

CONTROL DE LA POLUCION ATMOSFERICA EN CHIMBOTE POR ACCION DE HUMOS DE CHIMENEAS

Hugo Amado Rojas Rubio¹

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se aplica el modelo de difusión de la columna de humo del tipo gaussiana para determinar la altura de chimenea apropiada de las industrias contaminantes instaladas en Chimbote, a fin que la concentración a nivel del suelo de un poluante específico se encuentre en los estándares permisibles que no afecten la salud de las personas.

La investigación se ha aplicado al caso de Chimbote, ubicada a 420 Km al norte de Lima y considerada una de las ciudades más contaminadas del Perú. Además de la contaminación atmosférica, también es afectada por la degradación de su bahía debido a la emisión de efluentes industriales y domésticos directamente al mar, sin ningún tratamiento.

En el desarrollo del modelo se ha considerado los resultados del monitoreo de la calidad del aire realizado en la ciudad de Chimbote, por la dirección general de salud ambiental (DIGESA), en Abril del 2001, en 4 puntos de muestreo de mayor incidencia de contaminación atmosférica. La zona de mayor índice de contaminación se halla en el colegio Inca Gracilazo de la Vega, de la Urbanización El Trapecio, con un valor de $1979.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de H_2S .

Con las hipótesis planteadas del caudal de emisión de 10 gr/seg, velocidad del viento 5.3 m/seg, altura de chimenea $H=10.00$ mt. , Se ha determinado que la concentración C de H_2S a nivel del suelo y a una distancia de 100 mt del punto de emisión es de $2,478 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, para una altura de $H=40.00$ mt, se tiene un valor de C igual a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

¹ Profesor de hidráulica y mecánica de fluidos de la universidad nacional del Santa, Chimbote, Perú. Av. Universitaria s/n, Nuevo Chimbote. hugoamado@universia.edu.pe

SUMMARY

Presently investigation work is applied the pattern of diffusion of the column of smoke of the type gaussian to determine the height of appropriate chimney of the polluting industries installed in Chimbote, to end that the concentration at level of the floor of a poluante specifies it is in the permissible standards that don't affect the health of people.

The investigation has been applied to the case of Chimbote, located to 420 Km to the north of Lima and considered one of the cities but polluted of the Peru. Besides the air pollution, it is also affected directly by the degradation of their bay due to the emission of industrial and domestic efluentes to the sea, without any treatment.

In the development of the pattern it has been considered the results of the monitoring of the quality of the air carried out in the city of Chimbote, for the general address of environmental health (DIGESA), in April of the 2001, in 4 points of sampling of more incidence of atmospheric pollution. The area of more index of contamination is in the Inca school Gracilazo of the Vega, of the Urbanization The Trapeze, with a value of 1979.36. g/m³ of H₂S.

With the outlined hypotheses of the flow of emission of 10 gr/seg, speed of the wind 5.3 m/seg, chimney height $H=10.00$ mt, It has been determined that the concentration C of H₂S at level of the floor and a distance of 100 mt of the emission point is of 2,478 g/m³. Also, for a height of $H=40.00$ mt, one has a value of C similar to 150. g/m³.

¹ hydraulics professor and mechanics of fluids of the national university of the Santa, Chimbote, Peru. Av. University s/n, New Chimbote. hugoamado@universia.edu.pe

INTRODUCCION

La contaminación se debe principalmente a la incorporación de gases y materiales indeseables a la atmósfera proveniente de actividades de la sociedad moderna y que en algunos casos se encuentran lejos del control humano. En la actualidad, la ciudad de Chimbote y los distritos ubicados al norte como Coishco y Santa, son las áreas mayormente afectadas por la contaminación proveniente de la industria pesquera y siderúrgica. La primera de las citadas es considerada como la de mayor impacto.

Es a partir de la década del 50 (Figura N° 1), en que se instalaron las primeras fabricas pesqueras y el inicio de operaciones de la industria siderurgia, donde Chimbote surge como un emporio comercial e industrial. El avance vertiginoso de estas actividades motivó un crecimiento demográfico desordenado ante la inexistencia de un plan de desarrollo urbano. A la fecha, los olores malolientes y la emisión de contaminantes a la atmósfera proveniente de las chimeneas de las fabricas son característicos de la ciudad porteña. Sin embargo también han ido creciendo paralelamente un alto índice de enfermedades infecciosas que afectan a las personas, sobre todo aquellos que viven próximos al área de influencia de los penachos.

El objetivo del presente trabajo es determinar la altura apropiada de chimenea de las industrias contaminantes, con la finalidad que la concentración del poluante como el SO₂ y el H₂S, perjudiciales para la salud, se encuentren con valores menores a los permisibles recomendados por estándares internacionales de la calidad del aire y de organismos de control de la salud y el medioambiente como la OMS y la Environmental Protection Agency.



Figura N° 1. Vista de la zona de playa en el litoral de Chimbote frente al hotel de turistas en el año 1950, actualmente ha desaparecido y se encuentra protegido por defensas tipo enrocado.

HISTORIA DEL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Las acciones de control de la contaminación del aire se remontan a fechas tan lejanas como el siglo XIII (1); la mayor parte del esfuerzo principal en el mundo ha tenido lugar desde 1945. Antes de esta fecha, otros eventos se encontraban como lista de prioridades de los países industrializados. En las décadas de los años 1930 y 1940 la chimenea de una fábrica que emanaba una gruesa columna de humo se consideraba como un signo de prosperidad y algunas entidades gubernamentales la incluían en sus símbolos o logotipos oficiales.

Entre 1945 y 1970, conforme aumento la conciencia de los problemas de la contaminación ambiental, se iniciaron algunos esfuerzos locales preferentemente en los países industrializados; los gobiernos empezaron a vigilar y controlar la contaminación del aire. En los últimos años de la década de 1960, se logra un avance vertiginoso en el control de la contaminación y se promulgaron leyes estrictas de protección al medio ambiente y del aire atmosférico.

A partir de 1980, el problema de la contaminación del aire, se trata en forma global y ya no localizada como en los años anteriores. Bajo este contexto los olores desagradables y emanaciones perjudiciales provenientes de una chimenea de una industria, dejan de ser un conflicto entre quienes se benefician económicamente de esta actividad y de quienes se sientan ofendidos por el olor, sino muy por el contrario compete a toda la sociedad en su conjunto.

LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN CHIMBOTE

Chimbote, capital de la provincia del Santa, enclavada en la bahía El Ferrol, constituye uno de los centros urbano- industriales del Perú de mayor crecimiento en los últimos 50 años. Por citar un ejemplo, se puede afirmar que las exportaciones de harina de pescado de Chimbote, constituyen el 14.5% de las exportaciones totales del Perú y que la industria siderúrgica local ha elevado su participación en el mercado nacional(desde 1970 hasta la fecha) en casi 150% [1]

Al mismo tiempo, Chimbote es una de las regiones ambientales de mayor contaminación y crítica del Perú. Los criterios y razones que orientaron el desarrollo de las actividades industriales y económicas, no consideraron la protección ambiental y el impacto que podría ocasionar el funcionamiento de estas industrias en el medio ambiente. Actualmente, la población de chimbote, y los localizados al norte sufre los efectos y consecuencias de dichos errores y carencias. Entre estas se pueden mencionar las siguientes:

- *Desarrollo urbano desordenado
- *Contaminación ambiental (suelo, aire, agua)
- *Pobreza
- *Deterioro de la salud
- *Alteración del paisaje

Chimbote, es la ciudad con mayor crecimiento demográfico del Perú; desde 1871 en el que fue elevado a la categoría de puerto, hasta la actualidad con una población que sobrepasa los 300,000 habitantes [1] Experimentado un crecimiento vertiginoso a partir de la década del 50, tal como se aprecia en el cuadro siguiente (Tabla N°1) :

AÑO	POBLACION N° HABITANTES	AREA (Has) DESARROLLADA	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (%)
1593	50		
1813	24		
1835	800	81	
1900	1400		
1940	4243	164	
1950	56000		13.4
1956	30000	460	
1961	59990	2400	
1970	170000		9.4
1972	160430	2600	
1981	216301	2800	3.5
1993	274260		

Tabla N° 1. Migraciones Internas en el Perú.

*Fuente: INEI 1995

La actividad industrial pesquera se inicia en Chimbote, en el año 1959, en que se instaló la primera fábrica pesquera, existiendo a la fecha 48 de ellas (MIPE-Chimbote 1998). Todas estas fábricas conjuntamente con la industria siderúrgica constituyen la principal actividad industrial del puerto y también las que contribuyen en mayor cuantía a la contaminación del aire.

Los procesos industriales y la tecnología obsoleta de estas industrias, así como la evacuación directa sin tratamiento de las aguas residuales urbanas al mar, inciden preponderantemente a otras formas de contaminación; como el suelo y el agua (figura N° 2)



Figura N° 2. Pozas de recuperación del aceite de pescado ubicados en la zona del litoral, como fuente de contaminación del suelo.

COMPOSICIÓN DEL AIRE ATMOSFÉRICO

La composición media del aire atmosférico puede estimarse de la siguiente manera:

Nitrógeno (N ₂)	78.09% en vol.
Oxígeno (O ₂)	20.95% en vol.
Argón	0.93% en vol.
CO ₂	0.03% en vol. ó 300 p.p.m.
Neón	18 p.p.m.
Helio	5 p.p.m.
Metano	2 p.p.m.
Kriptón, Hidrogeno, Xenón, etc.	< 1 p.p.m.
Agua	variable

PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

La definición de "polución atmosférica" es variable según los países y organismos que se ocupan de ella. El Consejo Europeo por ejemplo en 1977 da la definición siguiente; **"Existe polución del aire cuando la presencia de una sustancia extraña o una variación importante en la proporción de sus componentes es susceptible de provocar un efecto dañino, teniendo en cuenta los conocimientos científicos del momento, o de crear una molestia"** [4]

Las fuentes de polución pueden clasificarse de la manera siguiente:

- Polución de origen natural
- Polución debida a la combustión
- Polución de origen industrial

Entre los principales elementos contaminantes atmosféricos tenemos:

*Los óxidos de azufre (SO₂, SO₃)

*Ácido sulfúrico (H₂S)

*Óxidos de Nitrógeno (NO, NO₂)

*Anhídrido carbónico (CO₂)

*Oxido de carbono (CO)

*Compuestos de Flúor

*Ozono (O₃)

*Hidrocarburos (C_nH_m)

*Ácido clorhídrico

*Polvos y otras partículas sólidas.

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Los efectos de la contaminación del aire son lentos y acumulativos, que rara vez se manifiesta en forma inmediata salvo en situaciones de alta concentración del contaminante, es muy similar al efecto que podría ocasionar en la salud la acción de fumar. La contaminación del aire y su efecto en la salud es menos dramática que la contaminación producida en el agua potable; el cual es un medio que propaga con facilidad los contaminantes que producen por ejemplo el cólera, y la tifoidea, que

podrían ocasionar la muerte. Por tanto, se responde al problema de la contaminación del agua mas pronto y con mas vigor que con la contaminación del aire.

La contaminación, es un proceso que altera y perturba el medio ambiente y por ende repercute en el individuo. En nuestro caso se verá las causas y efectos que provocan a contaminación del aire atmosférico, enumerando las principales fuentes de polución y la forma como la Ciencia e Ingeniería pueden intervenir en el tratamiento y solución de algunos problemas de contaminación.

El medio ambiente se puede definir como: **“ El conjunto de factores físico naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el hombre y con la comunidad en donde vive; determinando su forma, carácter, relación y supervivencia. ”**

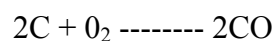
Los humos y nieblas industriales pueden alcanzar concentraciones nocivas; de allí que una gran importancia tiene el hecho de conocer los elementos contaminantes, su concentración, capacidad de dispersión en la atmósfera, valores permisibles que no afecten a la salud, así como también la topografía, velocidad del viento y el paisaje circundante a la fuente contaminante.

PRINCIPALES CONTAMINANTES

Los diversos contaminantes del aire tienen implicancias en los seres vivos e inertes, sin embargo para el presente estudio solo se consideraran los que afectan a las personas y los de mayor incidencia.

a) EFECTOS DE LOS ÓXIDOS DE CARBONO (CO, CO₂).

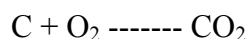
El monóxido de carbono CO, no es un componente del aire seco, el cual es originado por la combustión incompleta del carbón o de compuestos del carbón. Este gas aunque es incoloro, inodoro y no irritante es muy tóxico, siendo la principal fuente de emisión el escape de los automóviles y el quemado de combustibles fósiles (carbón, petróleo)



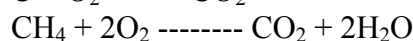
Este elemento contaminante es nocivo para la salud y está demostrado que tiene efectos perjudiciales en el sistema nervioso central y contribuye a la predisposición de enfermedades cardiacas. La concentración máxima permisible en la industria para una jornada de 8 horas es de 50 p.p.m. Una concentración de 1000 p.p.m. puede producir pérdida del conocimiento en una hora y la muerte en cuatro horas [5]

El bióxido de carbono CO₂ es un componente normal del aire, sin embargo el quemar combustibles fósiles como el petróleo, gas y carbón, producen grandes cantidades de CO₂.

(Combustión del carbón)

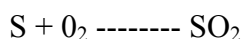


(Combustión gas natural)



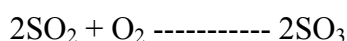
b) EFECTOS DE LOS OXIDOS DE AZUFRE (SO₂, SO₃)

Los óxidos de azufre generalmente se producen al quemar combustibles fósiles de alto contenido de azufre (carbón, petróleo), también ejerce daños a los hombres, animales y plantas.

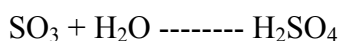


Las altas concentraciones de bióxido de azufre SO_2 son tóxicas para la salud afectando a las vías respiratorias siendo muy graves en personas que padezcan de un enfisema pulmonar, afectando a las personas adultas más que a los jóvenes.

El trióxido de azufre SO_3 se produce en la atmósfera por oxidación de SO_2 , bajo la influencia de la luz solar:



La humedad del aire reacciona rápidamente con el SO_3 , para formar una niebla de ácido sulfúrico:



Este ácido es muy fuerte y corrosivo, que destruye el tejido viviente, plantas, concreto y textiles. La niebla de H_2SO_4 en el aire consta de gotitas que miden aproximadamente entre 1 a 4 micrones de diámetro (0.001 a 0.004 mm.); este margen de tamaño favorece la penetración profunda del ácido en los pulmones, con los efectos perjudiciales pertinentes [5]

Otro contaminante importante es el Anhídrido Sulfuroso H_2S siendo incluso más venenoso que el CO. El H_2S no es un contaminante abundante de la atmósfera, su presencia esta relacionado con alguna fuente específica, tal como materia orgánica en descomposición, aguas servidas o alguna operación industrial, presentando olores muy desagradables parecidos al de huevos putrefactos.

El límite máximo de exposición al anhídrido sulfuroso H_2S durante un período de 8 horas es de aproximadamente 5 p.p.m. En las refinerías e industrias de fundición la concentración de H_2S en períodos cortos puede llegar hasta 30 veces el valor permisible.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

ALCANCES

La aplicabilidad de la presente investigación evidentemente será en condiciones similares a las del estudio realizado y bajo las hipótesis planteadas. Asimismo la difusión de los poluentes en la atmósfera tiene un comportamiento similar al modelo de la columna de humo del tipo gaussiana.

MATERIALES

El presente estudio se realizó en la Ciudad de Chimbote, durante el periodo de Abril a Julio del año 2003, tomando como muestra un total de 48 fabricas dedicadas a la actividad pesquera y 01 industria siderurgia. Se describe a continuación los materiales empleados en la investigación:

- 1) Plano de Chimbote y Nuevo Chimbote, a escala 1:1000
- 2) Registros históricos de la velocidad del viento y dirección predominante.
- 3) Información de la capacidad instalada y producción de las industrias contaminantes a fin de estimar el caudal de emisión promedio de contaminantes vertidos directamente a la atmósfera.
- 4) Informe del Estudio de las mediciones de poluentes del aire medidos en Chimbote por la DIGESA del Ministerio de salud.
- 5) Modelo matemático de Bosanquet – Pearson, que considera un modelo de difusión de la columna de humo del tipo gaussiana.

PROCEDIMIENTOS

El procedimiento para la realización del trabajo se describe a continuación:

- 1) Ubicación en el plano de Chimbote de las fuentes de emisión de contaminantes (Fabricas de la industria pesquera y siderurgia)
- 2) Trazo de la dirección predominante del viento para identificar el área de influencia de la columna de humo en la zona urbana.
- 3) Estudio y análisis de los ensayos de monitoreo de la calidad del aire medidos en cuatro zonas de mayor contaminación en Chimbote (DIGESA-2001)
- 4) Planteamiento de hipótesis para la aplicación del modelo de columna de humo Gaussiana a las condiciones del estudio: Caudal de emisión de contaminantes, velocidad del viento, topografía de la zona, forma de desarrollo urbano y tipo de atmósfera.
- 5) Aplicación del modelo matemático para distintas alturas de chimenea como variable de la investigación.
- 6) Análisis y discusión de los resultados del modelo. Se tabula y grafica para la interpretación y las conclusiones.

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Chimbote, es un distrito, capital de la provincia del Santa, departamento de Ancash. Se ubica a 420 Km al norte de Lima entre los 9°4'0" de latitud sur y 80° 50'28" de longitud occidental. Por sus características de bahía protegida por islotes, Chimbote es considerado el mejor puerto natural del Perú, presentando una topografía por lo general plana variando desde los 0.00 mt al nivel del mar hasta los 100 mt (cerro San Pedro) en la zona nor-este. Su suelo es predominantemente arenoso, con zonas de limos y arcillas y presencia de un manto rocoso sub.-superficial localizado al sur este. El clima es templado y la temperatura promedio llega a los 24.4° C y la mínima 13° C. La precipitación en la zona no supera los 25 mm al año, lo que lo hace un lugar eminentemente seco (Figura N° 3)

Por la ciudad pasa la carretera Panamericana Norte, en una longitud de 18.5 Km, principal vía de comunicación del Perú. A partir de 1994, se crea el Distrito de Nuevo Chimbote, localizado al sur, el cual es actualmente el principal centro de desarrollo urbano de la ciudad. Ambos distritos son separados por el río Lacramarca, que constituye la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Chimbote, por explotación del recurso hídrico subterráneo del acuífero del río.

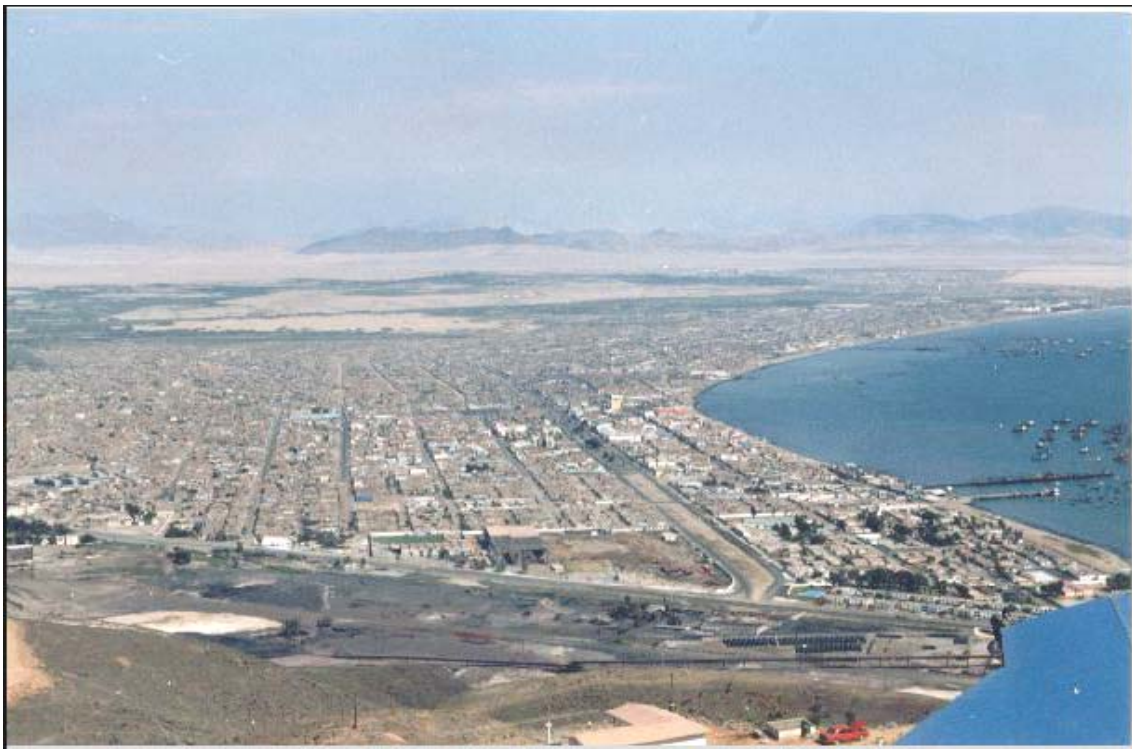


Figura N° 3. Vista panorámica de la ciudad de Chimbote, vista desde el cerro de la Paz.

MEDICION DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN CHIMBOTE

En la ciudad de Chimbote, la Dirección general de salud ambiental del Ministerio de salud(DIGESA), realizó del 23 al 30 de Abril del 2001, un monitoreo de la calidad del aire en 4 puntos de muestreo de mayor incidencia de polución atmosférica[2]

- I) Municipalidad distrital de Coishco.
- II) Centro de salud P.J. Florida Baja, en Chimbote
- III) Centro de salud Yugoslavia, en el Distrito de Nuevo Chimbote
- IV) C.N. Inca Gracilazo de la Vega, Urb. Trapecio de Chimbote.

Se muestra a continuación en la tabla N° 2, los valores mínimos y máximos de la concentración para 4 tipos de poluentes atmosféricos monitoreados en las 4 estaciones de muestreo.

ESTACION	SO ₂ (µg/m ³)		H ₂ S(µg/m ³)		PTS(µg/m ³)		PM _{2.5} (µg/m ³)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Estación I	39.03	83.44	0.00	1143.01	174.73	236.54	46.90	72.19
Estación II	140.51	218.99	0.00	1003.62	225.79	383.48	26.20	221.22
Estación III	6.25	10.97	0.00	1867.85	58.12	72.03	12.28	28.57
Estación IV	110.09	160.42	0.00	1979.36	183.65	260.57	82.73	378.22

Tabla N° 2. Concentración de Poluentes atmosféricos en el aire de Chimbote
INFLUENCIA DEL VIENTO Y LA TEMPERATURA EN LA DIFUSIÓN DE LOS POLUANTES

Existen muchos factores que influyen en la difusión de los poluentes en la atmósfera tales como los vientos, temperatura, turbulencia, topografía, vegetación, precipitaciones pluviales.

Los vientos por ejemplo favorecen la dispersión de las partículas en la atmósfera, llevándolas en algunos casos a lugares lejanos del punto teórico de caída; por consiguiente la dirección y velocidad de los vientos son factores importantes en el estudio de la difusión de los poluentes (Tabla N° 3)

PROMEDIO MENSUAL DE PARAMETROS METEOROLOGICOS EN CHIMBOTE*

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura (°C)	23.5	24.4	24.2	22.8	20.9	19.9	18.8	18.4	18.3	19.1	19.7	21.8
Precipitación (mm)	2.7	1.4	2	2.8	0	0	0.1	0.1	0.1	0.8	0.3	0.2
Presión en bar	0.98	0.94	0.93	1.01	1.13	1.23	1.24	1.27	1.26	1.23	1.16	1.07
Velocidad Viento m/s	7.06	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15
Dirección predominante	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW

Tabla N° 3. Parámetros meteorológicos medidos en la ciudad de Chimbote.

* Fuente: CORPAC-Chimbote

La temperatura atmosférica es un parámetro importante pero su estudio presenta algunas dificultades. La atmósfera real es muy variable y fluctuante a causa de los vientos, corrientes, y otros factores; de manera por ejemplo, que dos puntos de la atmósfera situados a la misma altitud no tienen la misma temperatura ni presión ni masa

volumétrica; por esta razón se ha llegado a definir la "atmósfera standard", cuyas características en la cota cero al nivel medio del mar, son:

- Presión 760mm.Hg.
- Temperatura 15 °C
- Densidad 1.225Kg/m³.

A partir de z=0 y hasta z=11,000m. se extiende la Troposfera en la que se admite una disminución lineal de temperaturas según la ley:

$$T = 15 - 0.0065 Z \quad (T \text{ en } ^\circ\text{C}, Z \text{ en metros})$$

Asimismo, la masa gaseosa en una cierta posición en la atmósfera puede estar en una condición de "indiferencia", "inestabilidad" o en una condición de "estabilidad"; según que la disminución de su temperatura sea igual, superior o inferior al gradiente térmico. Se considera en los estudios, que la atmósfera se comporta adiabáticamente, pues el intercambio de calor con el medio ambiente no es a una velocidad suficiente como para permitir la igualación de temperatura [4]

Un caso muy importante, es el de los humos evacuados por una chimenea de una fabrica o industria y del cual se presenta algunos esquemas en la figura N° 4:

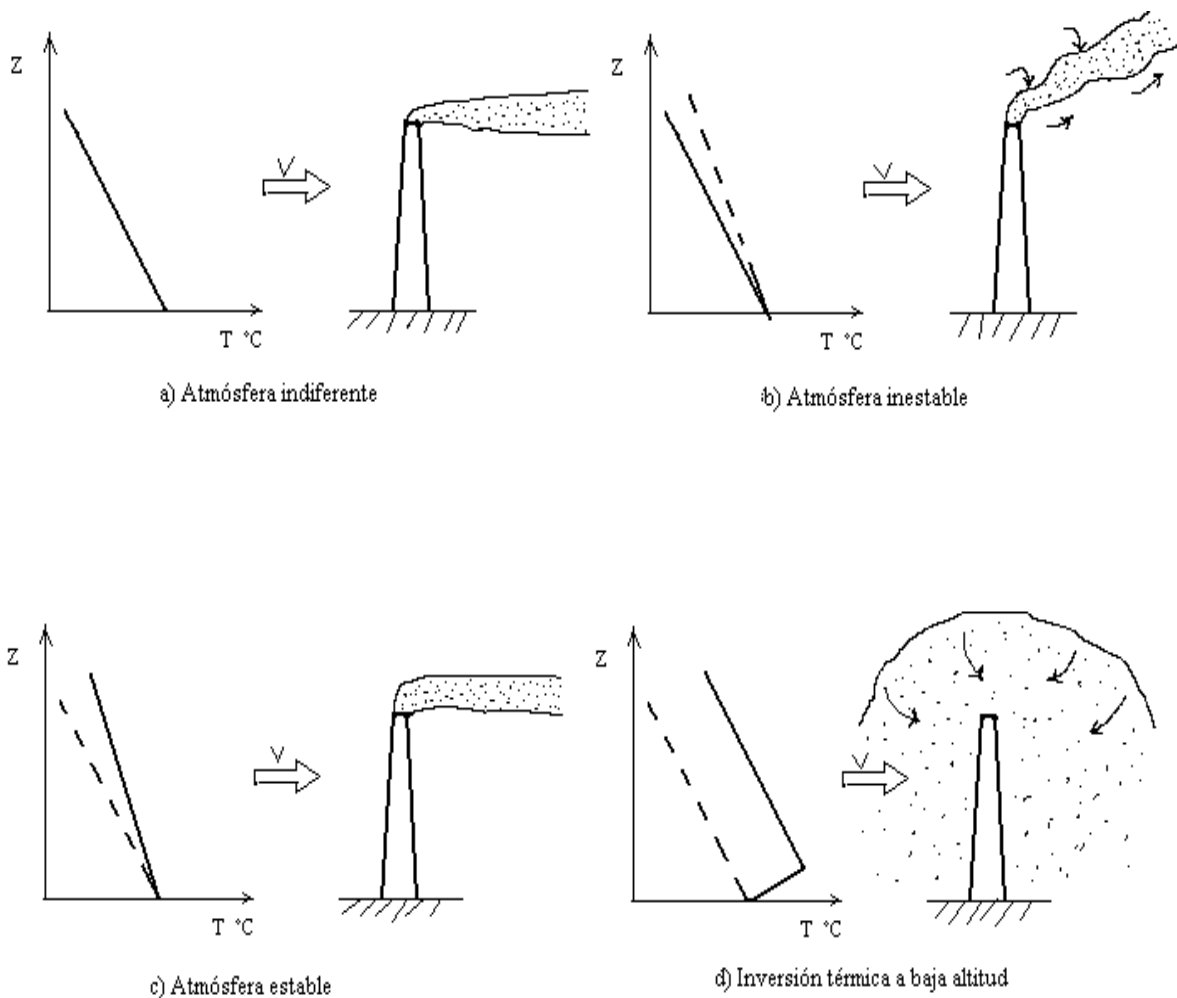


Figura N° 4. Formas de penachos de una columna de humo de una chimenea.

- Fig. a) El penacho es cónico y la concentración de poluentes es la misma.
 Fig. b) El penacho es tortuoso y los poluentes tienen una tendencia ascendente muy acentuada.
 Fig. c) El penacho es delgado y horizontal en la dirección del viento.
 Fig. d) Cuando hay inversión de temperaturas al nivel del suelo y que sobrepasan el nivel de emisión de los humos, el penacho se extiende horizontalmente, la polución es muy fuerte.

ESTANDARES INTERNACIONALES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES DEL AIRE

Diversos organismos e instituciones gubernamentales se han preocupado por la medición de poluentes contaminantes del aire que pudieran perjudicar al hombre animales y plantas, determinando estándares máximos permisibles de concentración de poluentes. En la tabla N° 4 se muestra se muestra los valores máximos permisibles de la concentración de contaminantes en la atmósfera [2]

Estándares internacionales de contaminantes del aire en 24 horas de medición

POLUANTE	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ORGANISMO	SIGLAS
Anhídrido sulfuroso H_2S	150	Environmetal Protection Agency	EPA of EEUU.
Dióxido de azufre SO_2	125	Organización mundial de la salud	OMS
Partículas totales en suspensión (PTS)	120	Organización mundial de la salud	OMS
Metales pesados (Cu, Mn, Cr, Fe, Zn, Pb.)	Variable según tipo de metal	Varios	---
Partículas menores a 2.5 micras. ($\text{PM}_{2.5}$)	65	National Ambient Air Quality Standards	NAAQS of EEUU.

Tabla N° 4. Estándares internacionales de principales contaminantes en la atmósfera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del modelo para determinar la altura óptima de chimenea, ha permitido llegar a importantes resultados cuya discusión se detalla a continuación:

PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN EL MODELO DE COLUMNA DE HUMO DEL TIPO GAUSSIANA

El problema presenta, a nuestra manera de ver, tres aspectos definidos que son:

- A) La calidad de la emisión de los humos; en la que debe tenerse en cuenta la naturaleza de los poluentes, su concentración, temperatura (a mayor temperatura de emisión, el penacho se eleva más en la atmósfera) la densidad de los gases con relación al aire ambiente y su velocidad de salida.

- B) La atmósfera local, así como la geografía y conformación física de los alrededores en donde se ubica la chimenea.
- C) La forma y dimensiones de la chimenea, de todas maneras este elemento es un obstáculo (de sección transversal variable) al flujo del viento, por lo que se debe tratar desde el punto de vista cinemático, considerando las conformaciones del flujo en función del número de Reynolds.

Este aspecto debe ser cuidadosamente estudiado, y permite obtener dos resultados; uno puramente cinemático que tiene que ver con la difusión del penacho y el otro con la parte estructural de la chimenea a fin de determinar las cargas a considerar por acción del viento (Figura N° 5)



Figura N° 5. Forma y dirección del penacho de la chimenea de la empresa SIDERPERU vista desde el cerro de la Paz. Los poluentes se dirigen hacia el Nor-Este donde se ubican los centros poblados de Coishco y Santa.

Los resultados prácticos del estudio de este problema se traduce en fijar una forma y altura de chimenea, así como también para una velocidad mínima de salida de humos. El estudio puede hacerse en forma teórica y también experimental. Existen expresiones para calcular la difusión de los poluentes que no siempre son aplicables a casos reales, pero permiten evaluar aproximadamente la polución al nivel del suelo y determinar la ubicación y dimensiones de las chimeneas. Entre ellas tenemos las de Bosanquet – Pearson, que considera un modelo de difusión de la columna de humo del tipo gaussiana [3]

En este tipo de modelo se considera una fuente puntual como la chimenea de una fabrica y, se intenta calcular la concentración del poluante en la dirección del viento. El origen del sistema de coordenadas se ubica en la base de la columna, con el eje X alineado en la dirección del viento y la columna de humo elevándose desde la chimenea y viajando en la dirección X, y dispersándose en las direcciones Y y Z a medida que se desplaza (Figura N° 6)

Para el calculo de la columna de humo gaussiana se supone que la columna se emite desde un punto con coordenadas $(0,0,H)$; H es la altura efectiva de la chimenea, igual a la suma de la altura física de la chimenea h, mas la altura de la columna de humo Δh ($H = h + \Delta h$)

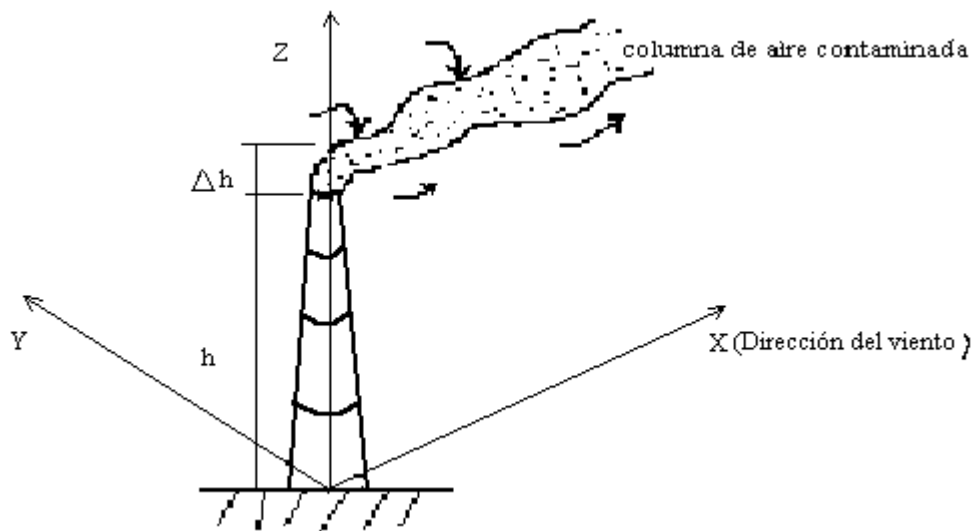


Figura N° 6. Columna de humo gaussiana dispersión bidimensional

- Formula de Bosanquet –Pearson

$$C = \frac{Q}{\pi v p q} \exp - 0.5 \left(\frac{Y}{p} \right)^2 \cdot \exp - 0.5 \left(\frac{H}{q} \right)^2$$

donde:

- C = Concentración máxima al nivel del suelo en gr/m³
- Q = Caudal de emisión del poluante en gr/seg.
- v = Velocidad media del viento en m/seg.
- H = Altura efectiva de la chimenea en metros.
- Y = Distancia lateral con respecto a la dirección de la velocidad del viento X.
- p = Coeficiente experimental de difusión lateral en metros.
- q = Coeficiente experimental de difusión vertical en metros.

APLICACIÓN AL CASO DE LAS CHIMENEAS DE LA INDUSTRIA PESQUERA Y SIDERURGICA

Experimentalmente pueden estudiarse los penachos de humo teniendo en cuenta diversos parámetros tales como la altura y ubicación de la chimenea, velocidad del viento temperatura y velocidad de salida de los gases, usando maquetas que se colocan en la cámara de ensayo de un túnel aerodinámico y en el que la velocidad del aire representa la velocidad del viento; el penacho puede visualizarse usando humos coloreados. Esta forma de estudio no se realiza en el Perú, por cuanto no existe en las Universidades laboratorios que cuenten con túneles aerodinámicos subsónicos para la realización de este tipo de experiencias.

También se hacen estudios experimentales en verdadera magnitud incorporando gases coloreados o sustancias que se diferencian de las emisiones, de manera de poder trazar los penachos y así evaluar la forma en que una chimenea contribuye a la polución del entorno de un parque industrial o centro urbano. En Chimbote, se presenta esta forma de emisiones en la chimenea de la planta siderúrgica, donde se aprecia con notable claridad la forma del penacho de color rojo teja con gran concentración de elementos poluentes en suspensión como los óxidos de fierro y zinc, que le dan el color característico de este tipo de industria (Figura N° 5).

Por la topografía de la zona, el entorno donde se ubica la planta y la dirección predominante del viento que ocurre de Sur-Oeste a Nor-Este, los contaminantes se elevan y dirigen hacia esa dirección, para luego caer en el centro poblado de coishco y zonas aledañas cuando se presenten las condiciones adecuadas para hacerlo, como la disminución en la velocidad del viento y el enfriamiento de los gases contaminantes.

En el presente trabajo, aplicando el modelo de columna de humo Gaussiana, se pretende estimar la altura optima de las chimeneas instaladas en Chimbote, a fin de que la concentración a nivel del suelo de los principales poluentes dañinos para la salud como el SO_2 y el H_2S , se encuentren dentro de los estándares permisibles indicados por organismo de control de la contaminación.

Hipótesis planteadas:

En la aplicación del modelo, se plantean las siguientes hipótesis:

1. Altura promedio de chimeneas de las industrias pesqueras : 10.00 m.
2. Caudal de emisión del poluante "Q" a la salida de la chimenea: 10 gr/seg.
3. Velocidad predominante del viento en zona urbana: 5.3 m/seg.
(Corresponde al 75% de persistencia del valor promedio de la velocidad del viento medido en zona abierta y entorno despejado)
1. Valores de la difusión lateral "p" y vertical "q" dependen solamente de la distancia X del lugar de medición al punto de emisión del contaminante.
2. Se considera la categoría de estabilidad de la atmósfera del tipo "C" según Turner [3], por presentar mayor similitud al tipo de atmósfera de Chimbote y a las condiciones meteorológicas de zona de costa.
3. Se estimaran los niveles de concentración "C" del poluante H_2S a nivel del suelo $Z=0$, y en la dirección del viento $Y=0$; que corresponde a la proyección sobre el suelo de la línea central de columna de humo (Eje X).

Los valores de los coeficientes de difusión para la categoría de atmósfera “C”, se puede estimar mediante las siguientes expresiones[3]

* Coeficiente de difusión lateral: $p = 104 X^{0.894}$

* Coeficiente de difusión vertical: $q = 61 X^{0.911}$

De la formula anterior, para las condiciones $Y=0$ y $Z=0$, que corresponde a la recta sobre el suelo, directamente debajo de la línea central de la columna de humo, se cancela el termino exponencial en Y . Multiplicando ambos miembros por v / Q , resulta:

$$\frac{Cv}{Q} = \frac{1}{\pi pq} \exp - 0.5 \left(\frac{H}{q} \right)^2$$

En la tabla N° 5, se muestra los valores de Cv/Q , para diferentes distancias X y altura efectiva de chimenea H .

X (km.)	p(mt.)	q(mt.)	Altura H de la chimenea en mt.					50
			5	10	15	20	25	
0.100	13.3	7.5	2.562E-03	1.313E-03	4.305E-04	9.039E-05	1.215E-05	6.636E-13
0.200	24.7	14.1	8.605E-04	7.122E-04	5.196E-04	3.341E-04	1.894E-04	1.672E-06
0.500	56.0	32.4	1.733E-04	1.672E-04	1.576E-04	1.450E-04	1.303E-04	5.346E-05
1.000	104.0	61.0	5.001E-05	4.951E-05	4.868E-05	4.755E-05	4.613E-05	3.586E-05
2.000	193.3	114.7	1.435E-05	1.430E-05	1.424E-05	1.414E-05	1.402E-05	1.306E-05
5.000	438.4	264.3	2.746E-06	2.745E-06	2.743E-06	2.739E-06	2.735E-06	2.698E-06
10.000	814.8	497.0	7.861E-07	7.860E-07	7.858E-07	7.855E-07	7.851E-07	7.821E-07
20.000	1514.1	934.5	2.250E-07	2.250E-07	2.249E-07	2.249E-07	2.249E-07	2.246E-07
50.000	3434.9	2153.2	4.304E-08	4.304E-08	4.304E-08	4.304E-08	4.303E-08	4.303E-08

Tabla N° 5. Valores de la relación Cv/Q para H comprendido entre 5 y 50 m.

Graficando los valores de Cv/Q con la distancia X en un sistema doble logarítmico, teniendo como parámetro la altura H de la chimenea, se obtiene una serie de curvas como el mostrado en la figura N° 7.

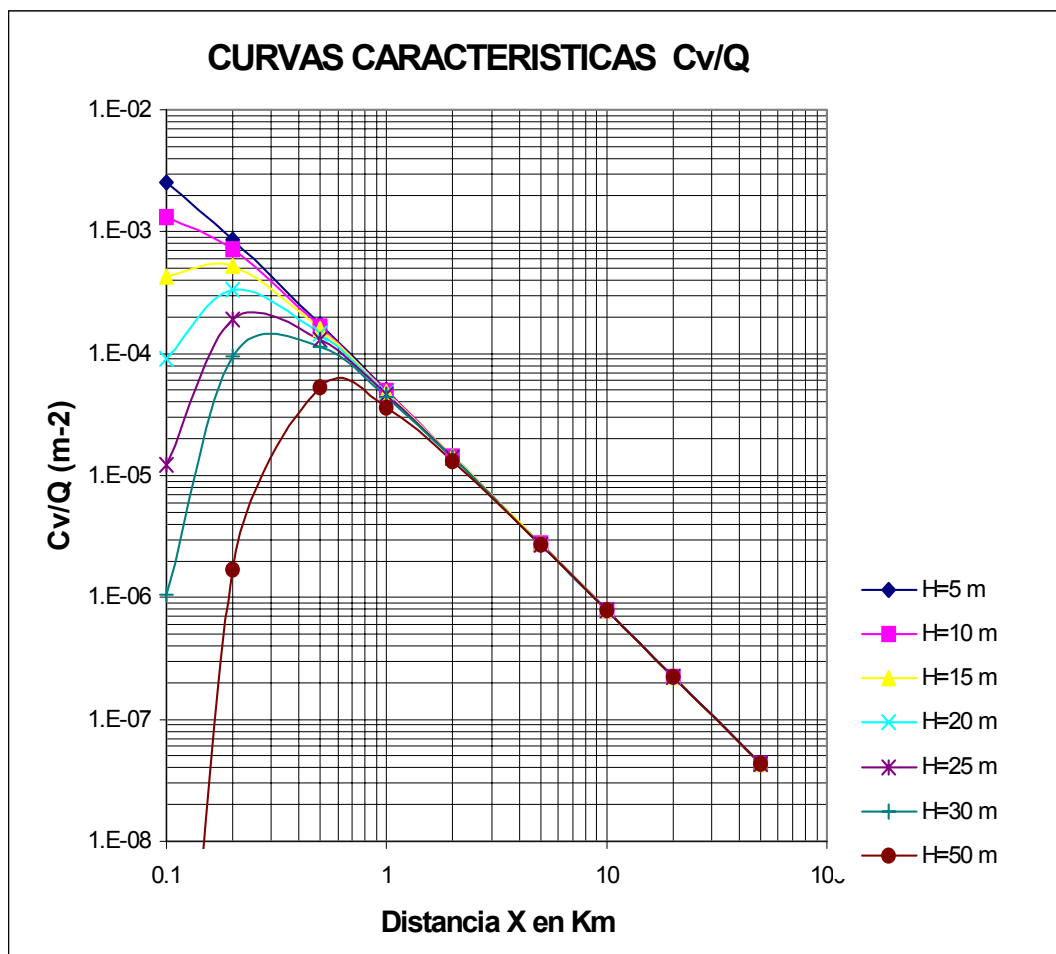


Figura N° 7. Curvas características C_v/Q para distintos valores de X y H . La concentración máxima al nivel del suelo y su distancia en la dirección del viento, se puede hallar del gráfico anterior. Se muestra a continuación los valores de C para una velocidad del viento de 5.3 m/seg y un caudal Q de emisión del poluante de 10 gr/seg., según las hipótesis planteadas.

Altura de chimenea (m)	Distancia X (km)	C_v/Q (m^{-2})	C en $\mu g/m^3$
10	0.10	1.5E-3	2,478
15	0.15	6.0E-4	1,115
20	0.20	3.5E-4	630
25	0.25	2.2E-4	405
30	0.30	1.5E-4	281
50	0.55	6.0E-5	103

Tabla N° 6. Valores de la concentración máxima C de H_2S para alturas de chimenea H comprendido entre 10 y 50 m.

CONCLUSIONES

- 1) Los resultados de la investigación permiten concluir que para altura de chimenea comprendidas entre 5m y 50 m, las curvas características de la figura N° 7

presentan un punto de intersección en $X=1.5$ km, que corresponde al valor mas bajo de Cv/Q , equivalente a $2 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2}$, con un valor de C mínimo igual $38 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- 2) El valor limite de la concentración del poluante H_2S , de $150 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendado por la Environmental Protection Agency (EPA) en 24 horas de exposición, se logra para alturas de chimeneas de $H=40$ m; presentándose la concentración máxima del poluante a una distancia $X= 400$ m del punto de emisión.
- 3) Debido al funcionamiento actual en forma intermitente de las industrias pesqueras, por el periodo de vedas en el sector y al carácter depurador de la atmósfera, se podría optar por alturas de chimeneas de $H=25\text{m}$; el cual presenta una concentración máxima del poluante de $405 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ a una distancia de 250 m de la fuente contaminante (aproximadamente a lo largo de la carretera Panamericana Norte y en la Zona industrial de la Urbanización El Trapecio)
- 4) Para la altura de chimenea de la industria siderurgia, no podría aplicarse la excepción anterior teniendo en cuenta que la producción de esta industria es en forma continua y permanente.
- 5) Finalmente, como aspecto fundamental promover la participación de las universidades, favoreciendo la creación de centros de investigación múltiples que abarquen el estudio de las leyes físicas que regulan la dispersión de poluentes, su interacción y evolución química en la atmósfera, así como los efectos de los poluentes sobre la salud. Por otro lado se dará impulso al empleo y el mejoramiento de dispositivos purificadores, depuradores, desempolvadores, ciclones en los procesos de producción y emisión de contaminantes a la atmósfera.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- 1) CONAM. (2000) Diagnostico ambiental y propuestas técnicas para la recuperación de la bahía El Ferrol. Lima pp 11
- 2) DIGESA. (2001) Evaluación de la calidad del aire de la ciudad de Chimbote. Lima pp 3-27.
- 3) Noel de Nevers. (1998) Ingeniería de control de la contaminación del aire. 1ra edición. Editorial Mc Graw Hill Interamericana. México pp 117-154.
- 4) Reyes C. (1988) Aplicación de la mecánica de los fluidos en la contaminación del aire. VIII Congreso de ingeniería civil. Cuzco.
- 5) Roess R. (1974) La industria y la contaminación del aire. 1ra edición. Editorial centro regional de ayuda técnica (AID) México.