todas tienden a llegar a la misma función de distribución normal o gaussiana, por lo que se revisaran algunas características generales de esta función^[13].

Una variable x está normalmente distribuida si la función de densidad $f(x)$ satisface la relación:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.6)$$

Dónde:

μ = Es cualquier número real y

σ = Es cualquier número real con un valor mayor a cero.

¹³ Wark Kenneth, Warner Cecil F. (2000). "Contaminación del Aire". Origen y Control.

La magnitud σ se conoce como la desviación normal (Grafico 2.2). El valor de $f(x)$ es la altura vertical sobre el eje horizontal. El valor de μ corresponde a la media de la distribución y establece la ubicación del valor máximo de $f(x)$ sobre el eje x , y la curva es simétrica con respecto a la posición de μ . Así, cuando $\mu = 0$, la curva es simétrica alrededor del eje $x = 0$ ^[14]

En el Grafico 2.2, se observa que σ indica que tan ancho o angosto es la forma de la curva, pero considerando que se tiene un área unitaria bajo la curva. Por otro lado, cuando σ aumenta, el valor máximo de $f(x)$ disminuye y viceversa.

En general, las ecuaciones de dispersión atmosférica toman la forma de una distribución bigaussiana. En este caso, corresponden a la dos variables independientes “y” y “z”, y es sencillamente el producto de cada una de las distribuciones gaussianas^[15]. Por lo tanto se tiene la ecuación (2.7):

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (2.7)$$

Dónde:

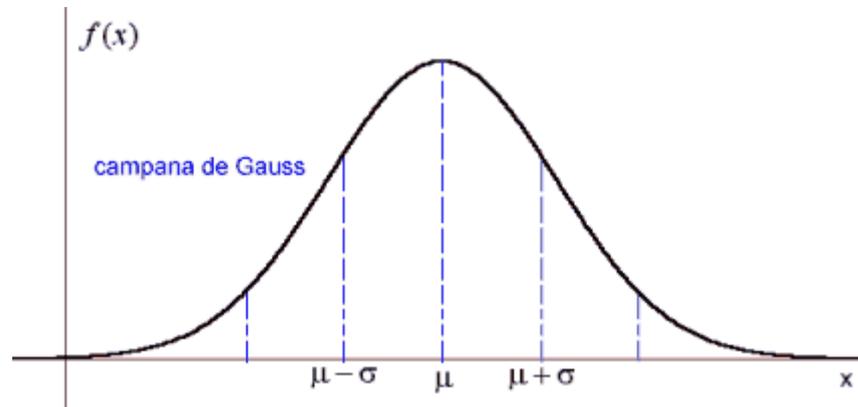
$\sigma_y, \sigma_z, \mu_y, \mu_z$: Tienen esencialmente la misma interpretación que en el caso de la distribución gaussiana univariada.

¹⁴ Wark Kenneth, Warner Cecil F. (2000). “Contaminación del Aire”. Origen y Control.

¹⁵ Wark Kenneth, Warner Cecil F. (2000). “Contaminación del Aire”. Origen y Control

Gráfico N°2.2

Función de distribución gaussiana o normal



Fuente:http://www.amolasmates.es/Bachillerato%20CCSS/segundo/archivos/distribucion_normal/DISTRIBUCION%20NORMAL.htm

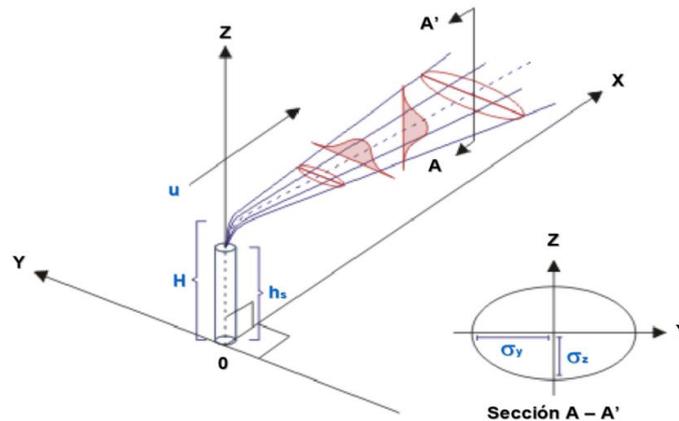
2.3.5 Modelos Gaussianos

Los modelos gaussianos son modelos de uso común en problemas de dispersión de fuentes puntuales como chimeneas industriales. Básicamente, el modelo supone una distribución de concentración gaussiana en torno a su eje de simetría definido por la dirección del viento. Cabe hacer notar que estos modelos son aptos para estimar efectos locales y que su grado de precisión puede variar cuando se aplican a localidades de relieve complejo¹⁶. Los modelos gaussianos estacionarios suponen básicamente que la pluma de contaminantes que emana una chimenea presenta una distribución gaussiana de la

¹⁶ Gallardo Klenner Laura (1997). "Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos". Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile.

concentración en torno a su eje de simetría definido por la dirección del viento^[17]. Como se observa en el Grafico 2.3.

Gráfico N°2.3
Representación Esquemática de la Pluma Gaussiana



Fuente. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc6/lecc6_4.html

Si “x” es la dirección definida por la dirección principal del viento (eje de simetría), “y” es la dirección horizontal perpendicular a la dirección del viento y “z” es la dirección vertical, entonces en un modelo gaussiano simple la concentración “c” de un compuesto en un punto de coordenadas (x, y, z) queda descrito por la ecuación (2.8):

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z - H_e)^2}{\sigma_z^2} \right] \quad (2.8)$$

Dónde:

Q = Es la cantidad total emitida,

¹⁷ Gallardo Klenner Laura (1997). “Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos”. Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile.

u = Es la velocidad del viento y

H_e = Es la altura efectiva de la chimenea ($h_s + \Delta h$).

σ_y y σ_z = Son las desviaciones estándar horizontal y vertical, respectivamente^[18].

Los parámetros que definen la distribución son^[19]:

1. Las desviaciones estándar σ_y y σ_z , que varían tanto con la distancia desde la fuente como por las condiciones meteorológicas existentes.
2. La altura efectiva de la chimenea H_e , determinada por la altura física de la misma más la elevación que alcanza la pluma a la salida de la chimenea según el empuje térmico y la velocidad de salida de los gases.

Cabe mencionar que los modelos gaussianos que se usan actualmente son conocidos como de segunda generación ya que emplean nuevos algoritmos que describen mejor los parámetros físicos de la atmósfera. Así por ejemplo, se encuentra el modelo de dispersión AERMOD que emplea la longitud de Monin-Obukhov para calcular la estabilidad atmosférica.

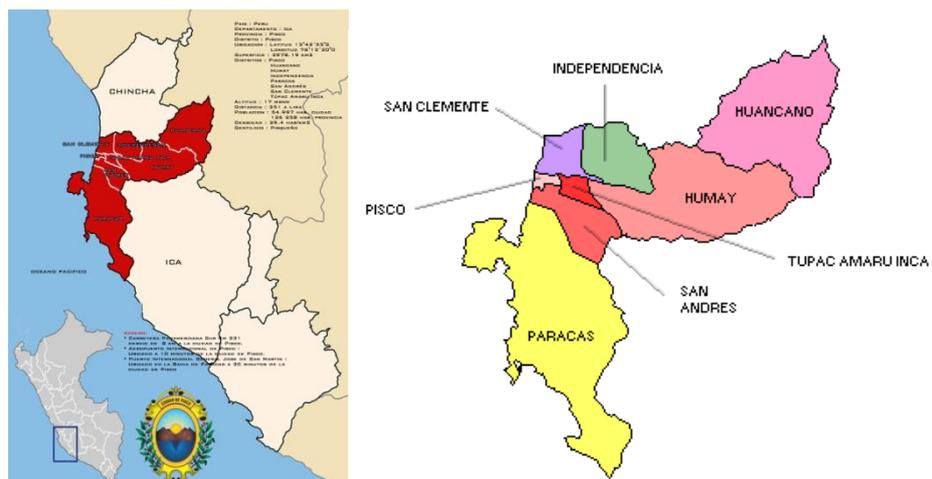
¹⁸ Bustos S. Cristian (2004). "Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: análisis del proceso." Tesis de maestría. Universidad de Chile.

¹⁹ Gallardo Klenner Laura (1997). "Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos". Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile.

2.3.6 Descripción de la Ciudad De Pisco

La provincia de Pisco está ubicada en la parte central y occidental del Perú y se encuentra a una distancia de 230 Km de la capital de la república.. La zona industrial se ubica en las coordenadas geográficas 13° 42' 24" Latitud Sur y 76° 12' 00" Longitud Oeste y se encuentra a una altitud promedio de 17 m.s.n.m., como se observa en el Grafico 2.4

Gráfico N° 2.4
División Política de la Provincia de Pisco



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Pisco

La provincia de Pisco limita por el norte con la Provincia de Chincha, por el sur con la provincia de Ica, por el este con el departamento de Huancavelica y por el oeste con el Océano Pacífico. Esta provincia cuenta con 8 Distritos: Pisco, Paracas,

San Andrés, San Clemente, Humay, Independencia, Huáncano y Villa Túpac Amaru.

2.3.7 Características Topográficas y Meteorológicas.

Características más importantes correspondientes a la cuenca atmosférica de Pisco.

a. Geomorfología

La cuenca tiene una topografía plana con pendiente suave orientada hacia el mar, siendo la cota más alta los 200 m.s.n.m.

b. Hidrografía

Se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Pisco.

c. Régimen Térmico

De acuerdo a datos obtenidos del SENAMHI (ver la Tabla 2.1), la temperatura máxima media anual varía entre 21.6°C en las localidades cercanas al litoral y los 25.4°C en las localidades del interior. Los meses más cálidos son febrero y marzo.

La temperatura mínima varía entre 15.4°C en las localidades cercanas al litoral y los 19.4°C en las localidades del interior. Los meses más fríos son julio y agosto.

**TABLA 2.1: TEMPERATURAS MEDIAS EN LA CUENCA
ATMOSFERICA DE PISCO**

	VERANO	INVIERNO	ANUAL
Máximo	25.4°C	19.4°C	21.1°C
Mínimo	21.6°C	15.4°C	18.8°C

Fuente: Senamhi

En la Tabla 2.2 se muestran los resultados obtenidos en la Estación Pisco (Latitud: -13° 73', Longitud: -076° 21', Altura: 07 msnm) en el periodo 2013. Como puede apreciarse la temperatura media mínima se presentó en el mes de agosto de 17.10 °C, así como la temperatura media máxima se presentó en el mes de febrero con 23.8°C.

**TABLA 2.2: TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES EN LA
CIUDAD DE PISCO. PERIODO ENERO - DICIEMBRE 2013**

AÑO	MES	TEMPERATURA MINIMA (°C)	TEMPERATURA MAXIMA (°C)	TEMPERATURA MEDIA (°C)
2013	Enero	18.20	30.90	23.30
	Febrero	17.30	30.80	23.80
	Marzo	17.90	30.80	23.80
	Abril	16.20	28.90	21.90
	Mayo	12.40	27.90	19.20
	Junio	10.40	25.20	17.70
	Julio	10.10	23.90	17.60
	Agosto	9.70	24.10	17.10
	Setiembre	10.40	24.40	17.60
	Octubre	12.50	24.50	18.40

Noviembre	13.20	26.00	19.50
Diciembre	15.70	28.60	20.90

Fuente: Senamhi

d. Precipitación Pluvial

La precipitación media anual varía entre los 0.9 mm en las localidades cercanas al litoral y los 0.1 mm en las localidades del interior (SENAMHI).

e. Vientos

CORPAC y SENAMHI nos muestran detalles acerca del viento y su dirección para la ciudad de Pisco, en la Cuenca Atmosférica de la ciudad la velocidad media anual del viento en la zona costera es de 3.0 m/seg., con dirección predominante Sur, Suroeste (Estación Corpac) y en la Isla Chincha Norte la dirección predominante Nor, Noreste con velocidad media de 3.5 m/seg.

A nivel local, en la zona costera ubicada al extremo sur de la Cuenca atmosférica de Pisco, el viento adquiere una velocidad predominante del sur oeste (SW) y una velocidad media anual de 2.6 m/seg (Estación CORPAC), en el extremo costero orientado hacia el norte de la cuenca, el viento tiene una velocidad media anual de 4.6 m/seg y dirección predominante del Sur oeste (Capitanía de Puerto- Pisco).

En el extremo nor este de la cuenca orientados hacia el continente, el viento registra una dirección predominante del nor oeste (NO), con una velocidad promedio de 2.9 m/s, y en el extremo sur este de la cuenca el viento presenta una velocidad promedio anual de 1.4 m/s y dirección nor oeste (NO) (Lanchas). En la Tabla 2.3 se observan las componentes del viento máximo, mínimo y medio para la estación de Pisco, registrándose en promedio la componente SO y la mayor intensidad en la estación de verano

TABLA 2.3: VARIACIONES DE LA VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO EN LA ESTACION PISCO CORPAC

VIENTO	VERANO		INVIERNO		ANUAL	
	Dirección	Velocidad (m/s)	Dirección	Velocidad (m/s)	Dirección	Velocidad (m/s)
Medio	SO	3.1	SO	2.0	SO	2.6
Máximo	SO	3.4	SO	2.2		
Mínimo	SO	2.9	SO	1.9		

Fuente: Senamhi

En la Tabla 2.4 se muestra un historial de velocidades del viento durante 20 años de medición en Pisco, puede observarse que la dirección predominante es Sur Oeste (SO), con intensidades promedio que van de 0.6 m/s (meses de Junio y Julio) a 5.0 m/s (mes de diciembre), como se observa en el Grafico 2.5 y Grafico 2.6.

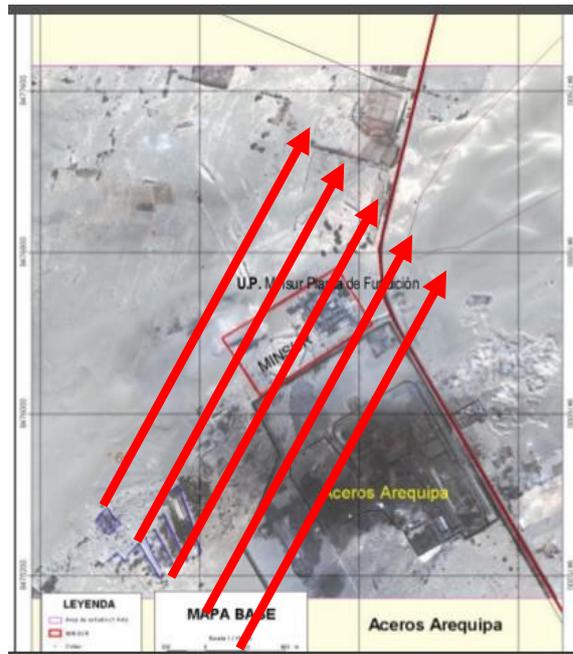
**TABLA 2.4: VELOCIDAD DEL VIENTO. ESTACION PISCO
(PERIODO 1949-2011)**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Velocidad del Viento (m/s-Dirección)	2.8-4.8 S	3.6-4.6 S, SO	2.8-4.7 S, SO	2.2-4.6 S, SO	1.4-3.6 S, SO	0.6-3.3 S, SO	0.6-3.3 S, SO	0.8-4.5 S, SO	1.7-4.2 S, SO	1.4-4.6 S, SO	2.8-4.8 S, SO	2.5-5.0 S, SO

Fuente ONERN Inventario y Evaluación y Uso racional de los recursos naturales de la costa

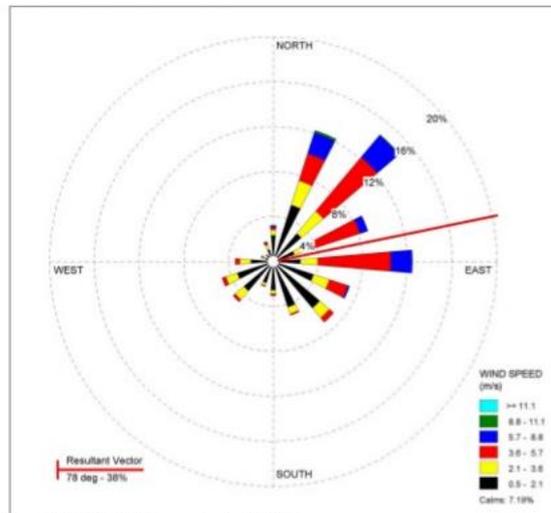
Gráfico N° 2.5

Mapa de Ubicación de Industrias en la Zona Costera de la Panamericana Sur, Distrito de Paracas



Fuente: <http://es.slideshare.net/vonpereira/247147810-modelamientoatmosfericodisperpdf>

Gráfico N° 2.6
Rosa de Viento. Estación Pisco



Fuente: <http://es.slideshare.net/vonpereira/247147810-modelamientoatmosfericodisperpdf>

f. Humedad Relativa

En la Tabla N° 2.5 se presenta el comportamiento promedio anual de la humedad relativa media; donde se observa que Pisco, por su configuración especial presenta valores inferiores de humedad relativa que su entorno. El contenido de humedad atmosférica es mayor en el invierno, el cual puede fluctuar en promedio entre 74 a 87%, y en el verano entre 67 a 85%. Observando los comportamientos extremos de la humedad del aire en los meses de verano e invierno en las estaciones ubicadas en la zona costera: Capitanía de Puerto de Pisco y hacia el interior de la cuenca, zona continental, estación de FUNSUR, se tiene que la Humedad Relativa media del aire varía entre 85% en enero y 87% en

julio y agosto en la estación de Capitanía de Puerto. En la estación de FUNSUR, varía entre 67% en febrero y marzo y 74 % en junio (SENAMHI).

TABLA N° 2.5 COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA MEDIA EN LA CUENCA ATMOSFÉRICA DE PISCO

	VERANO	INVIERNO	ANUAL
Máximo	85 %	87 %	86 %
Mínimo	67 %	74 %	72 %

Fuente SENAMHI

g. Radiación Solar.

Respecto a la Radiación Solar, en general se registra una mayor variabilidad estacional en el comportamiento estacional de las horas de sol en la zona costera, que en la zona continental. Las Horas de sol oscilan entre las 12.4 horas en febrero y 3.7 horas en junio en la zona del litoral. En la zona continental oscila entre 8.7 horas en abril y 5.4 horas en agosto

2.3.8 Población y Desarrollo Urbano.

De acuerdo con los resultados del último Censo de Población y Vivienda del año 2007, efectuado por el Instituto Nacional de Estadística e informática, la población urbana ubicada en la

cuenca atmosférica de la ciudad de Pisco alcanzó los 127,294 habitantes, siendo el 84.44% de la población total de la Provincia, y para el año 2014 se estima que dicha población haya alcanzado los 134,841 habitantes. En la Tabla 2.6 nos muestra los resultados obtenidos en los últimos 8 censos nacionales de población, así como la estimación para el año 2014.

TABLA 2.6 POBLACIÓN DE LA PROVINCIA DE PISCO

PROVINCIA/ DISTRITO	CENSOS NACIONALES							PROYEC. 2014
	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	
PROV. PISCO	118931	121691	124329	126746	128949	131019	132986	134841
PISCO	55905	56044	56255	56167	55900	55488	54997	54270
HUANCANO	1968	1921	1874	1824	1773	1721	1669	1619
HUMAY	5063	5207	5343	5466	5574	5673	5760	5835
INDEPENDENCIA	10757	11278	11797	12302	12789	13265	13727	14173
PARACAS	2299	2726	3214	3751	4332	4984	5722	6554
SAN ANDRES	13402	13448	13474	13487	13502	13514	13524	13534
SAN CLEMENTE	17237	17937	18621	19273	19887	20471	21027	21259
TUPAC AMARU	12300	13021	13751	14476	15192	15903	16610	16961

Fuente: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>

2.3.9 Los Contaminantes Atmosféricos

Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten desde un foco identificable. Los más significativos son:

- SO₂
- CO

- NO_x
- SO_x
- Partículas
- Hidrocarburos
- Metales

Los contaminantes secundarios son los que se forman en la atmósfera por reacciones químicas y se incluyen:

- O₃
- Otros oxidantes fotoquímicos- nitrato de peroxiacetilo
- Hidrocarburos oxidados

Los contaminantes de referencia se definen por los EEUU, UE y OMS e incluyen:

- CO
- NO₂
- O₃
- SO₂
- PM-10 materia particulada de diámetro < 10 μm
- Plomo

Otros contaminantes como algunos hidrocarburos han sido excluidos de la lista americana. Todos estos estándares se

someten a revisiones periódicas y las listas y los estándares cambian.

2.3.10 Estándares de Calidad del Aire Ambiental para los Contaminantes de Referencia

En la Tabla 2.7 se muestran los estándares de calidad para los Estados Unidos, California, La Unión Europea, OMS y Alemania. Cuando algún contaminante no está contemplado en el estándar de la UE es habitual que los países adopten el estándar de la OMS y de TA Luft.

En la Tabla 2.8 se muestran las propiedades y la trascendencia de los contaminantes de referencia.

Puede considerarse que los contaminantes de referencia existen normalmente en todas las zonas urbanas. Sus concentraciones varían dependiendo del nivel de la actividad industrial y del tráfico así como del grado de sofisticación de su control. Además de los seis contaminantes de referencia, también pueden emitirse a la atmosfera cientos de otros componentes. Estos últimos tienden a ser específicos de cada industria y no son tan omnipresentes como estos contaminantes de referencia.

**TABLA 2.7. ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL PARA
CONTAMINANTES DE REFERENCIA.**

CONTAMINANTE	TIEMPO MEDIDO	EE.UU FEDERAL USEPA (ug/m ³)	CALIFORNIA (ug/m ³)	DIRECTIVAS UE (ug/m ³)	GUIAS DE LA OMS PARA LA CALIDAD DEL AIRE (ug/m ³)	TA Luft, ALEMANIA (ug/m ³)
CO (monóxido de carbono)	15min				100.000	
	30min				60.000	
	1h	40.000	23.000		30.000	30.000
	8h	10.000	10.000		10.000	10.000
NO (dióxido de nitrógeno)	1h		470	200	400	200
	24h				150	80
	Anual	100				
O ₃ (Ozono)	1h	235	180		200	
	8h					
	24h				65	
	100días				60	
SO ₂ (dióxido de Azufre)	10min				500	
	1h		655		350	
	3h	1.300				400
	24h	365	105	250-350	125	140
	Anual	80		80-120	40-60	60
PartículasPM-10	24h	150	50	250	125	150-300
	Anual	50	30	80	50	
SO ₂ +PM-10	24h			100-150		
	Anual			40-60	60-90	
Pb (plomo)	1mes		1.5			
	3meses	1.5			0.5-1	2

	Anual		2
Partículas totales en suspensión PTS	24h	260	
	Anual	75	
Hidrocarburos	3h	160	
		no CH ₄)	

Fuente: USEPA EEUU

TABLA 2.8. PROPIEDADES Y TRASCENDENCIA DE LOS CONTAMINANTES DE REFERENCIA.

CONTAMINANTE	PROPIEDADES	TRASCENDENCIA CONTAMINANTE
CO (monóxido de carbono)	Gas incoloro , inodoro	Se forma durante la combustión incompleta de los hidrocarburos. Causa el efecto invernadero y el cambio climático.
NO ₂ (dióxido de nitrógeno)	Gas naranja- marrón	Componente significativo de la niebla fotoquímica y la deposición de ácido
O ₃ (ozono)	Altamente Reactivo	Un contaminante secundario , producido durante la formación de la niebla fotoquímica. Provoca daños en la flora fauna y materiales.
SO ₂ (dióxido de azufre)	Inodoro ,gas asfixiante, Soluble en H ₂ SO ₃	Componente principal de la deposición de ácido. Daños en humanos, flora fauna y materiales.
Partículas(PM-10)	Materia particulada<10micras en diámetro-humo negro	Originado en la quema de carbón en las centrales térmicas, tráfico, chimeneas de viviendas, incineración, minería. Puede ocasionar problemas respiratorios.
Pb (Plomo)	Metal pesado, Bioacumulativo.	La fuente principal es la gasolina con plomo. También de las tuberías de plomo, minería e incineración. En exceso daña a humanos y fauna.

Fuente: USEPA

2.3.11 Unidades de Concentración

Las diferentes formas de expresar las concentraciones de los contaminantes del aire son:

- ppm (v/v)
- ppb (v/v)
- mg/m³
- mg/Nm³ (Nm³ = m³ normal seco, es decir ,en CN, temp =0°C, presión= 1.013mb)

El “metro cubico normal” es importante si la temperatura de emisión es mayor que la atmosfera ya que un mol de gas emitido no ocupa 22,4 litros. A temperaturas y presiones no normales, se tienen que hacer varias correcciones.

En CN^[20], (0°C y 101,3Kpa), 1 mol de gas ideal ocupa 22,4 litros

$$\text{En CNN}^{[21]}, 1 \text{ mol} = 22,4 \times \frac{T}{273K} \times \frac{101KPa}{p}$$

Dónde:

T = Es la temperatura del gas en kelvin y

P = Es la presión del gas en kPa.

Si la temperatura del gas es 25°C, entonces

$$1 \text{ mol} = 22,4 \times \frac{298}{273} = 24,51$$

²⁰ CN = Condiciones normales de presión y temperatura

²¹ CNN = Condiciones no normales o no estándar

Si la temperatura del gas es 1.000°C, entonces

$$1\text{mol}=22,41 \times \frac{1273}{273} = 104,51$$

Por lo tanto es importante darse cuenta que el estándar se escribe en condiciones CN.

2.3.12 Contaminantes de Referencia

Monóxido De Carbono: CO

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido y el más abundante de los contaminantes de referencia con una tasa de emisión por persona y año que excede los 100 kg. Es el producto de la combustión incompleta de los combustibles carbonosos, dando CO en vez de CO₂. Alrededor del 70 % de todo el CO procede de fuentes móviles (véanse Tablas 2.9 Y 2.10), y prácticamente todo procede de los vehículos a motor.

Tiene efectos perjudiciales para la salud humana, sustituyendo al oxígeno en la sangre formando la carboxihemoglobina (COHb). Si el porcentaje de COHb excede el 2 %, la salud se deteriora temporalmente, y ese nivel se da en personas que desarrollen una fuerte actividad física en ambientes con niveles de CO mayores de unos 30 ppm. Se han probado que sujetos que se desplazan en vehículos a motor están expuestos a niveles incluso mayores de CO que los niveles que miden las estaciones de

seguimiento fijas de CO en el aire ambiental^[22]. En la tabla 2.9 se muestran las emisiones totales de CO per cápita. Se indica que los niveles en la UE son aproximadamente de 100 kg per cápita mientras que en Estados Unidos rondan los 300 kg per cápita.

TABLA 2.9. EMISIONES TOTALES DE MONÓXIDO DE CARBONO PER CÁPITA

AÑO	MONÓXIDO DE CARBONO (kg CO/cápita/año)				
	EE.UU	ALEMANIA OCCIDENTAL	PAÍSES BAJOS	REINO UNIDO	IRLANDA
2000	495	240	148	87	--
2001	389	226	140	83	122
2002	350	195	100	86	146
2003	337	175	91	86	145
2004	311	162	87	89	142
2005	318	151	85	89	135
2006	303	152	84	90	131
2007	250	146	80	94	131
2008	268	148	78	98	--
2009	262	143	76	103	129
2010	260	141	76	106	--
2011	244	133	78	114	--

Fuente: Datos de UE 2012

En la Tabla 2.10 se muestra la cantidad total de CO emitida por fuentes tanto móviles como estacionarias. En la Unión Europea y en los Estados Unidos, las fuentes móviles aun aportan el 70% de todo el CO. En estas tablas también se muestra que mientras que los Estados unidos, Alemania y los Países Bajos redujeron sus

²² Petersen y Allen (1982)

aportes aproximadamente a la mitad entre los años 2000 y 2010, el Reino Unido e Irlanda han incrementado sus emisiones.

TABLA 2.10. EMISIONES TOTALES DE MONÓXIDO DE CARBONO FUENTE MÓVIL (M) Y ESTACIONARIA (ES)

AÑO	MONÓXIDO DE CARBONO (1.000 t de CO)									
	EE.UU		ALEMANIA OCCIDENTAL		PAÍSES BAJOS		REINO UNIDO		IRLANDA	
	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES
2000	74.400	27.000	8.920	5.620	1.490	438	3.097	1.747	--	--
2001	65.000	19.100	10.152	3.835	1.495	423	3.508	1.157	331	57
2002	56.100	23.500	8.813	3.193	1.043	369	3.896	933	420	77
2003	55.400	22.100	7.768	3.001	938	360	3.938	893	421	79
2004	52.900	19.400	7.355	2.620	919	331	4.109	884	408	85
2005	52.400	22.100	6.900	2.394	896	321	4.161	854	384	88
2006	50.600	21.200	6.746	2.577	859	346	4.335	750	366	98
2007	47.900	21.800	6.314	2.580	806	357	4.431	887	355	107
2008	44.600	19.400	6.599	2.416	780	353	4.658	877	--	--
2009	43.300	20.900	6.539	2.238	765	352	5.074	818	388	119
2010	41.200	23.800	6.477	2.194	768	358	5.355	785	--	--
2011	40.000	20.900	6.100	2.172	795	357	5.792	730	--	--

Fuente: Datos de UE 2012

La producción natural de CO es alrededor de 25 veces la de origen antropogénico. La mayor fuente de CO natural es la oxidación del metano en la troposfera. Así los ciclos de CO y CH₄ son interdependientes.

Óxidos de nitrógeno: NOx

Entre los óxidos del gas nitrógeno se incluyen:

- NO —óxido nítrico
- NO₂ —dióxido de nitrógeno
- NO₃ —trióxido de nitrógeno
- N₂O —óxido nitroso
- N₂O₅ —pentóxido de nitrógeno

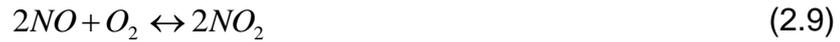
Así como sus ácidos:

- HNO₂ —ácido nitroso
- HNO₃ —ácido nítrico

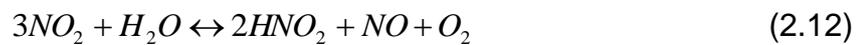
Los NO_x se producen durante el quemado de combustibles fósiles: gasolina, carbón, madera y gas natural, por medio de dos procesos. Los denominados “NO_x de carburantes” se producen por la oxidación del nitrógeno que contienen estos productos. El gas natural contiene cantidades despreciables de nitrógeno mientras que el petróleo o el carbón pueden contener hasta un 3% en peso de nitrógeno. En combustibles líquidos, el contenido de nitrógeno es de 1 a 2%^[23] y éste contribuye a la formación del 80% al 90% del NO_x total. Los denominados “NO_x térmicos” se producen por la oxidación de N₂ atmosférico molecular a elevadas temperaturas de combustión en presencia de oxígeno^[24]. La mayoría de las emisiones de NO_x se encuentran en forma de NO que rápidamente se oxida a NO₂ en presencia de O₂ u O₃ según las reacciones:

²³ Martin et al, 1979

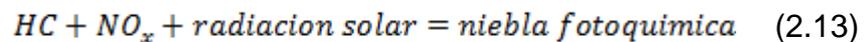
²⁴ Seinfeld, 1986



El NO₂ es más pesado que el aire y soluble en agua. El NO₂ se puede disociar en NO o proseguir su oxidación a HNO₃ o HNO₂ según las siguientes ecuaciones:



Además, el NO₂ puede reaccionar con compuestos orgánicos para producir nitratos de peroxiacetilo (NPA) o con hidrocarburos en presencia de radiación solar para producir nieblas:



Los NO_x ocasionan importantes efectos sobre la salud y el medio ambiente. El NO₂ puede causar problemas respiratorios. El NO y NO₂ pueden producir niebla, que provoca enfermedades en pulmones y bronquios. El NPA en presencia de niebla puede ocasionar irritación ocular mientras que el ozono afecta a la respiración. El ozono perjudica gravemente a las cosechas, disminuyendo el rendimiento de las mismas. La Tabla 2.11 muestra las emisiones de NO₂ anuales per cápita. Se puede apreciar que las emisiones en la Unión Europea rondan los 40 kg (per cápita y año) en comparación con los 80 kg en Estados Unidos. En la Tabla 2.12 se aprecia que las emisiones de NO₂ se

relacionan con fuentes móviles o estacionarias. Se ve que alrededor del 40% al 70% de las emisiones provienen de fuentes móviles y los valores para todos los países han sido relativamente constantes, desde aproximadamente el año 2000.

TABLA 2.11. EMISIONES TOTALES DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO PER CÁPITA

AÑO	DIOXIDO DE NITRÓGENO (kg NOx/cápita/año)				
	EE.UU	ALEMANIA OCCIDENTAL	PAÍSES BAJOS	REINO UNIDO	IRLANDA
2000	89	39	35	45	--
2001	89	42	34	43	19
2002	90	48	39	43	20
2003	89	47	39	42	19
2004	84	46	38	41	18
2005	81	47	38	41	18
2006	83	48	38	41	17
2007	83	48	38	42	19
2008	83	49	39	44	--
2009	78	48	39	45	32
2000	80	47	40	46	--
2011	--	44	37	47	--

Fuente: Datos de UE, 2012

TABLA 2.12. EMISIONES DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO FUENTES MÓVILES (M) Y ESTACIONARIAS (ES)

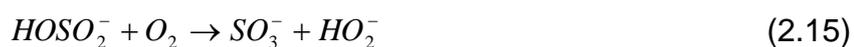
AÑO	DIÓXIDO DE NITRÓGENO (1.000 t de NO2)									
	EE.UU		ALEMANIA OCCIDENTAL		PAÍSES BAJOS		REINO UNIDO		IRLANDA	
	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES
2000	7.700	10.600	1.059	1.322	211	244	943	1.567	--	--

2001	9.000	10.200	1.308	1.263	258	206	997	1.430	16	44
2002	9.300	11.100	1.604	1.376	340	218	1.056	1.386	20	47
2003	9.400	11.000	1.570	1.326	336	216	1.034	1.325	21	43
2004	9.000	10.600	1.593	1.271	333	211	1.050	1.272	20	44
2005	8.500	10.500	1.626	1.277	333	207	1.079	1.251	19	44
2006	8.600	11.100	1.687	1.278	340	214	1.141	1.152	18	43
2007	8.800	11.000	1.730	1.229	335	212	1.160	1.242	19	49
2008	8.500	10.800	1.818	1.190	345	220	1.199	1.276	--	--
2009	8.400	11.100	1.830	1.097	350	228	1.289	1.289	54	61
2010	8.100	11.700	1.849	1.010	365	220	1.378	1.264	--	--
2011	--	--	1.837	870	346	204	1.460	1.230	--	--

Fuente: Datos de UE, 2012

Óxidos de azufre: SO_x

Los óxidos de azufre son productos de la combustión de combustibles fósiles, derivados del petróleo y carbón. La emisión gaseosa predominante de azufre se encuentra en la forma de dióxido de azufre con pequeñas cantidades significativas de azufre (<1 por 100) bien como sulfuros inorgánicos o azufre orgánico que, una vez quemado, se liberan en la forma de SO₂ se convierte en ácido sulfúrico como se observa en las ecuaciones (2.14), (2.15) y (2.16):



Las partículas de (SO₄²⁻) se encuentran en forma de depósitos

secos o húmedos. Para la formación de depósitos húmedos el vapor de agua se combina con H_2SO_4 para producir las gotas de lluvia ácida. El pH del agua es inferior a 5,5. La lluvia ácida es frecuente en la parte central y aún más en la zona este de Estados Unidos. También es común en Europa, particularmente en la parte central, con países como Alemania e incluso más al este como zonas más afectadas. El impacto negativo de los niveles de SO_2 se produce sobre todo en personas y plantas. En ambientes como unos niveles de aproximadamente 25mg/m^3 durante exposiciones de 10 minutos se perjudica el funcionamiento de los bronquios. El crecimiento de la masa forestal se inhibe a niveles tan bajos como 50 g/m^3 .

En la Tabla 2.13 se muestra los niveles anuales en Kg de SO_2 per cápita y año. Se aprecia como los países de Europa continental producen unos 30 Kg por persona y año mientras que el Reino Unido y los Estados Unidos producen unos 60 y 90 mKg respectivamente. Las emisiones de SO_2 para fuentes móviles y estacionarias se muestran en la Tabla 2.14. Claramente el SO_2 es un problema de fuente estacionaria, ya que el 66% del SO_2 proviene de centrales térmicas de carbón o combustibles líquidos mientras que el 25% proviene de otras industrias productoras de su propia energía usando combustibles fósiles. El 3% proviene de las refinerías de petróleo y solo el 3% tiene origen en el transporte.

TABLA 2.13. EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE PER CÁPITA.

AÑO	DIÓXIDO DE AZUFRE (kgSO ₂ /cápita/año)				
	EE.UU	ALEMANIA OCCIDENTAL	PAÍSES BAJOS	REINO UNIDO	IRLANDA
2000	139	62	62	115	—
2001	120	54	31	96	59
2002	103	52	35	87	64
2003	98	49	33	79	55
2004	92	47	28	75	45
2005	89	44	22	69	40
2006	91	43	21	66	37
2007	88	39	19	66	39
2008	86	37	19	69	—
2009	82	32	18	68	49
2010	83	20	18	67	—
2011	83	16	15	65	—

Fuente: Datos de UE, 2012

**TABLA 2.14. EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE_ FUENTE
MÓVIL (M) Y ESTACIONARIA (ES)**

AÑO	DIÓXIDO DE AZUFRE (1.000 t de SO ₂)									
	EE.UU		ALEMANIA OCC.		PAISAJES BAJOS		REINO UNIDO		IRLANDA	
	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES
2000	607	27.800	155	3.588	47	760	199	6.224	—	—
2001	650	25.200	133	3.201	41	388	153	5.217	3	183
2002	889	22.500	107	3.087	38	453	117	4.777	5	212
2003	884	21.700	107	2.932	33	435	117	4.316	5	184
2004	824	20.600	103	2.765	34	360	116	4.092	4	151
2005	7844	20.000	101	2.589	33	286	101	3.760	5	135
2006	825	20.700	94	2.509	32	270	106	3.613	4	125
2007	864	19.800	87	2.309	32	237	102	3.617	5	133
2008	869	19.500	98	2.165	34	239	103	3.792	—	—

2009	884	19.800	90	1.843	36	231	97	3.801	7	167
2010	938		73	1.164	37	222	105	3.707	—	—
2011	952		74	927	32	186	121	3.578	—	—

Fuente: Datos de UE, 2012

Partículas: PM-10

La materia particulada (partículas) del aire representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas típicamente divididas en dos grupos como se muestra en la Tabla 2.15. Entre los términos usados para describir la naturaleza de estas partículas se encuentran: materia particulada en suspensión, partículas en suspensión totales, humo negro, partículas inhalables por el tórax (que se depositan en los conductos respiratorios interiores, por debajo de la laringe) y los PM-10 (término usado por la USEPA que indica partículas con un diámetro aerodinámico inferior a los 10 μ m). Entre los métodos analíticos se incluyen las mediciones de “humo negro”, cuyo método se basa en medir el grado de ensuciamiento de un filtro blanco tras pasar una masa de aire por aquel. Las partículas totales en suspensión se miden por métodos gravimétricos obteniéndose unas concentraciones dos o tres veces mayores que el método del humo negro.

Las partículas se encuentran en las zonas urbanas procedentes de centrales térmicas, procesos industriales, tráfico de vehículos, combustión doméstica de carbón e incineradores industriales. La tabla 2.16 muestra algunos valores para las zonas urbanas y

rurales. En la tabla 2.17 se puede apreciar que las partículas presentes en el aire han disminuido sustancialmente desde 1980 y ahora se encuentra en unos 5kg per cápita y año en la Unión Europea. En la Tabla 2.18 se muestra que las estacionarias emiten alrededor de tres veces más que las fuentes móviles.

TABLA 2.15. TAMAÑO DE PARTÍCULA.

DESCRIPCIÓN DEL GRUPO	COMPOSICIÓN	TAMAÑO DE PARTÍCULA	
		OMS	USEPA (PM-10)
Gruesas	Polvo, tierra, depósitos	>2.5 µm	≥ 10 µm
Finas	Aerosoles, partículas de combustión, vapores de compuestos orgánicos condensados y metales(contaminantes primarios y secundarios)	<2.5 µm	≤ 10 µm

Fuente: Datos de UE, 2012

TABLA 2.16. VALORES TÍPICOS DE HUMO NEGRO Y CONCENTRACIONES DE PM

LOCALIDAD	CONCENTRACION ANUALES	
	HUMO NEGRO	PARTICULAS EN SUSPENSIÓN POR GRAVIMETRÍA (µg/m ³)
Rural	0-10	0-50
Urbana	10-40	50-150
Máxima	100-150	200-400

Fuente: Datos de UE, 2012

TABLA 2.17. PARTÍCULAS TOTALES PER CÁPITA.

AÑO	PARTÍCULAS TOTAL (KG PM/CÁPITA/AÑO)				
	EE.UU	ALEMANIA OCCIDENTAL	PAISES BAJOS	REINO UNIDO	IRLANDA
2000	90	19	14	19	—
2001	49	10	11	12	24
2002	37	8	12	10	28
2003	35	8	11	10	28
2004	31	7	10	10	28
2005	30	7	9	9	29
2006	31	7	8	9	32
2007	30	7	7	10	33
2008	29	6	7	10	—
2009	30	6	7	9	30
2010	28	5	7	9	—
2011	28	5	5	9	—

Fuente: Datos de UE, 2012

Las concentraciones excesivas de SO₂, humo negro y partículas totales en suspensión se asocian a aumentos en la mortalidad, enfermedades y dificultades respiratorias. Se ha demostrado que exposiciones de 24 horas a humo combinado con SO₂ a 500 g/m³ resulta en un aumento de las enfermedades. El límite del estándar de la UE para un periodo de 24 horas se encuentra entre los 100 y 150 g/m³ para humo combinado con SO₂ y entre 40 y 60 g/m³ para un periodo anual.

**TABLA 2.18. PARTÍCULAS FUENTES MÓVILES (M) Y
ESTACIONARIA (ES)**

AÑO	MATERIA PARTICULADA (1.000 T PM)									
	EE.UU		ALEMANIA OCC.		PAÍSES BAJOS		REINO UNIDO		IRLANDA	
	M	ES	M	ES	M	S	M	ES	M	ES
2000	1.200	17.300	84	1.084	18	165	104	945	—	—
2001	1.300	9.300	61	581	21	128	114	574	6	69
2002	1.300	7.200	64	453	30	133	123	447	8	86
2003	1.300	6.800	65	412	30	126	116	424	9	88
2004	1.300	5.800	66	365	30	115	121	417	8	90
2005	1.300	5.800	67	342	31	94	128	392	8	92
2006	1.300	6.100	68	344	32	78	139	342	8	104
2007	1.400	5.700	70	327	34	68	145	410	10	107
2008	1.400	5.400	74	308	36	62	159	426	—	—
2009	1.400	5.600	73	271	38	60	170	368	10	97
2010	1.400	5.500	71	249	41	57	188	345	—	—
2011	—	—	72	214	21	54	202	310	—	—

Fuente: Datos de UE, 2012

Compuestos orgánicos volátiles: COV

Los contaminantes orgánicos del aire lo comprenden los hidrocarburos y otras sustancias (alrededor por del 50% de hidrocarburos). Muchos de ellos son reactivos (excluyendo el CH₄) en el aire y provocan efectos considerables sobre la salud y el ambiente. El HC más abundante es el metano con unas concentraciones ambientales entre 1 y 6 ppm. Las sustancias menos abundantes aunque las más reactivas son los compuestos orgánicos volátiles entre los que se incluyen óxido de etileno,

formaldehído, fenol, fosgeno, benceno, tetracloruro de carbono, CFC y PBC. Casi todos estos son productos elaborados y son cancerígenos conocidos o sospechosos. Muchos son precursores para los oxidantes químicos y reaccionan con el NO_x y O₂ para producir niebla y contaminación por aerosoles en presencia de radiación solar. Estos compuestos pueden producir irritación de ojos, garganta y pulmones así como inhibición del crecimiento de las plantas. Tal y como se muestra en la Tabla 2.19.

TABLA 2.19. EMISIONES DE COV PER CÁPITA

FUENTE	EMISIONES DE COV TOTALES (KG COV/CÁPITA)				
	CE 12	ALEMANIA OCCIDENTAL	PAÍSES BAJOS	REINO UNIDO	IRLANDA
Transporte por carretera	16	19	15	14	~7
Evasión de disolventes	10	18	11	12	~7
Combustibles fósiles sólidos					
Minería	8	17	—	16	
Vertederos	10	29	—	12	
Distribución de gas	5	4	—	7	~8
Procesos de producción	<2	<0.1	<1	4	
Procesos de combustión en la industria	<0.5	<0.1	<1	<1	<1
Refinería de petróleo	<0.5	<0.1	<1	<1	<1
Producción de calor en comercios, residencias y organismos institucionales	2,0	<0.5	<0.5	<1	
Natural					
Varios	7	4_3	1	1,5	7
Total	~60	~95	~29	~69	~31

Fuente: Datos de UE, 2012

Las emisiones de COV provienen de un amplio abanico de focos. Esta tabla es incompleta debido a que algunos países incluyen el metano mientras que otros no lo hacen. Típicamente las emisiones de COV se distribuyen entre diferentes fuentes emisoras: 27% del transporte por carretera, 17% de la industria de disolventes, 15% de la minería del carbón, 17% del metano de los vertederos, 10% de las redes del gas, 12% de fuentes naturales (bosques, etc.) y 2% procedente de otras fuentes. Las emisiones totales de COV en el año 1995 estuvieron entre los 30 a 90 kg per cápita. Los estándares de calidad del aire no impusieron unos límites para las concentraciones de COV y este hecho se debió a que no existe ningún límite seguro para la mayoría de estos compuestos. Por ejemplo el benceno es un cancerígeno conocido para el que no se conoce ningún límite de umbral de seguridad. La OMS (1997) ha afirmado que es una concentración de $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno en el aire impone una probabilidad de 4×10^{-6} en desarrollar leucemia a lo largo de la vida.

Hidrocarburos: HC

Los hidrocarburos forman parte de las emisiones de COV. Estos compuestos orgánicos únicamente contienen carbono e hidrógeno. Habitualmente son derivados del petróleo y se clasifican según se muestra en la tabla 2.20.

TABLA 2.20. CLASIFICACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS

GRUPO	SUBGRUPO	REACTIVIDAD	EJEMPLO
Alifáticos	Alcanos	Inerte	
	Alquenos(olefinas)	Altamente	Metano
	Alquinos	reactivo	Etileno + $NO_3 \rightarrow NPA_2 O_3$
		Reactivo	Raro
Aromáticos (relacionados con el benceno)	Benceno	No muy reactivo	PAH
			Benzo(a)pireno
			Benzo(e)acefenantrileno
			Benzo(j)fluoranteno
			Cancerígenas
			Benzo(z)pireno
Benzo(a)antraceno			

Fuente: Datos de UE, 2012

El hidrocarburo más abundante es el metano, como ya se mencionó en la sección anterior. Debido a que el metano es inerte no es un contaminante grave en la tropósfera. Sin embargo, en la actualidad se considera uno de los gases de efecto invernadero siendo producido por los animales, en las masas forestales, en zonas pantanosas, en vertederos, en vehículos, etc. Asimismo, se empieza ahora a considerar como un gas que afecta la capa de ozono. Los alquenos (u olefinas) son altamente reactivos, por ejemplo al combinarse el etileno con los NO_x se produce nitrato de peroxiacetil (NPA) y ozono.

Pero los hidrocarburos más preocupantes son los aromáticos o los derivados de benceno. Aunque no son muy reactivos, varios compuestos derivados de benceno son cancerígenos o

sospechosos. Entre estos se incluyen los hidrocarburos polinucleares y los compuestos de benceno.

Las principales fuentes de hidrocarburos producidos por el hombre son el tráfico, la producción de productos químicos orgánicos, el transporte y refino de crudo y la distribución de gas natural. En la Tabla 2.21 aparece que la producción de HC varía entre los 30 y 90kg per cápita y año. En la Tabla 2.22 se muestra que la producción de HC en la UE proviene en un 50% de las fuentes móviles y en otro 50% de fuentes estacionarias mientras que en Estados Unidos, la producción de HC procedente de las fuentes estacionarias es alrededor del doble que la procedente de fuentes móviles. La producción de HC únicamente ha descendido gradualmente desde 2001.

TABLA 2.21. EMISIONES TOTALES DE HIDROCARBUROS PER CÁPITA

AÑO	HIDROCARBUROS (kg HC/cápita)				
	EE.UU	ALEMANIA OCCIDENTAL	PAÍSES BAJOS	REINO UNIDO	IRLANDA
2000	128	48	41	31	-
2001	102	45	41	31	15
2002	98	45	35	33	18
2003	91	43	33	34	18
2004	84	43	32	34	18
2005	87	43	31	34	18
2006	91	43	30	34	18
2007	83	43	29	34	18

2008	79	44	28	34	-
2009	78	43	27	35	30
2010	74	42	27	35	-
2011	-	42	27	36	-

Fuente: Datos de UE, 2012

TABLA 2.22. EMISIONES DE HIDROCARBUROS FUENTES MÓVILES (M) Y ESTACIONARIAS (ES)

AÑO	HIDROCARBUROS (1.000 T HC)									
	EE.UU		ALEMANIA OCC.		PAÍSES BAJOS		REINO UNIDO		IRLANDA	
	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES
2000	11.100	15.100	1.030	1.851	289	251	403	1.347	-	-
2001	9.200	12.800	1.210	1.598	289	266	447	1.286	29	19
2002	7.400	14.900	1.310	1.444	236	266	606	1.281	37	25
2003	7.200	13.700	1.242	1.419	218	256	619	1.274	38	25
2004	6.800	12.800	1.258	1.379	217	246	639	1.273	36	27
2005	6.700	13.800	1.266	1.366	215	232	632	1.271	34	28
2006	6.800	14.700	1.287	1.364	212	217	648	1.259	32	32
2007	6.400	13.600	1.269	1.355	203	213	646	1.280	32	32
2008	6.200	13.200	1.322	1.339	202	202	664	1.293	-	-
2009	6.000	13.600	1.329	1.304	202	196	697	1.287	65	43
2010	6.100	12.400	1.334	1.269	207	189	729	1.284	-	-
2012	-	-	1.273	1.263	213	186	788	1.287	-	-

Fuente: Datos de UE, 2012

Ozono: O₃

El ozono es considerado como un contaminante de referencia ya que se asocia con la niebla urbana. Sin embargo, es un contaminante secundario. Los óxidos de nitrógeno y varios hidrocarburos en presencia de radiación solar llevan a cabo un

conjunto un conjunto de reacciones complejas que producen contaminantes secundarios u oxidantes fotoquímicos. El oxidante más abundante es el ozono (O_3). La formación de la niebla.

Hidrocarburos + NO_x + Radiación \longrightarrow Niebla solar fotoquímica

Las fuentes de HC y NO_x en las zonas urbanas son primordialmente los vehículos. La irradiación del aire que contiene hidrocarburos y óxidos de nitrógeno conlleva:

- Oxidación de NO a NO_2
- Oxidación de HC
- Formación O_3

Los niveles de fondo de O_3 en la troposfera limpia se encuentra entre 20 y 80 ppb. Mientras que en las zonas urbanas contaminadas pueden alcanzar concentraciones de hasta 500 ppb. Unos niveles elevados de ozono se asocian a efectos en la salud tales como contricción de pecho e irritación de las mucosas. Asimismo se asocia al deterioro de los productos hechos de goma (neumáticos) y daños producidos en la vegetación. Los estándares ambientales de USEPA se han fijado en 235 g/m^3 para una hora de exposición y la OMS ha recomendado en Europa un límite entre 150 y 200 g/m^3 para una hora.

Plomo: Pb

Los metales pesados como el cadmio, plomo y mercurio son contaminantes atmosféricos significativos. El plomo es un metal gris- azulado dúctil con un punto de fusión de 327 °C y de ebullición de 1.740 °C. Los compuestos orgánicos del plomo como el plomo tetraetilico son aditivos de combustibles empleados extensivamente. Son líquidos incoloros y menos volátiles que la mayoría de los componentes del petróleo .de esta forma tienden a concentrarse cuando la gasolina se evapora. Antes de 1986 del 80% al 90% del plomo presente en el aire del ambiente procedía de la combustión de gasolinas como plomo. La minería y fundición de plomo es fuente de emisión pero específica de determinados lugares. Asimismo la refundición de plomo y refinado y manufactura de compuestos que contienen plomo así como incineradores de residuos ocasionados emisiones del plomo. Los niveles de fondo de plomo en el aire son los de alrededor $5 \times 10^{-5} \text{ug/m}^3$. Ambientes con densidades de tráfico elevadas pueden provocar unas concentraciones de 0,5 a 3 ug/m^3 . Internacionalmente el estándar anual de calidad ambiental del aire se ha fijado en 2 ug/m^3 .

El plomo en suspensión en el aire está en forma de partículas de tamaño inferior a 3 μm . El plomo también se encuentra en el agua y alimentos. Es bioacumulativo y entre 30% y50% del plomo inhalado se aloja en el sistema respiratorio y el resto es absorbido

en el cuerpo. Elevados niveles de plomo en la respiración el resto es absorbido en el cuerpo .elevados niveles de plomo en la sangre derivan en problemas hematológicos, principalmente cuando el nivel en la sangre supera los 0.2 ug/ml. En la tabla 2.23 se muestra que desde la introducción de las gasolinas sin plomo, las emisiones de plomo en estados unidos se han reducido desde los 640 a 20 g/capital entre los años 1980 y 2005. En la tabla 2.24 se puede apreciar que de todas las gasolinas usadas en Alemania accidental y Dinamarca en 2001 el 60% eran sin plomo mientras que la cifra correspondiente a España en Italia no alcanzaba el 5%. Para 2005 las cifras de 2000 habían experimentado un aumento sustancial para las gasolinas sin plomo.

**TABLA 2.23. EMISIONES DE PLOMO PER CAPITAL
PROCEDENTES DE VEHÍCULOS**

AÑO	PLOMO (KG PB /CÁPITA)			
	EE.UU	PAISES BAJOS	REINO UNIDO	IRLANDA
2000	0.64	0.12	-	-
2001	0.46	0.18	-	-
2002	0.22	0.09	0.13	0.295
2003	0.18	0.09	0.12	0.252
2004	0.18	0.09	0.12	0.245
2005	0.15	0.09	0.12	0.144
2006	0.12	0.09	0.13	0.137
2007	0.05	0.08	0.11	0.130
2008	0.02	0.05	0.05	0.048
2009	-	0.023	0.05	0.048
2010	-	0.023	0.05	0.048
2011	-	0.02	0.04	0.048

**TABLA 2.24: PORCENTAJES DE GASOLINA SIN PLOMO
COMERCIAL EN 2005**

PAÍS	%
EE.UU	–
Alemania Occidental	68
Países Bajos	42
Reino unido	34
Irlanda	19
Francia	15
España	1
Italia	5
Dinamarca	57

Fuente: Datos de UE, 2012

2.3.13 Tipos de Fuentes Emisoras

Para el propósito de este inventario de emisiones, las fuentes de emisión han sido agrupadas de la manera siguiente:

- Fuentes Puntuales: sector industrial. Ver tabla 2.15
- Fuentes de Área: sector doméstico, comercial y de servicios

Fuentes Puntuales: Se define como una fuente puntual a toda instalación establecida en un lugar que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales o actividades que puedan generar emisiones contaminantes significativas a la atmósfera, por ejemplo se puede citar a las fundiciones primarias, siderúrgica, Agro Industria y otros.

Fuentes de Área: Son todos aquellos establecimientos o lugares donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera y que no llegan a considerarse como fuentes puntuales. En esta categoría se incluyen la mayoría de los establecimientos comerciales y de servicios, como por ejemplo las panaderías, talleres de carpintería, grifos y otros.

De acuerdo a la evaluación realizada por los miembros del Gesta Zonal de Aire de la ciudad de Pisco, las categorías de fuentes existentes en el ámbito geográfico delimitado son las siguientes:

Estas totalizan dos categorías de fuentes puntuales y ocho categorías de fuentes de área.

TABLA 2.25: TIPOS DE FUENTES EMISORAS

Nº	ESTRATO	DESCRIPCION	NOMBRE COMUN	TIPO DE FUENTE
1	Actividades de la	Industria de Harina y conserva de pescado	Pesqueras	Puntuales
2	Industria Alimentaria	Plantas procesadoras de flor de marigol	Agro industria	Puntuales
3	Industria de hierro y acero	Industria Siderúrgica	ACEROS AREQUIPA	Puntuales
4	Producción de metales	Fundición	FUNSUR	Puntuales
5	Pérdida evaporativa por manejo de	Almacenamiento de hidrocarburos	Terminales	Puntuales
6	combustibles al por	Industria Textil	Textilería	Puntuales

mayor				
7	Industria del cuero	Industria de Cuero y Piel	Curtiembre	Puntuales
8	Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión	Pollerías	Pollerías	Área
9		Restaurantes	Restaurantes	Área
10		Fábrica de productos de panadería	Panadería	Área
11	Pérdida evaporativa por expendio de combustible	Venta al por menor de combustibles para automotores	Grifos	Área
12	Carpintería y actividades relacionadas	Fabricación de muebles	Carpintería	Área
13	Evaporación de solventes por fuentes de área	Actividades de impresión	Imprenta	Área
14		Talleres automotrices	Talleres automotrices	Área

Fuente: Datos de UE, 2012

2.3.14 Universo de Fuentes Emisoras

El universo de fuentes fijas para la cuenca atmosférica de la ciudad de Pisco fue definido para el caso de las fuentes puntuales en función a información proporcionada por la municipalidad de la ciudad de Pisco, así como al conocimiento e identificación de las grandes fuentes existentes en la zona.

Así, el universo de fuentes fijas aprobado para su empleo como base en el desarrollo del inventario, es el siguiente (Ver Tabla 2.26):

TABLA 2.26: TIPOS DE FUENTES EMISORAS

Nº	ESTRATO	DESCRIPCION	NOMBRE COMUN	TOTAL FUENTES EN LA CUENCA ATMOSFERICA
1	Actividades de la Industria Alimentaria	Industria de Harina y conserva de pescado	Pesqueras	8
2		Plantas procesadoras de flor de marigol	Agro industria	3
3	Industria de hierro y acero	Industria Siderúrgica	ACEROS AREQUIPA	1
4	Producción de metales	Fundición	FUNSUR	1
5	Pérdida evaporativa por manejo de combustibles al por mayor	Almacenamiento de hidrocarburos	Terminales	1
6		Industria Textil	Textilería	3
7	Industria del cuero	Industria de Cuero y Pieles	Curtiembre	1
8	Actividades comerciales y de servicios que realizan combustión	Pollerías	Pollerías	23
9		Restaurantes	Restaurantes	78
10		Fábrica de productos de panadería	Panadería	31
11	Pérdida evaporativa por expendio de combustible	Venta al por menor de combustibles para automotores	Grifos	19
12	Carpintería y actividades relacionadas	Fabricación de muebles	Carpintería	20
13	Evaporación de solventes por fuentes de área	Actividades de impresión	Imprenta	10
14		Talleres automotrices	Talleres automotrices	50

Fuente: Datos de UE, 2012

2.3.15 Inventario de Emisiones.

De acuerdo a los estudios realizados por el GESTA Zonal Aire de Pisco en el año 2012, las mayores emisiones antropogénicas de agentes contaminantes provienen de las fuentes fijas, sin embargo las emisiones provenientes de las fuentes móviles, a pesar de ser menores, éstas se realizan en el interior de la ciudad. (Ver la Tabla 2.27)

TABLA 2.27: EMISIONES DE CONTAMINANTES AL AIRE EN LA CIUDAD DE PISCO (AÑO 2011)

FUENTE	EMISIONES (TON/AÑO)						
	PTS	SO ₂	NO _x	CO	COV	H ₂ S	Pb
Fuentes Fijas	705.400	620.900	213.000	360.400	355.500	3.300	0.00
Fuentes Móviles	13.448	11.245	156.112	290.007	83.654	0.000	1.057
Total	718.848	632.145	369.112	650.407	439.154	3.300	1.057

Fuente: Datos de UE, 2012

2.3.16 Inventario de Fuentes Fijas.

Durante el año 2012 el Gesta Zonal Aire de Pisco desarrolló un Inventario de emisiones de Fuentes Fijas en la ciudad de Pisco. .Para el propósito de este inventario de emisiones, las fuentes de emisión fueron agrupadas de la manera siguiente:

- Fuentes Puntuales : sector industrial
- Fuentes de Área : sector doméstico, comercial y de servicios

De acuerdo a la evaluación realizada por los miembros del Gesta Zonal de Aire de la ciudad de Pisco, se puede señalar que el contaminante más abundante en peso son las partículas totales en suspensión (PTS), emitiéndose a la atmósfera de la ciudad de Pisco un total de 705.4 Ton/año, a consecuencia del aporte de los procesos de combustión desarrollados en las fuentes Puntuales. Asimismo, al igual que las PTS, el dióxido de azufre (SO₂) es producto de las fuentes puntuales, emitiéndose aproximadamente 6209 Ton/año. Respecto al monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), estos son fundamentalmente producidos por las fuentes de área, llegándose a emitir entre 360.4 y 355.5 Ton/año respectivamente. (Ver la Tabla 2.28).

TABLA 2.28: INVENTARIO DE EMISIONES ANUALES DE FUENTES FIJAS DE LA CIUDAD DE PISCO, 2011

SECTOR	EMISIONES (TON/AÑO)						
	PTS	SO ₂	NO _x	CO	COV	H ₂ S	Pb
Fuentes Puntuales	704.9	618.3	188.1	60.9	19.1	3.3	0
Fuentes de Área	0.5	2.6	24.9	299.5	336.4	0	0
Total	705.4	620.9	213.0	360.4	355.5	3.3	0

Fuente: Datos de UE, 2012

En la Tabla 2.29 se muestra el inventario de fuentes fijas desagregado para la cuenca atmosférica de Pisco, evidenciándose que los principales contribuyentes de PTS corresponden a la

Industria Siderúrgica e Industria de Harina y Conserva de Pescado, que en su conjunto emitían 578.6 Ton/año (82%).

Asimismo, el mayor aporte de SO₂ correspondía a la Industria Siderúrgica e industria de harina y conserva de pescado, siendo 516.0 Ton/año, que representa el 81% del total de emisiones de SO₂ de la cuenca.

TABLA 2.29: EMISIONES DE FUENTES FIJAS EN LA CUENCA ATMOSFÉRICA DE LA CIUDAD DE PISCO (DESAGREGADO), AÑO 2011

ESTRATO	TIPO DE FUENTE	TON/AÑO						
		PTS	SO ₂	NO _x	CO	COV	H ₂ S	Pb
Actividad de la Industria alimentaria	Industria de harina y conserva de pescado	190.5	371.3	38.4	4.2	0.8	3.3	0
	Plantas procesadora de flor de marigol	115.6	3.1	68.9	53.6	8.7	0	0
Industria de Hierro y Acero	Industria Siderúrgica	388.2	114.8	76.6	2.9	0.6	0	0
Producción de metales	Fundición	7.1	96.4	0	0	0	0	0
Perdida evaporativa por manejo de combustible al por mayor	Almacenamiento de Hidrocarburos	0	0	0	0	8.8	0	0
Industria textil	Industria textil	3.5	2.5	2.2	0.2	0.2	0	0
Industria del cuero	Industria de cuero y pieles	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0	0	0

Actividades	Pollerías	0.1	<0.1	0.1	1.0	0	0	0
comerciales y de	Restaurantes	<0.1	2.1	24.6	297.4	98.1	0	<0.1
servicios que								
realizan	Panaderías	0.2	0.5	0.2	1.1	0.4	0	0
combustión								
Perdida								
evaporativa por	Grifos	0	0	0	0	6.7	0	0
expendio de								
combustible								
Carpintería y	Fabricación de							
actividades	muebles	0.2	0	0	0	0	0	0
relacionada	(carpintería)							
Evaporación de	Imprentas	0	0	0	0	231.2	0	0
solventes por	Talleres							
fuentes de área	automotrices	0	0	0	0	19.5	0	0
TOTAL		705.3	620.9	213.0	360.4	355.5	3.3	0
FUNTES PUNTUALES		704.9	618.3	188.1	60.9	19.1	3.3	0
FUENTES DE AREA		0.4	2.6	24.9	299.5	336.4	0	0

Fuente: Datos de UE, 2012

2.3.17 Dispersión de Contaminantes.

Las estimaciones de dispersión de contaminantes de las chimeneas incluyen la consideración de muchos efectos: condiciones meteorológicas promedio y local, la elevación térmica y cantidad de movimiento de la pluma emitida desde la chimenea, la topografía y edificación cercana, y múltiples chimeneas cercanas unas a otras.

Los efectos de la meteorología a corto plazo dentro de un ciclo diurno, de la existencia de capas de inversión y de la transmisión

térmica a gran escala, son los más relevantes cuando se estiman las concentraciones gaseosas de las emisiones corta duración, mientras que la meteorología a largo plazo (un mes o un año) es importante para la estimación de concentraciones de material particulado y polvos.

Los tipos de plumas que se pueden hallar son los siguientes (ver Gráfico 2.7):

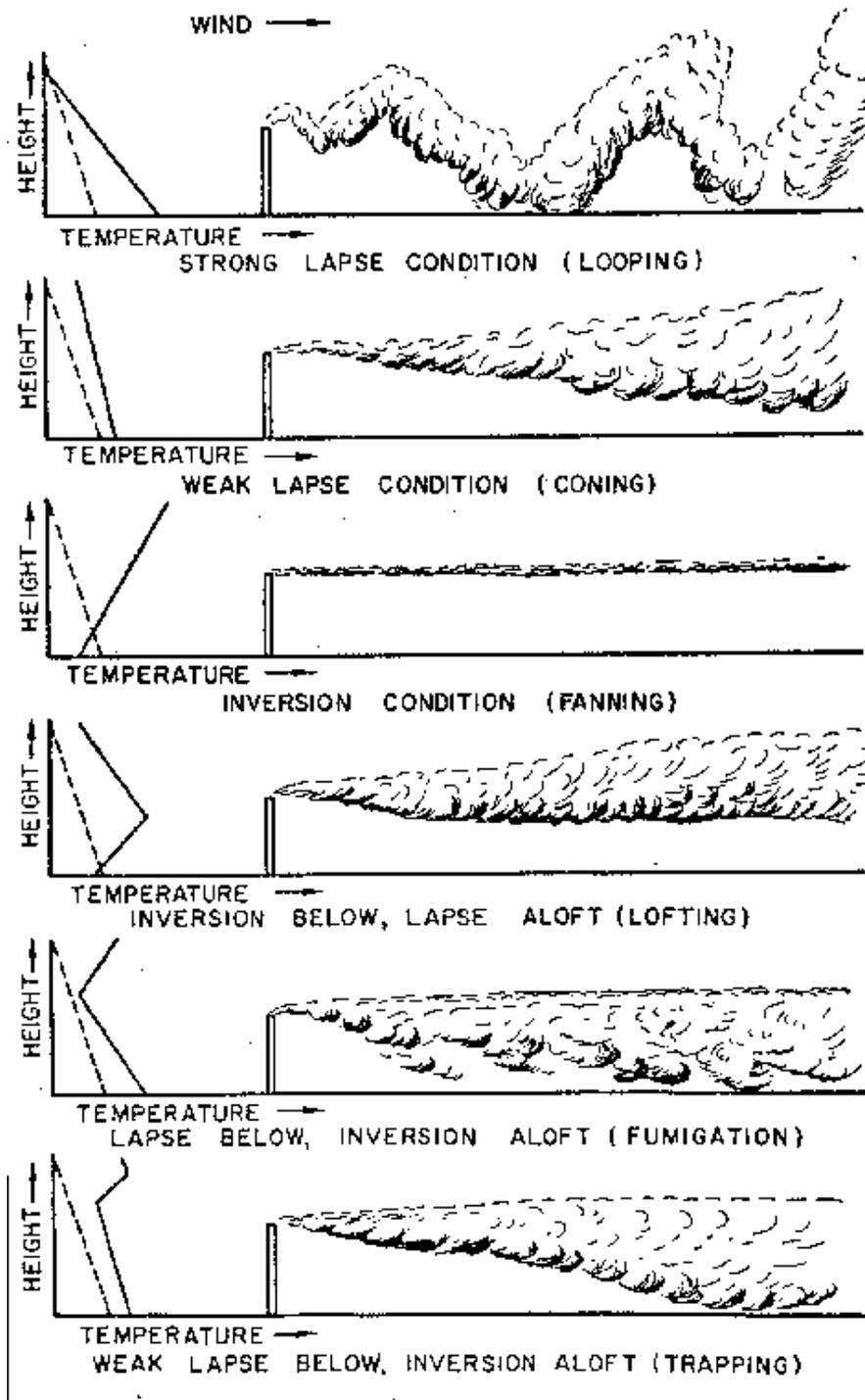
La **pluma cónica** (coningplume) acontece cuando la pluma es dispersada por el viento en una atmósfera neutral, condición característica de la meteorología de la tarde.

La **condición de ventilación** (fanningplume) acontece cuando la pluma se dispersa en la capa inversión atmosférica durante la caída del sol, la noche o temprano en la mañana.

La condición **de fumigación** (fumigatingplume) acontece cuando se quiebra la inversión durante el día, esto es, cuando la capa turbulenta que se eleva del suelo calentado alcanza a la fanningplume emitida dentro de la capa de inversión la noche anterior y atrapada a una altura efectiva de chimenea en la capa de inversión y llevada viento abajo hasta el nivel del suelo. Se asume que el contaminante se dispersa uniformemente en la dirección vertical y con una distribución Gaussiana en la dirección y.

Gráfico N° 2.7:

Comportamiento de los 6 tipos de plumas bajo diversas condiciones de estabilidad atmosférica. Las líneas punteadas representan el perfil adiabático de temperatura; las líneas continuas, el perfil existente



Fuente: <http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/acid/images/plume.gif>

La **pluma atrapada** (trapped plume) ocurre cuando el contaminante es emitido en una capa no estable de aire atrapado entre una capa de inversión y el suelo.

La **pluma ondulante** (looping plume) ocurre durante una condición no estable de viento suave en las tardes de verano, cuando remolinos de gran escala acarrear porciones de la pluma hacia el suelo en un patrón tirabuzón. La pluma que toca el suelo por poco tiempo producirá una concentración alta de contaminantes durante ese período de tiempo.

La **pluma elevada** (lofting plume) ocurre cuando la chimenea libera por sobre una capa de inversión o cuando la flotación de la pluma lleva una emisión de chimenea a través de una capa de inversión a otra capa situada más arriba. La pluma se dispersa por sobre la inversión ya que la parte superior de la capa de inversión actúa como barrera que previene que todas las emanaciones gaseosas o de pequeñas partículas lleguen al suelo. Este tipo de pluma es uno de los principales objetivos de la operación de altas chimeneas de plantas industriales y eléctricas.

2.3.18 Calidad del Aire

Desde la aprobación del Reglamento de estándares de calidad ambiental del aire en el año 2011, el gobierno peruano ha venido fijando en los últimos 10 años un conjunto de normas que han permitido incrementar los agentes contaminantes y en otros casos

establecer nuevos valores para algunos contaminantes (tal es el caso del Dióxido de Azufre). Al respecto, en la Tabla 2.30 se muestran los ECAs vigentes al mes de octubre del 2011.

TABLA 2.30: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

AGENTE CONTAMINANTE	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		METODO DE ANALISIS
		VALOR (ug/m ³)	FORMATO	
Dióxido de azufre	24 horas	80	Media Aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual	50	Media Aritmética Anual	Separación inercial/filtración (gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces al año	
PM- 2.5	24 horas	50	Media Aritmética	Separación inercial/filtración (gravimetría)
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio Aritmético Anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces al año	Fotometría UV (Método automático)

Plomo	Anual	0.5	Promedio Aritmético de los valores mensuales	Método para PM-10 (Espectrofotometría de adsorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	
Hidrogeno sulfurado	24 horas	150	Media Aritmética	Fotometría UV (Método automático)
Benceno	Anual	4	Media Aritmética	Cromatografía de gases
Hidrocarburos totales (expresado como hexano)	24 horas	100000	Media Aritmética	Ionización de llama de hidrogeno

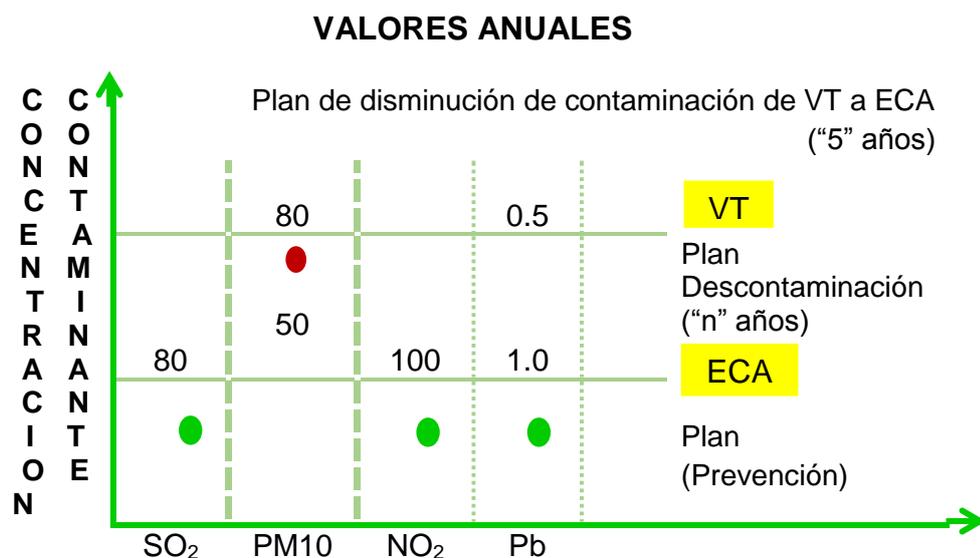
Fuente: Datos de UE, 2012

La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud ha efectuado diferentes campañas de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Pisco, la primera se realizó en el año 2007, entre el 11 y el 15 de febrero, en dos distritos, Cercado de Pisco y Túpac Amaru.

La segunda campaña se desarrolló en el año 2011, entre el 16 y 23 de diciembre en los distritos del Cercado de Pisco, San Andrés y Túpac Amaru. Asimismo, el Gesta Zonal Aire de Pisco ha efectuado monitorios de Material Particulado Sedimentable, Material Particulado en Suspensión PM10, así como de Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno e Hidrógeno Sulfurado con la metodología de tubos pasivos.

En los Gráficos 2.8 y 2.9 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los diferentes muestreos efectuados en la Cuenca Atmosférica de Pisco. Como podemos observar en la figura 2.10, las concentraciones de Material Particulado PM10 se encuentran por encima del Estándar de Calidad del Aire para PM10 expresado como media aritmética anual.

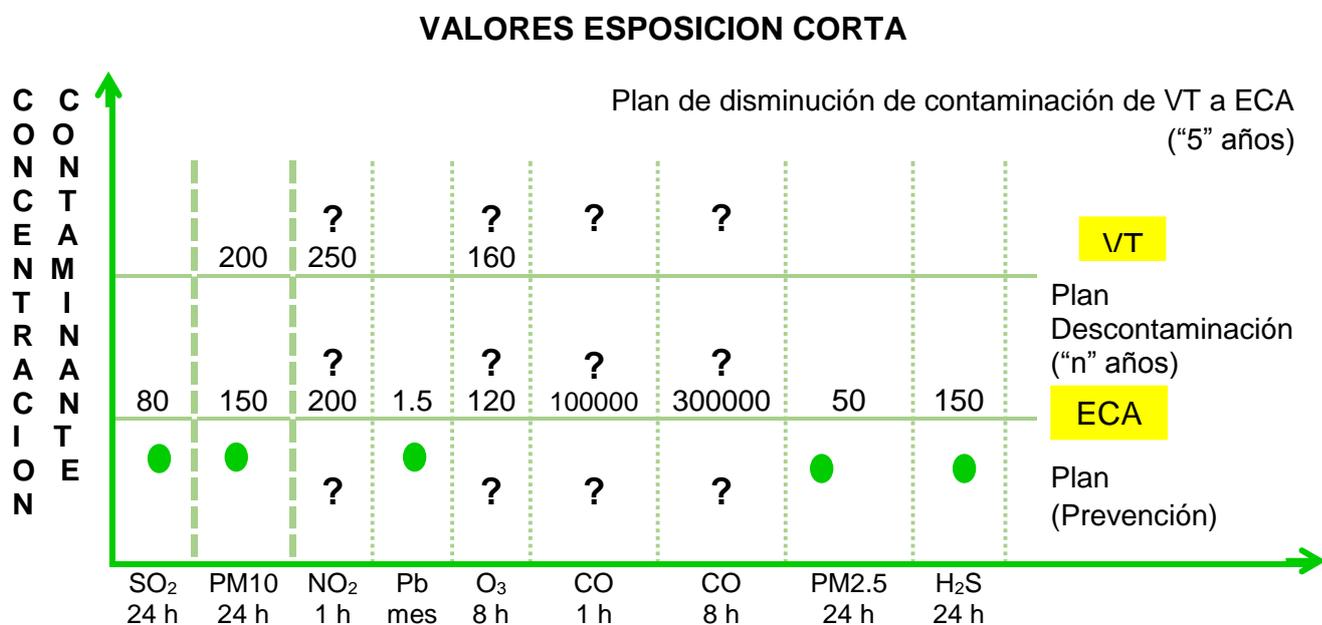
Gráfico N° 2.8
Comparación de Resultados de Monitoreo de Calidad del Aire en Pisco con ECAS y Valores de Tránsito Anuales



Con relación a los valores de exposición corta (Gráfico 2.9) podemos ver que existe poca información al respecto, sin embargo para los agentes contaminantes SO₂, PM10, PM2.5, Plomo y H₂S los valores se encuentran por debajo de las concentraciones máximas establecidas por los ECA aire.

Gráfico N° 2.9.

Comparación de Resultados de Monitoreo de Calidad del Aire en Pisco con ECAS y Valores de Tránsito para Exposición Corta



2.3.19 Meteorología de la Contaminación Atmosférica

Cuando los gases o partículas son emitidos a la atmosfera, bien desde un vehículo, una industria u otra fuente, resulta casi imposible predecir su evolución dentro de la misma. Esto es debido a los complejos factores que gobiernan su ruta subsiguiente. Estos factores son principalmente:

- Meteorológicos
- Origen de emisión
- Proceso

Los factores meteorológicos de interés son:

- Velocidad y dirección del viento
- Temperatura y humedad
- Turbulencia
- Estabilidad atmosférica
- Efectos topográficos en la meteorología

Las emisiones contaminantes de la atmosfera son de interés a tres escalas:

- **Microescala:** del orden de 1km (por ejemplo: penachos de chimenea)
- **Mesoescala:** del orden de 100km (por ejemplo: vientos, montaña-valle)
- **Macroescala:** del orden de miles de km (por ejemplo Altas/bajas sobre el océano o continentes)

Estas escalas se relacionan también con el tiempo y debido a que las velocidades de viento son ~ 5 m/s, los efectos meteorológicos de micro escala tienen lugar durante minutos y horas, los de meso escala durante horas y días; y los micro escala durante días y semanas.

Por ejemplo, después de la explosión nuclear de Chernóbil en 1986, el penacho de un micro escala afecto muy seriamente la región local en solo unas horas después de la emisión, mientras que las montañas de Gales se vieron afectadas por deposiciones

húmedas después de cuatro días. Para el fenómeno de transporte de la contaminación atmosférica con focos tales como penachos de centrales térmicas, de industrias y de accidentes la mayoría de los datos de interés se obtienen dentro de la denominada capa límite atmosférica (CLA). La CLA es la capa de aire más baja en la atmosfera terrestre (de 500 a 1000 metros), la influencia por los efectos del calor y la rugosidad de la superficie terrestre. La dispersión de los contaminantes dentro de la CLA se produce mediante las turbulencias que varía fuertemente según la estratificación de la misma. En la capa inestable o capa límite por convección (CLC) las turbulencias se caracterizan por la aparición de remolinos considerables. Estos remolinos poseen unos tamaños parecidos a la CLC o de 1 a 2 Km.

En la capa límite estable (CLE) las turbulencias son mucho más débiles con un tamaño de remolino de orden de diez veces inferior a varios metros. Estas diferencias originan diferentes velocidades de dispersión de los contaminantes. Por ejemplo en la CLC un penacho de una chimenea alta puede venirse hasta la superficie terrestre en una distancia horizontal de pocos kilómetros con respecto al foco. En la CLE, los penachos elevados pueden permanecer de esta manera con impactos despreciables sobre la superficie en decenas de kilómetros^[25].

25 Weil, 1988

En la troposfera (la capa más cercana a la superficie y que se extiende a una altitud de 10 a 15 Km), la temperatura disminuye con la altura con una variación de aproximadamente 9.8°C por Km. De esta gradiente vertical de temperatura dependen las corrientes de convección en donde el aire templado se eleva y el frío desciende.

La velocidad del viento en la superficie terrestre es nula debido a la fricción de la rugosidad de superficie. A medida que existe separación de la superficie terrestre es nula debido a la fricción de la rugosidad de superficie. A medida que existe separación de la superficie la velocidad del viento aumenta debido al movimiento de la tierra. En la capa limite cercana a la superficie se producen fluctuaciones de variables de la velocidad limite cercana a la superficie se producen fluctuaciones variables de la velocidad del viento (y dirección) que dependen de la rugosidad del terreno. En esta zona, la medida instantánea de la velocidad tendrá una componente media y otra variable. Por supuesto que la velocidad del viento es tridimensional pero el vector de dirección del viento vendrá definido por la dirección dominante en una localidad específica. Esto se representa por:

$$U = u / u' \quad (2.17)$$

Dónde:

U = Velocidad instantánea

u = Componente de la velocidad media

u' = Componente variable

La componente de velocidad media se debe al movimiento de la tierra, mientras que la magnitud y signo de la componente variable se debe a diferentes formas de rugosidad de la superficie tales como presencia de edificios, bosques, etc. La componente variable de la velocidad sobrepone estructuras fluidas de tipo remolino en la velocidad media. Esta velocidad variable debido a los remolinos se denomina turbulencia y por estar producida por la rugosidad del terreno se denomina turbulencia mecánica. La turbulencia mecánica es parcialmente responsable de la dispersión atmosférica de la contaminación.

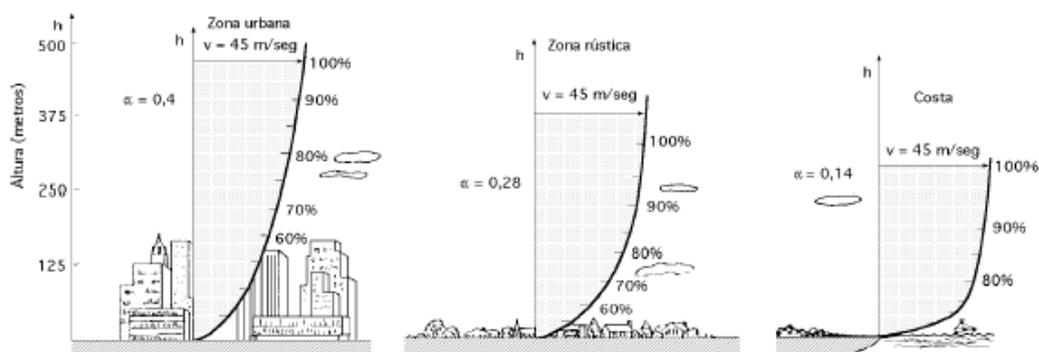
La turbulencia también se produce por el gradiente vertical de temperatura. La superficie templada de la tierra provoca que el aire caliente o "térmicas" se eleven, produciendo corrientes en donde masas de aire asciendan y otras masas frías desciendan. Este movimiento turbulento se denomina turbulencia térmica o fuerza ascensional. La oposición a esta fuerza puede ocurrir en noches frías despejadas, en donde el terreno irradia todo el calor.

El terreno se enfría y a su vez se enfría el aire por encima, originando que se hundan las corrientes. En el Gráfico 2.10 se muestra un perfil vertical de la temperatura y la velocidad del

viento. Ambos varían significativamente en la capa límite atmosférico entre la noche y el día.

Grafico N°2.10

Variación de la velocidad del viento (capa límite) con la altura sobre el terreno, según la ley exponencial de Hellmann



Fuente: <http://www.extractores.com.mx/energia%20atmosferica.htm>

2.4 MARCO CONCEPTUAL

2.4.1 Distribución Normal o Gaussiana^[26]: Distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece aproximada en fenómenos reales

2.4.2 Distribución normal: Fue estudiada por Gauss. Se trata de una variable aleatoria continua (la variable puede tomar cualquier valor real). La función de densidad tiene forma de campana.

26 <http://delta.cs.cinvestav.mx/~francisco/prope/Normal.pdf>

2.4.3 Función Gaussiana: (En honor a Carl Friedrich Gauss), es una función definida por la expresión:

$$f(x) = a \cdot e^{-((x-b)^2/2C_A^2)}$$

2.4.4 Emisión atmosférica: Es el vertido e determinadas sustancias a la atmosfera.

2.4.5 Estimación de emisiones: Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación final entre la tasa de emisión y una unidad de actividad (p. ej., cantidad de combustible consumido, tasa de producción, población empleo, etc., el vertido de determinadas sustancias (p.ej).

2.4.6 Meteorología de la contaminación del aire: Estudio de la forma como los procesos atmosféricos, tales como el viento y el intercambio de calor afectan el destino de los contaminantes.

2.4.7 Contaminación atmosférica: La contaminación atmosférica o la contaminación ambiental, consiste en la presencia de elementos químicos o combinaciones de éstos, en un porcentaje elevado, cuyos índices pasan a ser nocivos para la salud, para la seguridad de los habitantes del Planeta o para el bienestar de los mismos, en la atmósfera. Esta contaminación también se considera nociva desde el momento que impide el natural desarrollo de especies

vegetales y animales, así como su normal procreación, incidiendo de manera directa en su muerte prematura, haciendo peligrar la preservación de la especie.

Contaminación atmosférica^[27]: Es la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad y la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Estas materias y fuentes de energía que pueden hacer peligrar nuestra salud, bienestar o recursos se llaman contaminantes

2.4.8 Estimación de emisiones mediante modelos de emisión de contaminantes: Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad. Para ciertas categorías de fuente la relación funcional entre las emisiones, procesos múltiples y las variables ambientales se estudia lo suficientemente para dar lugar a modelos matemáticos complejos. Si estos modelos de emisión requieren cálculos complejos o grandes volúmenes de datos para alimentarlos, es probable que se apoyen en programas de cómputo.

27

<http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calaire/ContaAtmosferica/portadilla.html>

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. METODOLOGÍA LA DESVIACIÓN NORMAL EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO Y ESTIMACIÓN DE TASAS DE EMISIÓN.

En el marco teórico se han detallado varias ecuaciones con el fin de estimar la concentración a favor del viento que resulta de una pluma continua. Además de los datos físicos obtenidos, como son las coordenadas x , y y z , la fuerza de emisión Q , y la altura efectiva H de la línea central de la pluma, es necesario tener los valores de u , σ_y y σ_z .

La velocidad del viento, u , es una función de la altura z . La variación típica de u con z está dada por la ecuación (3.1), que incluye un factor para ajustarse a las diferentes condiciones de estabilidad en la atmósfera.

$$\frac{u}{u_t} \propto \left(\frac{z}{z_t} \right)^p \quad (3.1)$$

Dónde:

μ = Velocidad del viento

z = La altura

z_1 = Es la velocidad del viento a la altura z_1

p = es el exponente positivo con un valor entre 0 y 1.

El valor apropiado de u que se ha de utilizar en las ecuaciones de dispersión es el valor promedio tomado a través de la pluma. En la mayoría de los casos será imposible determinar dicho valor promedio, puesto que no estarían disponibles suficientes datos atmosféricos. En su lugar, se utiliza comúnmente el valor promedio de la velocidad del viento en la parte superior de la chimenea. Como en muchos casos, no se conoce ni siquiera este valor, se utiliza el valor meteorológico medio a una altura de 10 m junto con la ecuación (3.1) a fin de estimar la velocidad del viento a la altura de la chimenea.

Ya ha sido demostrado que los valores de σ_y y σ_z están relacionado con los coeficientes de difusión o difusibilidades de masa de un gas a través de otros medios en las direcciones y y z . Como se podría anticipar de la descripción física del problema de la difusión, las desviaciones horizontales y verticales, σ_y y σ_z son una función de la posición x en la dirección del viento así como de las condiciones de estabilidad atmosférica. Muchas mediciones experimentales en la atmósfera han llevado a una evaluación y correlación de los valores de σ_y y σ_z . Existen varios grupos de gráficas para estos dos parámetros y los rangos

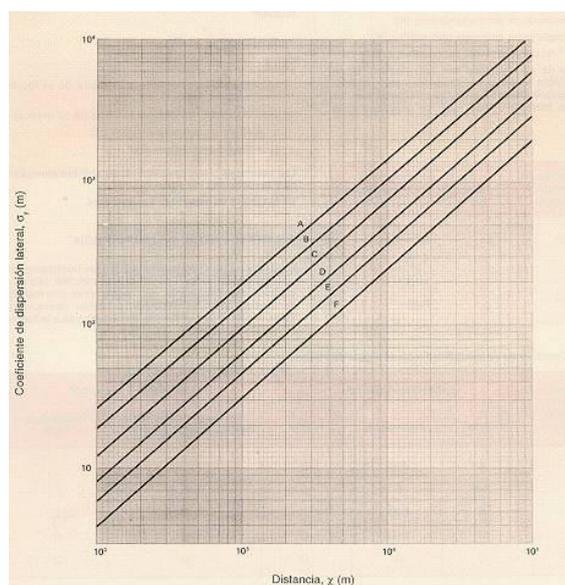
de las condiciones de estabilidad cubiertos en los diferentes grupos usualmente no coinciden.

Un grupo de gráficas de gran aceptación se presenta en el Grafico 3.1 y Grafico 3.2, según han sido preparadas por Turner. Dichas correlaciones se basan en las restricciones siguientes:

1. Las concentraciones estimadas con el uso de estas gráficas corresponderán a un tiempo de muestreo de aproximadamente 10 min.
2. Las desviaciones horizontales y verticales se basan en una representación del terreno como si fuera un campo abierto.
3. Las concentraciones estimadas representan aproximadamente sólo los cientos de metros más bajos de la atmósfera.

Grafico N° 3.1

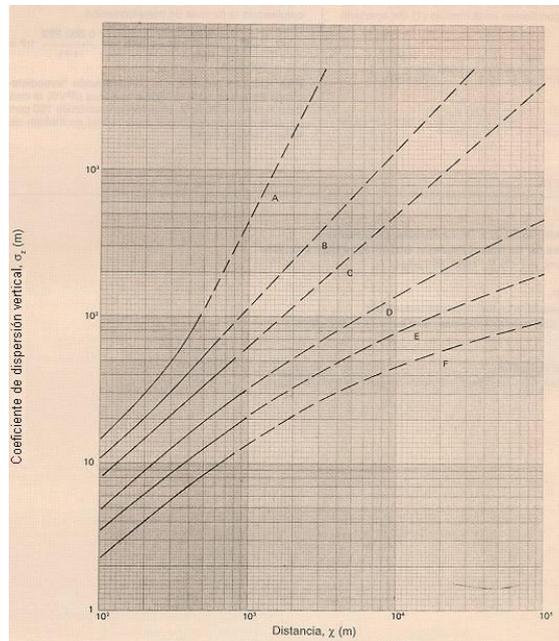
Desviación normal, en la dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento



Fuente: D.B. Turner Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Washington, D.C. 1969

Grafico N° 3.2

Desviación normal, σ_z en la dirección vertical, como una función de la distancia en la dirección del viento



Fuente: D.B. Turner Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Washington, D.C. 1969

Según lo advierte Turner, e indicado por las líneas punteadas sobre la mayor parte del rango de la gráfica σ_z , los valores de σ_z son más dudosos que los valores σ_y . Esto resulta especialmente cierto para distancias de más de 1 Km en la dirección del viento.

En varios de los casos, como para las condiciones atmosféricas de neutrales a moderadamente inestables, y para distancias de hasta unos cuantos kilómetros, la concentración en la línea central a nivel del suelo, basadas en dichas gráficas, deberán encontrarse dentro de un factor de 2 a 3 de los valores actuales.

Turner preparó también una lista de las condiciones atmosféricas que son útiles para determinar cuáles de las seis clases de estabilidad (de A hasta F) que aparecen en las gráficas de σ resulta adecuada. La tabla 3.1 muestra esta clave para las diversas categorías de estabilidad, y los siguientes comentarios podrán ser de utilidad para aclarar el uso de dicha tabla.

Los siguientes artículos se refieren a las clases numeradas en la tabla 3.1.

1. Cielos despejados, una altura solar mayor de 60 grados sobre el horizonte, típicos de una tarde soleada de verano. Una atmósfera muy convectiva.
2. Un día de verano con algunas nubes dispersas.
3. Típico de una soleada tarde de otoño, un día de verano con bajas nubes dispersas, un día de verano con cielos despejados y una altura del sol de solamente 15 a 35 grados sobre el horizonte.
4. Se puede usar también para un día de invierno.

TABLA 3.1. CLAVE DE LAS CATEGORÍAS DE ESTABILIDAD

Velocidad del viento superficial a 10 m (m/s)	DIA			NOCHE	
	Radiación solar entrante			Cubierta de nubes	
	Fuerte	Moderado	Ligera	En su mayoría nublado	En su mayoría despejado
Clase	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<2	A	A - B	B	E	F
2-3	A - B	B	C	E	F
3-5	B	B - C	C	D	E
5-6	C	C - D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Fuente: Turner. *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, Washington*

Cuando se estime la dispersión gaseosa de una fuente dada, se elegirá usualmente la clase de estabilidad típica de la región que conduzca al peor episodio de contaminación posible. Debido al reducido tamaño de las figuras 3.1 y 3.2, es difícil leer en dichas gráficas los valores de σ_y y σ_z , sin experimentar alguna pérdida de exactitud. Sobre la base de la fuente original, la tabla 3.2 da una lista de valores de σ_y y σ_z correspondientes a las seis clases de estabilidad, para algunas distancias en la dirección del viento, arbitrariamente seleccionadas.

TABLA 3.2. VALORES APROXIMADOS DE σ_y y σ_z , COMO UNA FUNCION DE LA DISTANCIA EN LA DIRECCION DEL VIENTO PARA LAS DIVERSAS CLASES DE ESTABILIDAD, (m)

Distancias (Km)	Clases de estabilidad y valores de σ_y						Clases de estabilidad y valores de σ_z					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
0.1	27	19	13	8	6	4	14	11	7	5	4	2
0.2	50	36	23	15	11	8	29	20	14	8	6	4
0.4	94	67	44	29	21	14	72	40	26	15	11	7
0.7	155	112	74	48	36	24	215	73	43	24	17	11
1.0	215	155	105	68	51	34	455	110	61	32	21	14
2.0	390	295	200	130	96	64	1950	230	115	50	34	22
4.0		530	370	245	180	120		500	220	77	49	31
7.0		880	610	400	300	200		780	360	109	66	39
10.0		1190	840	550	420	275		1350	510	135	79	46
20.0		2150	1540	1000	760	500		2900	950	205	110	60

Fuente: Turner. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, Wasington

Además, con frecuencia, es deseable poseer las dos desviaciones normales expresadas en una forma algebraica. Debido a la naturaleza de los trazados de σ , se obtiene un ajuste razonable de la curva utilizando la siguiente ecuación (3.2) calculada por Martin:

$$\sigma_y = a.x^b \quad y \quad \sigma_z = c.x^d + f \quad (3.2)$$

En la tabla 3.3 se presentan valores para cuatro de las constantes que dependen de la estabilidad. Nótese que las constantes son diferentes según x sea menor o mayor de 1 Km. El valor de b es siempre 0.894 y x se ha de expresar en kilómetros.

TABLA 3.3. VALORES DE LAS CONSTANTES POR UTILIZAR EN LA ECUACION (3.2) COMO UNA FUNCION DE LA DISTANCIA EN LA DIRECCION DEL VIENTO Y DE LA CONDICION DE ESTABILIDAD

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

Fuente: D.O. Martin J. Air Pollu. Control Assoc. 26, N 2-145

En la bibliografía se dispone de otras fuentes de los valores de σ_y y σ_z . Uno de estos conjuntos de datos lo prepararon los Brookhaven Laboratories, como se puede ver en la obra de Stern. También la Tennessee Valley Authority ha reunido gran cantidad de datos tomados de estudios de campo muy completos durante más de 20 años.

Dicha información se basa en la dispersión desde las plantas de energía sobre un rango variado de tamaños de las unidades, alturas de las chimeneas, y condiciones meteorológicas. La TVA^[28], reporta desviaciones gaussianas normales como una función de la distancia en la dirección del viento.

Estas curvas se basan en seis diferentes valores promedio del gradiente de temperatura potencial, los que varían desde condiciones neutrales hasta una fuerte inversión. Otros datos de σ aparecen en la bibliografía^{[29], [30], [31], [32]}.

A pesar de que los datos de Turner son los que se utilizan con mayor frecuencia, la disponibilidad de nuevos datos de campo indica que se debe efectuar una reevaluación de los datos de σ a fin de utilizarlos en los estudios de la dispersión de los contaminantes del aire.

28 S.B. Carpenter y colaboradores, "Principal Plume Dispersion Models, TVA. Power Plants".

29 U.S. Weather Bureau, Meteorology and Atomic Energy, Report AECU-3066. Washington, D.C.

30 N.F. Bowne. "Diffusion Rates" J. Air Pollu Control Assoc.

31 D.H. Stade, ed Meteorology and Atomic Energy TID 24190

32 F.N. Frenkiel y R. E. Munn, eds., Turbulent Diffusion in Environmental Pollution. Advances in Geophysics Series Vols 18^a and 18B. Nueva York.

3.2. METODOLOGÍA PARA EL MODELO GAUSSIANO DE DISPERSIÓN Y LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA EN LÍNEA A NIVEL DEL SUELO.

El efecto de la reflexión del suelo, para la emisión de una chimenea con una altura efectiva H, es necesario alterar el término exponencial que contiene a z^2 , y se tiene la siguiente ecuación (3.3):

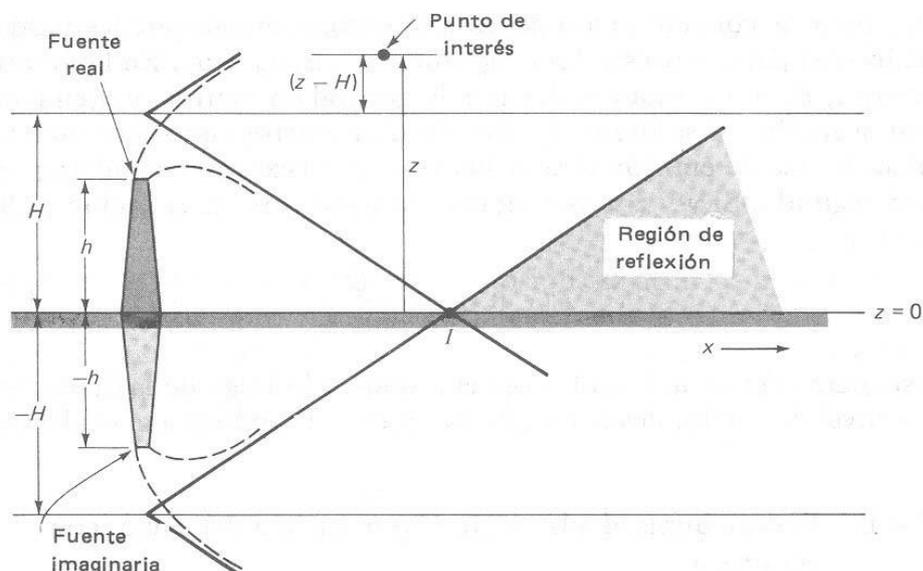
$$C = \frac{Q}{2\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{y_2^2}{\sigma_y^2} + \frac{(-H)^2}{\sigma_z^2} \right] \right\} \quad (3.3)$$

Al aumentar las concentraciones a nivel del suelo de los contaminantes gaseosos, según aumenta x, hasta un punto muy por encima del nivel que podría esperarse sin reflexión. No obstante, tal aumento en el valor de C en la dirección x no puede continuar indefinidamente.

Finalmente, la difusión hacia afuera (viento cruzado) en la dirección y y hacia arriba en la dirección z, disminuirán la concentración a nivel del suelo ($z = 0$) y a lo largo de la línea central ($y=0$). Por tanto, como se indicó en el Grafico 3.3 y se consideran los datos de la metodología (3.1), la curva de C versus x tiene un punto máximo antes de caer hacia cero a grandes valores de x.

Grafico N°3.3

Efecto de reflexión del suelo^[33]



Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/arzate_e_ci/capitulo5.pdf

Turner ha desarrollado en un formato gráfico, un método para determinar la distancia en la dirección del viento correspondiente a la máxima concentración, y la concentración máxima en dicho punto. El Grafico 3.4 se basa sobre estos trabajos, que se desarrolló originalmente sobre la base de la ecuación (3.4):

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right) \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (3.4)$$

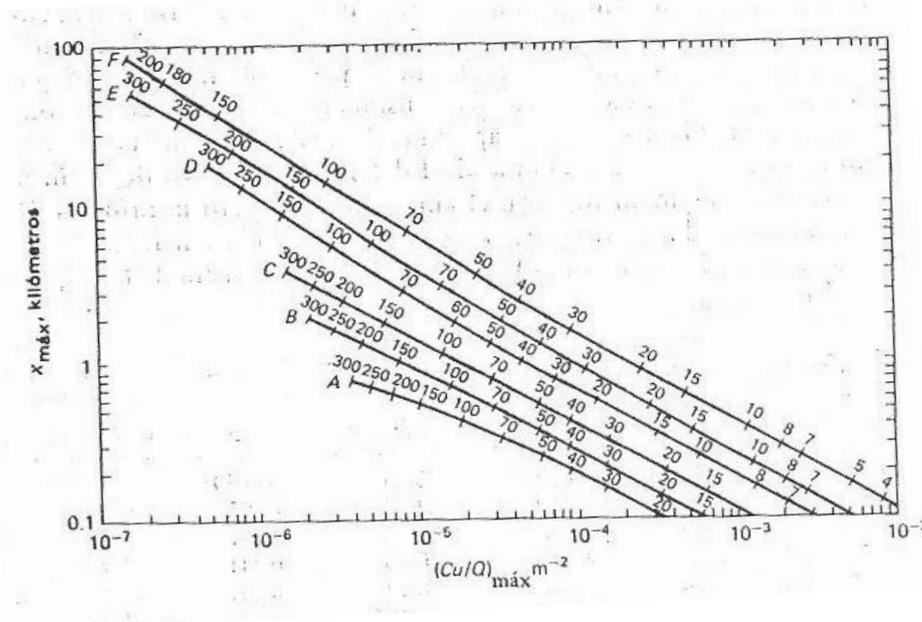
En el Grafico 3.4, se traza la distancia hasta la concentración máxima versus el valor máximo del parámetro Cu/Q , y donde aparece dentro del diagrama la información sobre la clase de estabilidad y la altura efectiva.

³³ Wark, Kenneth & Cecil F. Warner. (1994). *Contaminación del aire. Origen y Control*. México: Editorial Limusa. p.152

Estos datos determinan un punto en particular en la figura. Desde este punto se lee hacia abajo y hacia la izquierda para determinar C_{\max} y X_{\max} , respectivamente.

Grafico N°3.4

Distancia de la máxima concentración en la dirección del viento y valor máximo C_u/Q en la dirección del viento como una función de la clase de estabilidad y de la altura efectiva, en metros



Fuente: D.B. Turner. *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates.*

En vez de confiar en los valores en el Grafico 3.4 a fin de obtener la concentración máxima en la dirección del viento, se pueden ajustar los datos a una ecuación general y encontrar algebraicamente la solución. La ecuación general (3.5), desarrollada por Ranchoux tiene la forma:

$$\left(\frac{C_u}{Q} \right)_{\max} = \exp \left[a + b(\ln H) + c(\ln H)^2 + d(\ln H)^3 \right] \quad (3.5)$$

Dónde:

H = Está en metros y Cu/Q está en m^{-2} .

Los valores de los coeficientes a , b , c y d para cada clase de estabilidad aparecen en la tabla 3.4.

El error entre la ecuación y las curvas reales es menor del 2 por ciento para las curvas A, B y C, y es menor del 4.5 por ciento para las curvas D, E, y F.

Un método optativo para determinar la posición y el valor de la concentración máxima se basa en una característica de las gráficas de σ_y y σ_z . Bajo condiciones de moderadamente inestables a casi neutrales, la relación σ_y/σ_z es casi independiente de la distancia x . Si se toma esta relación como constante y se hace y igual a cero, se puede entonces escribir la ecuación (3.4) de manera que C sea solamente una función de σ_z (que es a su vez, solamente una función de x para una clase dada de estabilidad).

Por tanto, según la técnica de la maximización del cálculo diferencial se puede obtener información analítica concerniente a la máxima concentración a lo largo de la línea de centro. La posición de concentración máxima sólo se puede encontrar implícitamente por este método, y no explícitamente. El resultado de la diferenciación de la ecuación (3.4) en esta forma modificada produce la expresión siguiente:

$$\sigma_z = \frac{H}{(2)^{\frac{1}{2}}} = 0.707H$$

Se determina primero el valor de σ_z basándose en la mejor estimación de la altura corregida de la chimenea, H. Luego, de una gráfica de σ_z versus x, para diversas condiciones de estabilidad, se puede leer el valor de x, con lo que se obtiene la posición de C máxima. El valor de x determinado por este método es sólo aproximado, debido a la naturaleza de la gráfica $\sigma_z - x$.

Si la condición $H^2 = 2\sigma_z^2$ se sustituye en la ecuación (3.4), y se hace y igual a cero, la concentración máxima en la dirección del viento sobre la línea central y a nivel del suelo, estará dada entonces por la ecuación (3.6):

$$C_{\max \text{ reflex}} = \frac{0.1171.Q}{u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \quad (3.6)$$

Por otra parte, esta expresión produce mejores resultados cuando se aplica a condiciones atmosféricas inestables, por las razones indicadas anteriormente.

3.3. METODOLOGÍA DE LA ALTURA EFECTIVA DE LA COLUMNA Y LA TASA DE EMISIÓN.

Los métodos analíticos para pronosticar las concentraciones de los efluentes de las chimeneas implican la localización de un origen virtual o equivalente, como se muestra en el Grafico 3.3.

La elevación H del origen virtual se obtiene añadiendo un término Δh , la altura de la pluma, a la altura actual, h_s , de la chimenea. Existen numerosos métodos para calcular Δh , y éstos los comenta con algún detalle Stern. Básicamente, tres conjuntos de parámetros controlan el fenómeno de una pluma gaseosa inyectada a la atmósfera desde una chimenea. Son: las características de la chimenea, las condiciones meteorológicas, y la naturaleza física y química del efluente. Se ha propuesto gran número de expresiones analíticas a fin de relacionar dichos factores con los pronósticos de elevación de la pluma. No es nada sorprendente que ninguna expresión haya demostrado su superioridad en lo que respecta a los perfiles geométricos de la chimenea y las condiciones atmosféricas.

En un estudio bastante reciente, Carson y Moses^[34], compararon 711 valores observados de plumas con los valores calculados suministrados por 11 ecuaciones diferentes. Llegaron a la conclusión de que se necesitaban realizar muchos más estudios antes de que se pudiera desarrollar un método completamente satisfactorio para pronosticar

³⁴ J. E. Carson y H. Moses. "The Validity of Several Plume Rise Formulas"

valores de elevación de plumas. La mayoría de las ecuaciones que predicen la elevación de la pluma contienen un término de cantidad de movimiento y un término de flotación térmica. El primer término tiene en cuenta la cantidad vertical de movimiento del gas de la chimenea debido a su propia velocidad, V_s . El segundo término tiene en cuenta, de alguna manera, la diferencia entre la temperatura del gas de la chimenea, T_s y la temperatura ambiental, T_a .

Carson y Moses llegaron a la conclusión de que la siguiente ecuación proporcionaba el mejor acuerdo con todos los datos observados, sin importar la condición de estabilidad:

$$\Delta h = -0.029 \frac{V_s d}{u} + 2.62 \frac{(Q_h)^{\frac{1}{2}}}{u} \quad (3.7)$$

Dónde:

Δh = Es la elevación de la pluma en metros,

V_s = Es la velocidad de salida del gas de la chimenea, en metros por segundo,

d = Es el diámetro de salida de la chimenea,

u = Es la velocidad del viento a la altura de la chimenea, y

Q_h = Es la tasa de emisión del calor en kilojulios por segundo.

Para aclarar aún más la ecuación (3.7)

$$Q_h = \dot{m} C_p (T_s - T_a) \quad (3.8)$$

Dónde:

\dot{m} = Es la tasa de flujo del gas de la chimenea, Kg/s,
($\dot{m} = \pi d^2 V_s P / 4RT_s$).

C_p = Es el calor específico a presión constante del gas de la chimenea.

T_s = Es la temperatura del gas de la chimenea a la salida de la misma, K.

T_a = Es la temperatura del aire atmosférico a la altura de la chimenea, K.

Thomas, Carpenter y Colbaugh, compararon los datos observados de elevación de plumas para las grandes chimeneas de las estaciones generadoras de electricidad, con valores calculados empleando 10 ecuaciones diferentes. Varias de las ecuaciones empleadas se incluyeron en las comparaciones de Thomas y colaboradores.

La ecuación de Holland, mostro un acuerdo bastante bueno con los datos observados con una ligera tendencia a subestimar la elevación de la pluma. Los símbolos y unidades para la ecuación (3.9) de Holland son los mismos citados anteriormente.

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left[1.5 + 2.68 \times 10^{-3} P d \left(\frac{T_s + T_a}{T_s} \right) \right] \quad (3.9)$$

Además, la presión P se debe expresara en milibares. Esta ecuación (3.9) parece ser más exacta para chimeneas altas. Si se desean el último término de la fórmula de Holland se puede sustituir por $0.0096Q_h/V_{sd}$.

Moses y Kraimer, recomiendan para analizar la elevación de la pluma, recomendada por Concawe, siendo la siguiente ecuación (3.10):

$$\Delta h = 2.71 \frac{Q_h^{1/2}}{u^{3/4}} \quad (3.10)$$

Además la ecuación de Thomas y colaboradores, sobre la base de los datos obtenidos, se tiene la siguiente ecuación (3.11):

$$\Delta h = 4.71 \frac{Q_H^{0.444}}{U^{0.694}} \quad (3.11)$$

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 DESVIACIÓN NORMAL EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO EN LA ESTIMACIÓN DE TASAS DE EMISIÓN.

Se emite PM10 a una tasa de 705.4 TON/Año es equivalente a 22.368 g/s e igual a 22.368×10^6 $\mu\text{g/s}$, desde varias fuentes puntuales como se observa en la Tabla 2.28 (*Inventario de emisiones anuales de fuentes fijas de la ciudad de Pisco, 2011*). La velocidad del viento a la altura de la chimenea es de 4 m/s, y la clase de estabilidad atmosférica es **D** para un día nublado.

Con estos datos determinamos la concentración a nivel del suelo a lo largo de la línea central a una distancia de 500 m considerando un promedio de radio de las industrias Siderúrgica e Industria de Harina y Conserva de Pescado, en microgramos por metro cúbico.

Con base en las figuras 3.1 y 3.2, las desviaciones normales horizontales, σ_y y σ_z , a 500 m para la estabilidad clase *D*, son 36 y 18.5 m respectivamente. Al sustituir en la ecuación (3.4) estos valores y otros datos suministrados se obtiene, para $y = 0$,

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi(u)(\sigma_y)(\sigma_z)} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

Reemplazando los datos en la zona industrial de Pisco

$$C(500, 0, 0) = \frac{22.368 \times 10^6}{\pi(4)(36)(18.5)} \exp\left[-0.5\left(\frac{60}{18.5}\right)^2\right]$$

$$C(500, 0, 0) = 2.673 \times 10^3 (5.1989 \times 10^{-3})$$

$$C(500, 0, 0) = 13.897 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ PM}_{10}$$

Se observa que este valor del PM₁₀, se lleva a la Tabla 2.30 (*Estándares de calidad ambiental del aire*), encontrándose que está por encima de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se ha usado la ecuación (3.4) ya que ocurre una considerable reflexión a 500 m en la dirección del viento.

Con los datos obtenidos nos ha permitido evaluar la concentración, ahora determinaremos la concentración con el viento de costado a 50 m de la línea central a una distancia a favor del viento de 500 m.

Para considerar la concentración en la dirección del viento de costado a nivel del suelo es preciso modificar la solución anterior utilizando el

término $\exp\left[-0.5\left(y/\sigma_y\right)^2\right]$, que se encuentra en la ecuación (3.4). Por tanto:

$$C(500,0,0) = 13.897 \exp\left[-0.5\left(\frac{50}{36}\right)^2\right]$$

$$C(500,0,0) = 13.897 (0.3811)$$

$$C(500,0,0) = 5.335 \mu\text{g} / \text{m}^3 \text{ PM}_{10}$$

USO DE MATLAB COMO RECURSO EN LA APLICACIÓN DE MODELO DE DISPERSIÓN DEL VIENTO (ANEXO A)

El conocimiento de la solución de problemas en ingeniería ambiental y sanitaria en el desarrollo de la tesis, reviste de gran importancia.

Es necesario contar con este recurso académico para hacer más dinámica y atractiva el desarrollo y análisis de la aplicación de datos de nuestro proyecto, dándonos un enfoque más práctico. Permittiéndonos desarrollar con el software MATLAB por su diversidad de aplicaciones e interacción en el **Anexo A**, allí se muestra el programa realizado para calcular la concentración de estimación del PM₁₀. Además en la página siguiente muestra el resultado de la concentración del PM₁₀ que es 13.895ug/m³ en la dirección del viento y al costado con una distancia de 50 m, muestra una concentración de 5.2963 ug/m³

.....

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

MODELO GAUSSIANO DE DISPERSION Y LA ESTIMACION DE LA
TASA DE EMISION DE MAERIAL PARTICULADO EN LA ZONA COSTERA DE LA
PANAMERICANA SUR EN EL DISTRITO DE PARACAS PROVINCIA PISCO

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

PRESENTADO POR:

INCA ÑAÑEZ, CRISTINA KATHERINE

Asesor: Ing. ISIS CRISTEL CORDOVA BARRIOS

.....

DESVIACIÓN NORMAL EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO EN LA ESTIMACIÓN DE
TASAS DE EMISIÓN

Tasa de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):22368000

Velocidad del viento (m/s): 4

Desviacion estandar en y: 36

Desviacion estandar en z: 18.5

Con =

26726

Altura de la columna (m):60

Conc =

13.895 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Altura de la columna (m):50

Con1 =

5.2963 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

.....

Por tanto, a una distancia con el viento de costado que sea el 10% de la distancia a favor del viento, la concentración estimada ha caído en aproximadamente 60%.

Considerando los datos anteriores, suficientes valores de C como una función de x en la línea central a nivel del suelo, de manera que se establezca la variación a ambos lados del valor máximo.

La solución general de este problema, en términos de la ecuación (3.4), será:

$$C(0,0,60) = \frac{22.368 \times 10^6}{\pi(6)(\sigma_y)(\sigma_z)} \exp \left[-0.5 \left(\frac{60}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

La tabla que aparece a continuación resume los cálculos de una manera conveniente, y donde la columna encabezada con: “exp” representa el término exponencial de la ecuación. Nótese que el factor pre exponencial disminuye rápidamente con el aumento en la distancia, debido a los valores uniformemente crecientes de σ_y y σ_z . No obstante, el factor exponencial aumenta rápidamente de un valor extremadamente pequeño hacia un valor igual a la unidad, según x se hace más grande. Como estos dos términos se multiplican para obtener C a cierta distancia x .

En este caso, la **concentración máxima** ocurre a aproximadamente 1.5 Km. Los datos indican que la concentración a nivel del suelo a lo largo de la línea central crece rápidamente con el aumento de x , pero la caída de la concentración es muy lenta después de pasado el punto máximo.

Esto es bastante típico para las soluciones del tipo gaussiano de la dispersión atmosférica.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi(\sigma_y)(\sigma_z)} \exp\left[\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

$Q = 22.368 \text{ g/m}^3 = \mathbf{22368000} \text{ ug/m}^3$
 $v = \mathbf{4} \text{ m/s}$
 $H = \mathbf{60} \text{ M}$

X (Km)	σ_y	σ_z	$Q/(\pi\sigma_y\sigma_zv)$	$(-1/2)*(H/\sigma_z)^2$	exp	C (ug/m ³)
0.5	36	18.5	1781.82	-7.16	0.0008	1.39
0.8	60	27	732.53	-3.36	0.0347	25.42
1	76	32	487.95	-2.39	0.0914	44.60
1.5	110	45	239.74	-1.21	0.2982	71.50
1.7	140	50	169.53	-0.98	0.3753	63.63
2	160	55	134.85	-0.81	0.4449	59.99
3	220	71	75.97	-0.49	0.6151	46.73
5	350	100	33.91	-0.25	0.7827	26.54
10	620	150	12.76	-0.11	0.8968	11.44

Fuente: Elaborado por el Tesista

4.2 MODELO GAUSSIANO DE DISPERSIÓN Y LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA EN LÍNEA A NIVEL DEL SUELO.

Con la ecuación aproximada que se desarrolló para determinar la posición y el valor de concentración máxima que se podrá esperar en la línea central a nivel del suelo para una fuente puntual elevada.

Con los datos del análisis del punto (4.1), se determinaron la posición en la dirección del viento, a nivel del suelo donde tendrá lugar la concentración máxima, y determínese el valor máximo en microgramos por metro cúbico.

Para una altura efectiva de la chimenea de 60 m, el valor de σ_z que conduce a la posición de concentración máxima es:

$$\sigma_z = 0.707 H$$

$$\sigma_z = 0.707(60)$$

$$\sigma_z = 42.4 \text{ m}$$

En la figura 3.2 se determina que el valor correspondiente de x es 1.55 Km, que es el punto estimado de concentración máxima. El valor de C a esta distancia está dado por la ecuación (3.6), o sea:

$$C = \frac{0.117(Q)}{u(\sigma_y)(\sigma_z)}$$

$$C = \frac{0.117(223.68 \times 10^6)}{(4)(105)(42.4)}$$

$$C = \frac{0.117(Q)}{u(\sigma_y)(\sigma_z)}$$

Este valor está en excelente acuerdo con los resultados obtenidos en el punto (4.1).

Los valores de $C_{m\acute{a}x}$ y $x_{m\acute{a}x}$ también se pueden estimar si se utiliza el Grafico 3.4. Para la estabilidad clase D y un valor de H, se encuentra de el Grafico que

$$x_{m\acute{a}x} \approx 1.5 \text{ Km} \quad \gamma \quad \left[\frac{(C)(u)}{Q} \right]_{m\acute{a}x} \approx 2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2}$$

Por tanto despejando la $C_{m\acute{a}x}$:

$$C_{m\acute{a}x} = (2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2}) \left(22.368 \times 10^6 \frac{\text{ug}}{\text{s}} \right) \left(\frac{1}{4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right)$$

$$C_{m\acute{a}x} = 75.492 \text{ ug/m}^3 \text{ de PM10}$$

En este caso, los dos métodos están sustancialmente de acuerdo. Sin embargo, no siempre es así, ya que dicho acuerdo depende de la clase de estabilidad. Nótese que el valor máximo es casi 30 veces el valor de $C_{m\acute{a}x} = 50 \text{ ug/m}^3$ de PM10, establecido como norma primaria de la calidad del aire como se muestra en la Tabla 2.30 (*Estándares de calidad ambiental del aire*).

La ecuación (3.5) se puede usar como un tercer método. En este caso, para una estabilidad clase D, la ecuación toma la forma:

$$\left(\frac{C(u)}{Q} \right)_{m\acute{a}x} = \exp \left[-2.5302 - 1.5610(\ln 60) - 0.0934(\ln 60)^2 \right]$$

$$\left(\frac{C(u)}{Q} \right)_{m\acute{a}x} = \exp(-10.487)$$

$$\left(\frac{C \cdot u}{Q}\right)_{m\acute{a}x} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2}$$

Luego se tiene lo siguiente:

$$C_{m\acute{a}x} = \frac{\left(223.68 \times 10^6 \frac{\text{ug}}{\text{s}}\right)}{4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} (2.8 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2})$$

$$C_{m\acute{a}x} = 1565.76 \text{ ug/m}^3 \text{ de PM}_{10}$$

Para los valores dados de u y Q , se encuentra que $C_{m\acute{a}x}$ es $C_{m\acute{a}x} = 1565.76 \text{ ug/m}^3$ de PM₁₀ que está razonablemente de acuerdo con las dos respuestas anteriores.

4.3 ALTURA EFECTIVA DE LA COLUMNA Y LA TASA DE EMISIÓN.

La tasa de emisión de calor asociado con el gas de una chimenea es de 4,800 KJ/s, las velocidades del viento y del gas de la chimenea son de 4 y 15 m/s, respectivamente, y el diámetro interior en la parte superior es de 2 m. Consideramos la elevación de la pluma por medio de las ecuaciones generales propuestas por Moses y Carson, también la ecuación propuesta por Holland y la ecuación de Concawe.

Las ecuaciones básicas son las siguientes:

Carson y Moses:

$$\Delta h = -0.029 \frac{V_s d}{u} + 2.62 \frac{(Q_h)^{1/2}}{u}$$

Holland:

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left(1.5 + 0.0096 \frac{Q_h}{V_s d} \right)$$

Concawe:

$$\Delta h = 4.71 \frac{(Q_h)^{0.44}}{(u)^{0.994}}$$

Sustituyendo los datos obtenidos en:

Carson y Moses:

$$\Delta h = -0.029 \frac{V_s d}{u} + 2.62 \frac{(Q_h)^{1/2}}{u}$$

$$\Delta h = -0.029 \left[\frac{\left(15 \frac{m}{s} \right) (2m)}{4 \frac{m}{s}} \right] + 2.62 \left[\frac{(4800)^{1/2}}{4 \frac{m}{s}} \right]$$

$$\Delta h = 45.16 \text{ m}$$

Holland:

$$\Delta h = \frac{V_s d}{u} \left(1.5 + 0.0096 \frac{Q_h}{V_s d} \right)$$

$$\Delta h = \frac{\left(15 \frac{m}{s}\right)(2m)}{4 \frac{m}{s}} \left[1.5 + 0.0096 \frac{(4800)}{\left(15 \frac{m}{s}\right)(2m)} \right]$$

$$\Delta h = 22.77 \text{ m}$$

Concawe:

$$\Delta h = 4.71 \frac{(Q_h)^{0.44}}{(u)^{0.994}}$$

$$\Delta h = 4.71 \frac{(4800)^{0.44}}{(4)^{0.994}}$$

$$\Delta h = 77.56 \text{ m}$$

4.4 PRUEBA DE HIPOTESIS

4.4.1 Etapa 1: Definición del Sistema

Se quiere investigar el grado de influencia de la distancia y la desviación estándar de y en la descarga por el material particulado PM10 a la atmosfera.

El sistema queda definido de la siguiente manera:

- Factores : Distancia dirección del viento (X_1)
Desviación Estándar y (X_2)
- Respuesta : Concentración de Contaminante PM10
- Unidad central de proceso : Descarga del PM10 por la Pluma

4.4.2 Etapa 2: Elección de los Niveles de los Factores

Los niveles de los factores superior, inferior, medio y la notación para cada factor se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 4.1: NIVELES DE FACTORES

NIVELES Y DISTANCIA	NOTACION	FACTORES	
		X ₁	X ₂
Nivel Medio	0	1.5 Km	115
Distancia del nivel medio		0.5 Km	35
Nivel Inferior	-1	0.5 Km	35
Nivel Superior	+1	2.5 Km	185

Fuente: Elaborado por la Tesista

4.4.3 Etapa 3: Formulación de Hipótesis

Las hipótesis estadísticas que se formulan para investigación de la influencia de los factores en el proceso de contaminación atmosférica por el material particulado PM10.

TABLA 4.2: HIPOTESIS NULA E HIPOTESIS ALTERNATIVA

Hipótesis	Para la influencia directa de los factores en la respuesta	Para la influencia de interacción de los factores en la respuesta
H ₀	“Los efectos directos de los factores en la respuesta no son significativos”	“Los efectos de interacción de los factores en la respuesta no son significativos”
H ₁	“Los efectos directos de los factores en la respuesta son significativos”	“Los efectos de interacción de los factores en la respuesta son significativos”

Fuente: Elaborado por la Tesista

4.4.4 Etapa 4: Diseño de Experimentos

El sistema considera dos factores X_1 y X_2 , por lo tanto el número de combinaciones básicas en $2^2 = 4$ experimentos. Las combinaciones básicas son las que se presentan en la Tabla 4.3.

Para completar el diseño de experimentos factorial se hallan combinaciones adicionales. Estas combinaciones adicionales se dan en la Tabla 4.4.

**TABLA 4.3: DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL 2²:
DISEÑO BASICO**

Numero de Combinación Experimental	Identificación de la Combinación	Factores	
		X_1	X_2
1	I	-1(0.5 Km)	-1(35)
2	X_1	+1(2.5 Km)	-1(35)
3	X_2	-1(0.5 Km)	+1(185)
4	$X_1 X_2$	+1(2.5 Km)	+1(185)

Fuente: Elaborado por la Tesista

**TABLA 4.4: DISEÑO DE EXPERIMENTOS FACTORIAL 2²:
COMBINACIONES ADICIONALES**

Numero de Combinación Adicionales	Factores	
	X ₁	X ₂
5	0 (1.5 Km)	0 (115)
6	0 (1.5 Km)	-1(35)
7	0 (1.5 Km)	+1(185)
8	-1(0.5 Km)	0 (115)
9	+1(2.5 Km)	0 (115)

Fuente: Elaborado por la Tesista

4.4.5 Etapa 5: Evaluación

De acuerdo a la evaluación realizada por los miembros del Gesta Zonal de Aire de la ciudad de Pisco, se puede señalar que el contaminante más abundante en peso son las partículas totales en suspensión (PTS), emitiéndose a la atmósfera de la ciudad de Pisco un total de 7054 Ton/año, a consecuencia del aporte de los procesos de combustión desarrollados en las fuentes Puntuales, en la zona costera de la panamericana sur en el Distrito de Paracas.

4.4.6 Etapa 6: Análisis y Discusión de Resultados

a) Análisis de Resultados

a.1) Resultados de la Experimentación

El porcentaje de recuperación, Y, para cada combinación experimental de la concentración PM10 en cada distancia, como se observa en la tabla 4.5.

**TABLA 4.5: RESULTADOS DEL DISEÑO DE
EXPERIMENTOS FACTORIAL 2²**

Numero de Combinación Experimental	Identificación de la Combinación	Factores		Y (%)
		X ₁	X ₂	
1	I	0.5	35	51
2	X ₁	2.5	35	81
3	X ₂	0.5	185	75
4	X ₁ X ₂	2.5	185	90
5		1.5	115	74
6		1.5	35	72
7		1.5	185	79
8		0.5	115	80
9		2.5	115	81

Fuente: Elaborado por la Tesista

a.2) Análisis Estadístico

El Algoritmo de Yates

La evaluación preliminar de los efectos directos y de interacción de los factores y la suma de cuadrados S_1^2 se obtiene por medio del Algoritmo de Yates, los datos se registran en la tabla 4.6:

TABLA 4.6: ALGORITMO DE YATES

N° Combinación Experimental (Diseño Básico)	Identificación de la Combinación	Y (%)	(1)	(2)	Efectos	S ₁ ²
1	I	51	132	297	----	----

2	x ₁	81	165	45	22.5	126.56
3	x ₂	75	30	33	16.5	68.06
4	x ₁ x ₂	90	15	-15	-7.5	14.06

Efectos = (2)/2	$\Sigma =$	208.69
$S_1^2 = (\text{Efectos})^2/4$		

Fuente: Elaborado por la Tesista

Análisis de Varianza

Para el análisis de varianza primero se halla la varianza del error experimental e interacciones, S_e^2 , a partir de los resultados de las combinaciones experimentales adicionales; los datos respectivos se dan la tabla 4.7.

TABLA 4.7: CUADRADOS DE LAS DESVIACIONES DE LA RESPUESTA

N° de Combinación Adicional (n)	Y (%)	(Y - \bar{Y})	(Y - \bar{Y}) ²
5	74	-3.2	10.24
6	72	-5.2	27.04
7	79	1.8	3.24
8	80	2.8	7.84
9	81	3.8	14.44
n = 5	$\Sigma =$	386	$\Sigma =$ 62.80
	$\bar{Y} =$	77.20	

Fuente: Elaborado por la Tesista

Promedio:

$$\sum_{n=1}^5 Y(\%) = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 = 386$$

También:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y(\%)}{n} = 77.20$$

Varianza del Error e Interacción:

$$S_e^2 = \frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n - 1} = 15.70$$

Luego usando el F-test se lleva a cabo el análisis de varianza por comparación de las varianzas S_1^2 y S_e^2 . Estos resultados se dan en la Tabla 4.8.

TABLA 4.8: ANALISIS DE VARIANZA Y F-test

Identificación de Combinaciones	S_1^2	ϕ_1	F-test(ϕ_1, ϕ_2)
I	----	----	----
X ₁	126.56	1	8.0613
X ₂	68.06	1	4.3352
X ₁ X ₂	14.06	1	0.8957

ϕ_1 : Grados de Libertad del Numerado

ϕ_2 : Grados de Libertad del Denominador

Fuente: Elaborado por la Tesista

Prueba de Hipótesis

Primero se denominan los valores críticos de F, F_c , de acuerdo con las tablas estadísticas del **Anexo B**.

TABLA 4.9: VALORES DE F, F_c

α (Nivel de Significación)	Grados de Confianza (%)	$F_c(\phi_1, \phi_2)$
0.10	90	4.54
0.05	95	7.71
0.01	99	21.20

Fuente: Elaborado por la Tesista

Después, se comparan los valores de F-test y F_c para probar las hipótesis formuladas. Los cuadros comparativos de estos datos y el grado de influencia de los factores, que se determina como consecuencia de la prueba de hipótesis se muestran en la siguiente tabla 4.10.

TABLA 4.10: CUADOR COMPARATIVO DE F

Grado de Confianza	$F_c(\phi_1, \phi_2)$	F-test(ϕ_1, ϕ_2)	Identificación de la Combinación	Grado de Influencia del factor o Interacción
90	4.54	8.0613	X ₁	Muy Influyente
		4.3352	X ₂	Influyente
		0.8957	X ₁ X ₂	No Influyente
95	7.71	8.0613	X ₁	Muy Influyente
		4.3352	X ₂	Influyente
		0.8957	X ₁ X ₂	No Influyente

		8.0613	X ₁	Ligeramente Influyente
99	21.20	4.3352	X ₂	No Influyente
		0.8957	X ₁ X ₂	No Influyente

Fuente: Elaborado por la Tesista

a.3) Discusión de Resultados

En principio, los resultados experimentales del diseño se muestran que el porcentaje de recuperación, Y , depende de la distancia en la dirección del viento, X_1 , y de la desviación estándar en “ y ”, X_2 , pero no aclaran si la influencia de estos dos factores es igual, o uno de ellos es más influyente que el otro. Para resolver esto, el análisis estadístico es la alternativa esencial; así, el Algoritmo de Yates pone en evidencia que el efecto del factor del distancia en la dirección del viento es superior el efecto del facto de la desviación estándar de “ y ”, asimismo indica que el efecto de la interacción de estos dos factores no es significativo en la respuesta. Tales resultados se corroboran con el análisis de varianza y F-test de la Tabla 4.8.

Finalmente la prueba de hipótesis demuestra que la distancia en la dirección del viento es más influyente que la desviación estándar en “ y ”, y que la interacción de estos dos factores no es influyente en la respuesta. En este sentido:

- ✓ Para la influencia directa de los factores, se aceptan la hipótesis alternativa y se rechazan la hipótesis nula, al 90% y 95% de confianza.
- ✓ Para la influencia de interacción de factores, se aceptan la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, al 90% y 95% de confianza.

En consecuencia tenemos que:

- ✓ El factor más influyente es la distancia en la dirección del viento
- ✓ La interacción de la distancia en la dirección del viento y de la desviación estándar “y” no es influyente, por lo tanto puede descartarse.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

- La desviación normal se basa en los parámetros atmosféricos siendo críticos para el uso de modelos de difusión de contaminantes. En efecto, los coeficientes de dispersión que aparecen en las fórmulas Gaussiana, están determinados por el mezclado o poder dispersivo del flujo turbulento dentro de la capa límite atmosférica. Para este propósito, *Pasquill* propuso un método que permite determinar los coeficientes de dispersión a partir de una clasificación sencilla de las condiciones atmosféricas, definidas como categorías de estabilidad. Determinándose la dirección del viento predominante es Sur Oeste (SO), con una estimación de tasa de emisión de PM10 dato obtenido de la Tabla 2.28, siendo la concentración anual de 705.4 TON/Año es equivalente a 22.368 g/s o igual a 22.368×10^6 µg/s, considerándose a una distancia a favor del viento de 500 m, la velocidad del viento es de 4 m/s, y la clase de estabilidad atmosférica es *D* para un día nublado, obteniéndose la C_{PM10} de 13.897 µg/m³ de PM10 comparándose con la Tabla 2.30 (*Estándares de calidad ambiental del aire*). El análisis de las concentraciones de PM10 para las variables operacionales y meteorológicas con la estabilidad atmosférica

predominante “D”, revela niveles por encima de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 anual. También cuando se ha tomado en cuenta que mejora con el viento de costado a 50 m de la línea central siendo la $C(500,50,0) = 5.335 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 en el área involucrada que se ubica al sureste de la ciudad de Pisco y al noreste de la ciudad de Paracas, entre los Kms 240-245 de la Panamericana Sur que pertenece al Distrito de Paracas, Provincia de Pisco.

- El modelo gaussiano nos permitió encontrar la concentración máxima a nivel del suelo como se muestra el inventario de fuentes fijas desagregado para la cuenca atmosférica de Pisco, evidenciándose que los principales contribuyentes de PM10 corresponden a la Industria Siderúrgica (Aceros Arequipa), Funsur e Industria de Harina y Conserva de Pescado, que en su conjunto emitían 578.6 Ton/año (82%). Asimismo, el mayor aporte de PM10 correspondía a la Industria Siderúrgica e industria de harina y conserva de pescado, siendo 516.0 Ton/año, que representa el 81% del total de emisiones de PM10. En este caso, la concentración máxima ocurre a aproximadamente 1.5 Km., los datos indican que la concentración a nivel del suelo a lo largo de la línea central crece rápidamente con el aumento de x , pero la caída de la concentración es muy lenta después de pasado el punto máximo siendo la $C_{Max}(1500,50,0) = 71.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, con una altura efectiva de la pluma de 60 m; siendo este valor muy cercano o equivalente con el resultado obtenido en el análisis del punto (4.2) con una $C_{máx} = 75.492 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10.

- La altura efectiva adicional de la pluma de los gases efluente resultó ser directamente proporcional con la tasa de emisión de calor asociado con el gas de una chimenea es de 4,800 KJ/s, las velocidades del viento y del gas de la chimenea son de 4 y 15 m/s, respectivamente, y el diámetro interior en la parte superior es de 2 m. Consideramos la elevación de la pluma por medio de las ecuaciones generales propuestas por Moses y Carson obteniendo la altura de $\Delta h = 45.16 \text{ m}$, también la ecuación propuesta por Holland nos proporciona una altura de $\Delta h = 22.77 \text{ m}$ y la ecuación de Concawe con la altura de $\Delta h = 77.56 \text{ m}$, siendo la más aceptable la de Concawe, porque permite más tiempo de residencia del PM10.

RECOMENDACIONES

- Para darle un mayor grado de precisión al modelo gaussiano se hace necesario, establecer mecanismos que permitan evaluar las condiciones ambientales al interior de las empresas o de los puntos que se desean evaluar, ya que por ejemplo la velocidad y dirección del viento varían considerablemente como consecuencia de la influencia de la topografía del área de estudio y por ende la dispersión de la concentración del contaminante será menor, reflejando así una mayor realidad.
- Calcular experimentalmente las desviaciones estándar de las componentes de viento horizontal (σ_y) y vertical (σ_z), respectivamente, e introducirlas en el archivo meteorológico de altura. Para ello, se recomienda emplear un anemómetro sónico, el cual mide la dirección de viento en sus tres componentes.
- MatLab empleado adecuadamente puede individualizar el proceso de enseñanza, facilitando la adaptación curricular a las necesidades e intereses de cada alumno, trasladando así soluciones y estrategias desde los contextos teóricos originales a otros nuevos mucho más inteligibles para él.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. B de Foyet al. (2007). "Modeling constraints on the emission inventory and on vertical dispersion for CO and SO₂ in the Mexico City Metropolitan Area using solar FTIR and zenith sky UV spectroscopy." *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 781-801.
2. Barraza Ninive (1998). "Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos: comparación de desempeños en zona de Ventanas, V Región".
3. Basaldud Roberto (2007). "Determinación de emisiones de SO₂ y NO₂ en fuentes puntuales por espectroscopía pasiva de radiación UV/visible". Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
4. Benavides B. Henry O. (2003). "Pronóstico de la concentración de material particulado por chimeneas industriales en Bogotá." Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
5. Bustos S. Cristian (2004). "Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: análisis del proceso." Tesis de maestría. Universidad de Chile.
6. Canepa E., Builtjes P. J. H. (1999). "To dispersion simulation above complex terrain." 6th International conference on harmonisation within atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes, Rouen, France.

7. Caputo Marcelo, Giménez Marcelo, Schlamp Miguel (2003). "Intercomparison of atmospheric dispersion models." *Atmospheric environment* 37: 2435-2449.
8. Dudhia Jimy et al. (2005). "PSU/NCAR mesoscale modeling system tutorial class Notes and user's guide: MM5 modeling system version 3." NCAR. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/tutorial-v3-notes.html>
9. Forkel R., García A. (2003). "Manual del Multiscale Climate Chemistry Model (MCCM).
10. Gallardo Klenner Laura (1997). "Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos". Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile.
11. Gratt Lawrence B. (1996). "Air toxic risk assessment and management: public health risk from normal operations"
12. Hao Jiming, Wang Litao, Shen Minjia, Li Lin, Hu Jingnan (2006). "Air quality impacts of power plant emissions in Beijing." *Environmental pollution* 147: 401-408.
13. Holmes N. S., Morawska L. (2006). "A review of dispersion modeling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available." *Atmospheric environment* 40: 5902-5928.
14. Lazo Pamela, Curé Curé, Gaete Hernán (2006). "Modelación de la dispersión de anhídrido sulfuroso en la comuna de Puchuncaví utilizando el programa ISC3". *Revista chilena de ingeniería*. Vol. 14. Nº 3. pp. 229-237.
15. Shaocai Yu, Brian Eder, Robin Dennis, Shao-Hang Chu and Stephen Schwartz (2006). "New unbiased symmetric metrics for the evaluation of air quality models." *Atmospheric Science*. ASL-05-037

16. Tirabassi T., Rizza U. (1993). "Air pollution model for complex terrain". Air Pollution 93'. Computational mechanics publications. Elsevier applied science.
17. U.S. EPA (1991). "Guideline for regulatory application of the urban airshed model." Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina.
18. U.S. EPA (1998). "Revised draft user's guide for the AMS/EPA regulatory model – AERMOD." Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina.
19. Vázquez Morales Williams (2007). "Implementación de un modelo meteorológico de alta resolución en una zona del Valle de México." Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
20. Vladisakov, AkulaVenkatram, Jawad S. Touma, DarkoKoracin, Tanya L. Otte (2006). "Evaluating the use of outputs from comprehensive meteorological models in air quality modeling application." Atmospheric environment. 41:1689-1705.
21. Wark Kenneth, Warner Cecil F. (2000). "Contaminación del Aire". Origen y Control.
22. Wellens Ann. (2002). "Effects of input data errors on some indices for statistical model evaluation." Air pollution modeling and its application XV". Editado por Carlos Borrego y Guy Schayes. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York, ISBN 0-306-47294-5, pp. 493-501.
23. WillmottCort J. (1981). "On the validation of models." Physical Geography. 2: 184-194.

24. Zannetti P. (1990). "Air pollution modeling: theories, computational methods and available software". ComputationalMechanicsPublications. Southampton, UK. pp. 299–308.
25. Zuk Miriam, Garibay Verónica, Iniestra Rodolfo, López María T., Rojas Leonora, Laguna Israel. (2006). "Introducción a la evaluación de los impactos de las termoeléctricas de México".

ANEXO A

RECURSO EN LA APLICACIÓN DE MODELO DE DISPERSION DEL VIENTO Y LA TASA DE EMISION DEL PM10.

```
clc
clearall
disp('.....')
disp('          UNIVERSIDAD ALAS PARUANA          ')
disp('          FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA          ')
disp('ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL ')
disp('          ')
disp(' MODELO GAUSSIANO DE DISPERSION Y LA ESTIMACION DE LA ')
disp(' TASA DE EMISION DE MATERIAL PARTICULADO EN AL ZONA ')
disp(' COSTERA PANAMERICANA SUR EN EL DISTRITO DE PARACAS ')
disp('          CIUDAD PISCO          ')
disp('          ')
disp(' PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL ')
disp('PRESENTADO POR:          ')
disp('          INCA ÑAÑEZ CRISTINA KATHERINE          ')
disp(' Asesor:          Ing. ISIS CRISTEL CORDOVA BARRIOS          ')
disp('.....')
%
disp('DESVIACIÓN NORMAL EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO EN LA ESTIMACIÓN DE
TASAS DE EMISIÓN')
%
% Parametros
%
% Q = tasa de PM10 (ug/m^3): 223.68x10^06
% u = velocidad del viento (m/s):4
% x = distancia (m):500
% rhoy= desviacionestandar en y: 36
% rhoz= desviacionestandar en z: 18.5

Q = input('tasa de PM10 (ug/m^3):');
u = input('velocidad del viento (m/s):');
rhoy= input('desviacion estandar en y:');
rhoz= input('desviacion estandar en z:');
%x = input('distancia (m); ');
%
% ECUACION
%Con=C(500,0,0);%Concentracion a 500 m
Con=Q/(3.1416*u*rhoy*rhoz)%Concentracion del PM10
%
% H= Altura de la pluma (m): 60
H = input('altura de la columna (m):');
Conc=Con*exp((-0.5)*(H/rhoz)^2)
% Ahora determinaremos la concentración con el viento de costado a 50
m de
% la línea central a una distancia a favor del viento de 500 m.
% y = línea de costado desde el punto central (m): 50
y = input('altura de la columna (m):');
Con1=Conc*exp((-0.5)*(y/rhoy)^2)
```

ANEXO B

F crítico – $\alpha = 0,10$ (90% de confianza)

$\varnothing_1 \backslash \varnothing_2$	1	2	3	4	5	6	7	8...
1	39,86	49,50	53,59	55,83	57,24	58,20	58,91	59,44
2	8,53	9,00	9,16	9,24	9,29	9,33	9,35	9,37
3	5,54	5,46	5,39	5,34	5,31	5,28	5,27	5,25
4	4,54	4,32	4,19	4,11	4,05	4,01	3,98	3,95
5	4,06	3,78	3,62	3,52	3,45	3,40	3,37	3,34
6	3,78	3,46	3,29	3,18	3,11	3,05	3,01	2,98
7	3,59	3,26	3,07	2,96	2,88	2,83	2,78	2,75
8	3,46	3,11	2,92	2,81	2,73	2,67	2,62	2,59
9	3,36	3,01	2,81	2,69	2,61	2,55	2,51	2,47
10	3,28	2,92	2,73	2,61	2,52	2,46	2,41	2,38

\varnothing_1 : Grados de libertad del numerador

\varnothing_2 : Grados de libertad del denominador

Fuente: MILLER, I and FREUND, J.E. Probability and statistics for engineers. Nueva Jersey, Prentice Hall Inc., 1993.

F crítico – $\alpha = 0,05$ (95% de confianza)

$\varnothing_1 \backslash \varnothing_2$	1	2	3	4	5	6	7	8...
1	161,45	199,50	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07

\varnothing_1 : Grados de libertad del numerador

\varnothing_2 : Grados de libertad del denominador

Fuente: MILLER, I and FREUND, J.E. Probability and statistics for engineers. Nueva Jersey, Prentice Hall Inc., 1993.

F crítico – $\alpha = 0,01$ (99% de confianza)

\emptyset_1	1	2	3	4	5	6	7	8...
1	4052,2	4999,5	5403,3	5624,6	5763,7	5859,0	5928,3	5981,6
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06

\emptyset_1 : Grados de libertad del numerador

\emptyset_2 : Grados de libertad del denominador

Fuente: MILLER, I and FREUND, J.E. Probability and statistics for engineers. Nueva Jersey, Prentice Hall Inc., 1993.