

ARTÍCULOS ORIGINALES

Modelamiento matemático de la dispersión de dióxido de azufre en la ciudad de Huaraz [Mathematical modeling of the dispersion of sulfur dioxide in the city of Huaraz] <i>Ángel Cobo O., Vladimir Rodríguez S., Jesús Espinola G., Mario Leyva C., Maximiliano Asís L.</i>	9 - 18
Cuantificación espectrofotométrica de nitritos en salchicha tipo Frankfurt en Huaraz [Quantification espectrofotométrica of nitrites in sausage type Frankfurt in Huaraz] <i>Julio Inti B., Julio Henostroza T., Rafael Castro R.</i>	19 - 24
Rendimiento térmico más eficaz de un muro Trombe de concreto en Huaraz en relación al medio ambiente y a las principales orientaciones-2012 [More effective thermal performance of a Trombe wall of concrete in Huaraz in relation to the environment and the major orientations – 2012] <i>Ronald Corrales P., Víctor Villegas Z.</i>	25 - 35
Evaluación del desempeño sísmico del pabellón de laboratorios comunes en la ciudad universitaria de la UNASAM, Huaraz – 2013 [Evaluation of seismic performance of the pavilion of common laboratories in the university town of UNASAM, Huaraz – 2013] <i>Jorge Bedon L., Luis Ita R., Elio Milla V.</i>	36 - 43
Propagación del Huanarpo (<i>Jatropha Macrantha</i>) con fines de conservación y repoblación en la región Ancash [Huanarpo (<i>Jatropha Macrantha</i>) propagation for conservation and resettlement purposes in the Ancash región] <i>Prudencio Hidalgo C., César Dávila P., Eladio Tuya C., Zenobio Ospina O., Judith Norabuena V.</i>	44 - 52
La puesta en valor del patrimonio minero como alternativa económica tras el cese de la actividad extractiva. Análisis del caso Español. [Enhacement of mining heritage as an economic alternative after ceasing the extractive activities. Analysis of Epanish case.] <i>Rubén Pérez ., Gema Fernández M., Julio de Luis Ruiz., Raúl Husillos R.</i>	53 - 61
Resistencias y costos unitarios de concretos fabricados con agregados de la cantera Tacllán, curados con agua y antisol s [Resistance and costs unit of concrete made with aggregates from the quarry Tacllán, cured with water and sunscreens s] <i>Víctor Villegas Z., Miguel Corrales P.</i>	62 - 68

Ampliación del concepto de líneas de influencia a superficies de influencia con elementos finitos, en puentes de C° A° tipo losa [Turning of influence line concepts into influence surface creation, using finite element method for slap concrete bridges] <i>Willi Taipe F.</i>	69 - 77
Conocimiento sobre transmisión y prevención del VIH/Sida en estudiantes del I Ciclo de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz- 2012-I [Knowledge transfer and HIV/AIDS in students of cycle I Santiago Antúnez of Mayolo National University, Huaraz-2012-I] <i>Marcelo Arotoma O., Bibiana León H., Enid Arotoma N., Julio Menacho., L Ángel Mendoza L.</i>	78 - 87
Factores de riesgo asociados al embarazo en adolescentes en el Callejón de Huaylas, 2012 [Risk factors associated with teenage pregnancy in the Callejón de Huaylas, 2012] <i>Yuliana De la Cruz R., Augusto Olaza M.</i>	88 - 97
La exportación de hortalizas y legumbres en el marco de la firma del TLC con EE.UU y el desarrollo del sector agrícola en la provincia de Huaylas 2009- 2011 [Export of vegetables in the framework of signature with USA and development of agricultural sector in the province of Huaylas 2009- 2011] <i>José Ruiz V., Dominga Ayvar C.</i>	98 - 105
La publicidad electrónica y tradicional en relación a la efectividad para la captación de clientes en los hoteles de la Ciudad de Huaraz, 2008 [The electronic and traditional advertising and their effectiveness to attract customers in the hotels in the city of Huaraz, 2008] <i>Maria García F., Félix Lirio L., Roger Norabuena F., Edwin Ramirez A.</i>	106 - 112
Influencia de la teoría del espejo lacaniano en el análisis de las imágenes fijas publicitarias en los estudiantes del 5° grado de educación secundaria de la I.E. "Señor de la Soledad" de Huaraz-2013. [The influence of the theory of the mirror lacaniano in the analysis of the fixed images advertized in the students of the fifth grade of the junior high in the education institution " Señor d ela Soledad " of Huaraz 2013.] <i>Vidal Guerrero T., Dino Palacios M.</i>	113 - 121
El ciberplagio en trabajos académicos en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo [Cyberplagiarism in academic work in the University National Santiago Antúnez de Mayolo] <i>Isaac Morales., Félix Julca., María Méndez.</i>	122 - 131

ENSAYO

Algunos problemas epistemológicos y metodológicos de la investigación en ciencias sociales <i>Jorge Lora C.</i>	132 - 144
--	-----------

Modelamiento matemático de la dispersión de dióxido de azufre en la ciudad de Huaraz

Mathematical modeling of the dispersion of sulfur dioxide in the city of Huaraz

Ángel Cobo O¹, Vladimir Rodríguez S², Jesús Espinola G²,
Maximiliano Asís L², Mario Leyva C³.

RESUMEN

Analiza la concentración y difusión de Dióxido de Azufre cerca de la superficie de la ciudad de Huaraz. El modelo empleado presenta las principales características meteorológicas de la ciudad: temperatura, dirección del viento, velocidad del viento, brillo solar y estabilidad atmosférica, las cuales son necesarias para estos tipos de fenómenos. Una vez descritas las características del gas contaminante, se inició la determinación del tipo de contaminación, en este caso originado principalmente por fuentes móviles, con la cuantificación de la carga contaminante en lugares donde existen mayor congestión vehicular se procedió a la aplicación del modelo de dispersión Gaussiano a nivel del suelo, que permite establecer el comportamiento de los contaminantes luego de ser emitidos a la atmósfera de acuerdo a los factores meteorológicos presentes en dicho instante. Efectuado el estudio se establece cual es la situación actual en la Ciudad de Huaraz, en cuanto a la emisión y dispersión de Dióxido de Azufre por fuentes móviles se refiere, representados por medio de mapas generados por el modelo de dispersión Gaussiano.

Palabras clave: meteorología; dispersión; modelo Gaussiano, dióxido de azufre.

ABSTRACT

Analyzing the concentration and diffusion of sulfur dioxide near the surface of the city of Huaraz. The model used presents the main features of the city weather: temperature, wind direction, wind speed, sunshine and atmospheric stability, which are necessary for these types of phenomena. Having described the characteristics of the pollutant gas, we began determining the type of contamination, in this case driven mainly by mobile sources, the quantification of pollution load in places where there is greater traffic congestion proceeded to the implementation of the Gaussian dispersion model at soil, which allows the behavior of pollutants after being emitted into the atmosphere according to meteorological factors present at that instant. The study establishes what the current situation in the city of Huaraz, in terms of sulfur dioxide emissions from mobile sources and dispersion terms, represented by maps generated by the Gaussian dispersion model.

Key words: meteorology; dispersion; Gaussian model; sulfur dioxide.

¹Departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación. Universidad de Cantabria - España.

²Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Ancash - Perú.

³Facultad de Ciencias del Ambiente. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Ancash - Perú.

INTRODUCCIÓN

La Contaminación Atmosférica se debe a la presencia de materiales indeseables en el aire, en cantidades suficientes como para producir efectos nocivos a la atmósfera, en especial daños en la salud humana, la vegetación y el medio ambiente global, así como tornar el aire un color café o generar olores desagradables. Una gran parte de materiales indeseables en el aire provienen de fuentes que aún no están bajo el control humano; pero en las zonas urbanas, las fuentes principales de estos materiales indeseables son las actividades humanas. (Nebel, 1999)

Conocer los tipos de contaminantes, las fuentes de contaminación y la dispersión de los contaminantes, es la etapa inicial que permitirá a los planificadores urbanos tomar determinación en cuanto a la gestión tanto ambiental, como social en un lugar determinado; razón por la cual el presente estudio tiende a evidenciar al máximo posible, de acuerdo con la información existente y las condiciones técnicas disponibles, las fuentes de contaminación en las ciudad de Huaraz, su potencial de emisión y el lugar hacia donde tienden.

Es así que se hace necesario conocer realmente cuáles son sus principales fuentes de contaminación, cuál es la carga potencial contaminante de ellas y de qué manera se están dispersando los contaminantes en la atmósfera, para así poder determinar unas políticas serias de protección y regulación ambiental, al igual que entrar en los programas de educación y reconversión hacia el uso de sustancias menos deteriorantes de la atmósfera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación, fue necesario contar con un equipo para determinar la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiental, el cual utiliza la técnica analítica por vía húmeda de la pararosanilina. En éste método el dióxido de azufre, es absorbido del aire en una solución de tetracloromercurato de potasio (TCM) con una concentración 0.04 molar (M), obteniéndose un complejo, el monoclora sulfonatomercurato, el cual resiste la oxidación por O₂ del aire. Una vez formado, este compuesto es estable a oxidantes. El compuesto reacciona con la pararosanilina y formaldehído, formando ácido metilsulfónico de pararosanilina, de color muy vivo, cuya intensidad cromática puede medirse con un espectrofotómetro a 548 nanómetros (nm) y es directamente proporcional a la cantidad de dióxido de azufre (SO₂) colectado. El volumen total de la muestra de aire corregido a condiciones de referencia, se determina a partir de la velocidad y el

Actualmente, en el área de estudio, la contaminación atmosférica es generada por fuentes móviles (Solórzano, 2007), como consecuencia del proceso complejo de crecimiento urbano, que desde varios años se viene observando; debido principalmente al crecimiento económico, podrían estar ocasionando niveles de deterioro de la calidad del aire para la salud humana e inclusive a la flora y fauna. Sin embargo este fenómeno es extremadamente complejo de analizar y se requiere de uso de herramientas sofisticadas de análisis de datos.

En la ciudad de Huaraz la principal fuente de contaminación es dada por el parque automotor (fuentes móviles), pues no se cuenta con zonas industriales, (fuentes fijas) (Antúnez, 2008). En esta investigación se enlazaron, en un modelo de dispersión gaussiano, que juegan un papel importante en modelos de calidad del aire, aplicado al caso de fuentes móviles, que toma en cuenta la meteorología actuante y las emisiones de gases (dióxido de azufre) para obtener de forma aproximada la concentración de contaminantes sobre las zonas de mayor tráfico vehicular. Algunos estudios sobre la calidad del aire en la ciudad de Huaraz tenemos: "Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Huaraz" UNASAM (Jaque, 2002) el cual se basa en un estudio mayormente descriptivo, y el realizado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2000) para diferentes tipos de contaminantes atmosféricos, los cuales nos sirvieron como base para este trabajo.

el tiempo de muestreo. La concentración de SO₂ en el aire ambiente se expresa en microgramos por metro cúbico patrón ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Para la determinación del dióxido de azufre (SO₂), se emplea una sonda de muestreo de teflón o vidrio que transporta la muestra de aire ambiente succionado al tren de muestreo, que inicia con el absorbedor (tubo de polipropileno de 32 mm de diámetro y 164 mm de largo), en el cual se encuentra el reactivo absorbente TCM. Luego a través del tubo burbujeador, cuya punta disminuye de diámetro progresivamente, hasta terminar en un orificio con un diámetro interno 0,3 y 0,8 mm, la cual queda inmersa en el reactivo absorbente, se hace pasar la muestra de aire; esta unidad debe cubrirse de la luz. Luego se conecta a una trampa de humedad de vidrio o de polipropileno, localizada entre el tubo de absorción y el dispositivo de control de flujo para evitar el paso de agua hacia ese dispositivo. Como dispositivo de control de flujo se emplea un rotámetro calibrado o una aguja con un orificio crítico, la cual es protegida por una membrana para partículas. Para garantizar la velocidad de flujo requerida en el muestreo se utiliza una bomba de vacío. Ver figura 1



Figura 1. Equipo de monitoreo de SO₂

El modelo matemático a utilizar para determinar las concentraciones del dióxido de azufre en la ciudad de Huaraz, es el modelo de dispersión Gaussiano a nivel del suelo, pues es el más usado para calcular concentraciones aproximadas en diferentes puntos del espacio a favor del viento (Buitrago, 2003), (Gordillo, 1996). Dicho modelo requirió inicialmente establecer las condiciones climatológicas de la ciudad de Huaraz, y posteriormente hacer un diagnóstico de las fuentes de contaminación.

Para el análisis de las características climatológicas se tomó en cuenta la información del brillo solar, precipitación diaria y mensual, velocidad y porcentaje de dirección mensual del viento y temperatura; las cuales fueron proporcionadas por las estaciones meteorológicas de la minera Barrick Misquichilca y del SENHAMI. De acuerdo con esta información se determinaron las condiciones de estabilidad atmosférica.

En el caso de las fuentes de contaminación, se hizo el análisis en las fuentes móviles, pues la ciudad no posee fuentes fijas (industrias, refinerías, etc.) se trabajó según el estudio “Inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Huaraz” (Melgarejo, 2006). Lo que permitió establecer los sitios donde se ubicaron las estaciones de monitoreo para la medición de las concentraciones.

Determinación del modelo de dispersión atmosférico para ser aplicado en la ciudad de Huaraz e Independencia.

Un modelo matemático de la dispersión atmosférica debe tratar de simular el comportamiento en conjunto de las plumas emitidas desde fuentes a nivel de terreno o a la altura de la chimenea. Para fuentes localizadas en un punto, como en el caso de una chimenea, el aspecto de la pluma se podría presentar como en la figura 2.

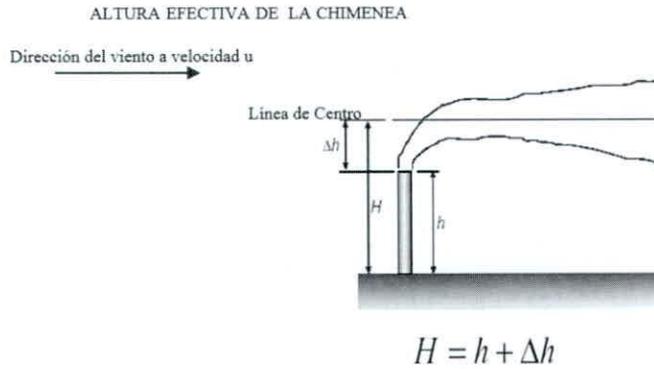


Figura 2. Modelo de Dispersión con la fuente virtual a una altura, H, de la chimenea

Según (Strauss, 1995), (Glynn, 1999) y (Wark, 1996) algunas hipótesis utilizadas en los modelos gaussianos son:

Emisión continua y constante, al menos durante un tiempo igual o mayor que el tiempo necesario para que el contaminante haya llegado hasta el receptor. Se supone que los tiempos de muestreo son grandes comparados con el tiempo que el contaminante ha tardado en llegar al receptor.

Flujo estacionario y condiciones meteorológicas prácticamente constantes, al menos durante el tiempo de transporte desde la fuente al punto más alejado.

Conservación de la masa en la pluma. Si hay difusión hacia el suelo, se supone que rebota en el mismo. El contaminante no es reactivo. Viento casi constante a lo largo del viaje.

Las difusibilidades son constantes de masa, D_x, D_y y D_z en las respectivas direcciones de los ejes coordenados.

Con estas suposiciones, la concentración a favor del viento está dada por la ecuación:

$$C(x, y, z) = \frac{K}{x} \exp \left[\frac{-u}{4x} \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \right] \quad (1)$$

Donde K es una constante arbitraria cuyo valor está determinado por las condiciones de frontera del problema atmosférico específico.

Modelo Gaussiano en una fuente puntual a nivel del suelo: (BLASER, 2000)

Para una fuente puntual, la expresión apropiada K es:

$$K = \frac{Q}{2\pi(D_y D_z)^{1/2}} \quad (2)$$

Donde Q es la fuerza de la fuente de emisión. Al sustituir la ecuación (2) en la ecuación (1) se encuentra que la concentración de un contaminante emitido de una fuente puntual a nivel del suelo es:

$$C = \frac{Q}{2\pi x(D_y D_z)^{1/2}} \exp \left[\frac{-u}{4x} \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \right] \quad (3)$$

Esta ecuación tiene el formato de la distribución Gaussiana doble o normal, como sucede que para una fuente a nivel del suelo la máxima concentración en las direcciones y e z deberá tener lugar a lo largo de la línea central a nivel del suelo, donde la distribución gaussiana doble es dada por:

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\delta_y\delta_z} \exp \left[- \left(\frac{y^2}{2\delta_y^2} + \frac{z^2}{2\delta_z^2} \right) \right] \quad (4)$$

Reacomodando la ecuación (3) en una forma similar a la ecuación (4), se establecen las siguientes definiciones a fin de poder efectuar dicha transformación:

$$\delta_y^2 \equiv \frac{2D_y x}{u}, \delta_z^2 \equiv \frac{2D_z x}{u} \quad (5)$$

Dicha sustitución en la ecuación (3), lleva a la siguiente relación para la concentración a favor del viento desde una fuente puntual a nivel del suelo:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \delta_y \delta_z} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\delta_y^2} + \frac{z^2}{\delta_z^2} \right) \right] \quad (6)$$

σ_z : Coeficiente de dispersión en la dirección del eje z, está en m.

Donde:

Q : es el flujo de emisión de la fuente contaminante, se expresa en g/s

u : es la velocidad promedio del viento, se expresa en m/s

σ_y : Coeficiente de dispersión en la dirección del eje y, está en m.

σ_z : Coeficiente de dispersión en la dirección del eje z, está en m.

Los parámetros de dispersión dependen de la distancia de la fuente emisora (distancia x) y del nivel de turbulencia de la atmósfera.

La modelación de la dispersión de contaminantes en la ciudad de Huaraz, se desarrolló mediante la aplicación de un modelo Gaussiano para fuentes móviles ya que debe considerarse el comportamiento de las plumas de emisión, estos modelos son simples variaciones al modelo Gaussiano normal.

Determinación de la velocidad y dirección del viento

En la aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes se hace indispensable conocer la dirección y la velocidad del viento en el lugar que se está analizando; para el caso de la ciudad de Huaraz, se tomaron los reportes de las estaciones meteorológicas de la Minera Barrick Misquichilca, para ser aplicados a los modelos de fuentes móviles.

La rosa de vientos de dicha estación, es el indicativo de las condiciones del viento para hacer la aplicación del modelo de dispersión para fuentes móviles, que permita medir las condiciones atmosféricas allí. La rosa de vientos establecida ha sido para las horas diurnas, es decir de las 5:30 a.m a las 6.00 p.m, reportes que se han llevado durante varios años.

De la rosa de vientos, ver figura 3, se puede concluir que la dirección NNE, es la dirección predominante durante todo este periodo, con un porcentaje de ocurrencia del 75%, seguida del SSW con el 12%.

En cuanto a la velocidad del viento se tiene un promedio anual de 1.09 m/s.

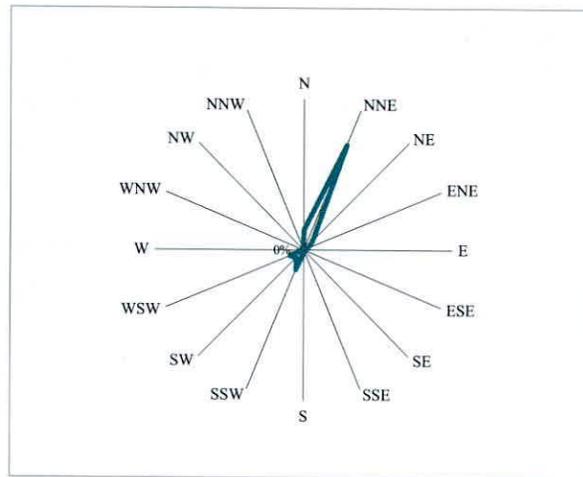


Figura 3. Rosa de Vientos de Estación Minera Barrick, 2008. Huaraz

Determinación de la estabilidad atmosférica en la ciudad de Huaraz

La aplicación de los modelos de dispersión requiere del conocimiento de la clase de estabilidad atmosférica que se presenta, para su determinación se hace necesario establecer la clase de radiación solar presentada en la ciudad de Huaraz. Durante las horas de la mañana, el periodo donde se tomará la muestra, el ángulo de inclinación del sol está mayor a 60°, donde los niveles de radiación son:

- Para una mañana despejada, una radiación fuerte
- Para una mañana con nubes cubriendo el 50%, una radiación moderada.
- Para una mañana totalmente cubierta de nube, se tendrá una radiación débil.

Comparando los datos de la velocidad del viento y la radiación solar en las mañanas, usando las tablas de categorías de estabilidad de Pasquill se tiene una estabilidad atmosférica A y B.

La determinación permite concluir que de acuerdo a las características topográficas del área en la cual se encuentra localizada la ciudad de Huaraz e Independencia, se encuentra con estabilidades que varían de muy inestables (Categoría A), hasta moderadamente inestable (Categoría B), todo esto durante el día a cielos despejados y semi nublados.

Determinación de los coeficientes de dispersión.

El cálculo de las desviaciones se realizó mediante la aplicación de las tablas de Pasquill, donde:

Para una mañana despejada y $x < 1$ Km:

$$\sigma_y = 213 x^{0,894}$$

$$\sigma_z = 440,8x^{1,941} + 9,27$$

Para un día semi nublado y $x < 1$ Km:

$$\sigma_y = 184 x^{0,894}$$

$$\sigma_z = 273,7x^{1,545} + 6,3$$

Para un día nublado y $x < 1$ Km:

$$\sigma_y = 156x^{0,894}$$

$$\sigma_z = 106,6x^{1,149} + 3,3$$

Criterios de selección de puntos de monitoreo.

Para la ubicación de puntos de monitoreo de dióxido de azufre se tuvo en cuenta las zonas sobre la ciudad de Huaraz e Independencia donde existen mayor congestión vehicular, cinco puntos de monitoreo en total. Pues, en estos lugares se produce la mayor expulsión de gases contaminantes. Para la elección de dichos puntos, se tuvo como base la tesis titulada "Inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Huaraz e Independencia" por Solórzano Ramírez Tatiana (Solórzano, 2007). Así mismo, una de las hipótesis del modelo Gaussiano, es que hace una representación del terreno como si fuera llano, por tal motivo se escogieron zonas que tengan altitudes similares, como es el usado para el análisis de otros gases en estudios similares (Melgarejo, 2006).

RESULTADOS

Resultados de análisis del dióxido de Azufre.

Una vez tomada la muestra líquida por los equipos de monitoreo, en los lugares correspondientes, dichas muestras fueron llevadas al laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente UNASAM, en la tabla 1 se resumen los resultados obtenidos:

Tabla 1. Resultados de análisis de calidad del aire de dióxido de azufre

Lugar	Duración (h)	Concentración SO ₂ (ug/m ³)
Esquina, Av. Raymondi y Av. Luzuriaga	4	52.3
Esquina, Av. Confraternidad Inter. Oeste y Jr. Bolognes	4	21.6
Esquina, Jr. Víctor Vélez y Jr. Augusto B. Leguía	4	17
Esquina Av. Luzuriaga y Jr. 28 de Julio	4	26.1
Esquina, Jr. Víctor Vélez y Av. Centenario	4	30.4

Resultados del modelo de análisis de dispersión

Con los datos de entrada (velocidad del aire, dirección del viento, estabilidad atmosférica y coeficientes de dispersión) para el modelo Gaussiano ya determinados previamente, se procede a hacer los cálculos respectivos, para determinar el análisis de dispersión en los diferentes puntos muestrales, usando el software matemático Matlab, en este caso el Matlab versión 2009. Para lo cual se realiza la programación de dicho modelo, obteniéndose las curvas de nivel de la dispersión del contaminante de los diferentes puntos monitoreados, en la figura 4 se muestra el resultado de uno de los puntos de monitoreo mediante curvas de nivel.

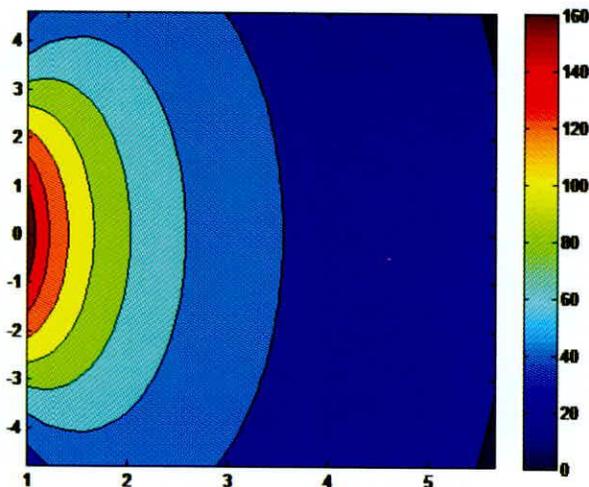


Figura 4. Dispersión de SO₂ (esquina de Av. Raymondí y Av. Luzuriaga)

DISCUSIÓN

La aplicación del modelo Gaussiano se efectuó en cinco puntos (zonas), en el sector centro de la ciudad de Huaraz para la medición del dióxido de azufre. Dichos puntos fueron seleccionados de acuerdo a la tesis Inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Huaraz [Solórzano, 2007].

Los lugares de mayor congestión vehicular, y por ende mayor contaminación ocasionada por fuentes móviles, se encuentran en: Esquina de Av. Raimondi y Av. Luzuriaga; Esquina, Av. Confraternidad Inter. Oeste y Av. Raimondi; Esquina, Jr. Víctor Vélez y Jr. Augusto B. Leguía; Esquina Av. Luzuriaga y Jr. 28 de Julio y Esquina, Jr. Víctor Vélez y Av. Centenario.

Con base en el modelo para fuentes móviles (ver ecuación 6) se determinó la distribución de los contaminantes para el mes de Enero de 2011, el tiempo de medición para cada punto fue de 4 horas entre las 5:00 a.m y 1:00 p.m, después de ello fueron llevados al Laboratorio de Calidad ambiental –FCAM-UNASAM para sus respectivos análisis, En estos resultados se puede observar que las mayores concentraciones de dicho gas se encuentran en las esquinas de Av. Luzuriaga y Av. Raimondi y la menos contaminada se encuentra en las esquinas de Jr. Víctor Vélez y Jr. Augusto B. Leguía (I.E. Jorge Basadre).

Es importante resaltar que el nivel de concentración de SO₂ en el centro de la ciudad se encuentra entre 17 y 52.3 ug/m³,

concentraciones que en ningún momento están por encima de la norma de emisiones que establecen las normas nacionales e internacionales, en el cual se determina que para un registro continuo de emisiones de 8 horas, la concentración máxima emitida de SO₂ no debe superar los 365 ug/m³ y para un registro continuo de 4 horas la concentración máxima permitida será de 60 ug/m³.

Los cálculos de la estabilidad atmosférica para Huaraz basados en el brillo solar y la velocidad del viento, permiten establecer que de acuerdo a las condiciones topográficas y climatológicas en la ciudad se presentan durante el día proporcionalmente los diferentes tipos de estabilidad, lo que refleja que para la aplicación del modelo de dispersión, juega un papel importante para diferentes horas del día.

CONCLUSIONES

1. Para el presente trabajo se usó el modelo de dispersión Gaussiano para medir la dispersión y la concentración del dióxido de azufre en diferentes zonas de la ciudad de Huaraz, pues este modelo se aproxima a la realidad y sus costos no son muy elevados, además pueden ser adaptados para medir el nivel de contaminación ocasionada por el parque automotor.
2. Según el modelo Gaussiano, dadas en la misma fuente de emisión se puede observar que la zona de mayor contaminación por

Dióxido de Azufre, causada por el parque automotor, está situada en las esquinas de Av. Luzuriaga y Av. Raimondi; con una concentración máxima de 52.3 ug/m^3 , el cual está muy cerca del máximo permisible según la organización Mundial de la salud, esto es 60 ug/m^3 . Y es en este lugar donde el tráfico vehicular está más congestionado.

3. En el modelo Gaussiano, mediante la ecuación (6) y el uso del software Matlab, es posible obtener una representación gráfica de la dispersión y concentración del dióxido de Azufre; los cuales para su mejor comprensión fueron dadas mediante curvas de nivel. Y donde se puede observar, por ejemplo, en la Figura 6, como la dirección y la velocidad del viento influyen en la dispersión de los contaminantes.
4. La aplicación de este modelo de dispersión, toma en cuenta las condiciones meteorológicas y las concentraciones de este gas en la fuente de emisión, sin embargo, no toma en cuenta la vida media de los contaminantes y las reacciones químicas que se pueden presentar en la atmósfera, con lo cual los resultados de la modelación pueden diferir de los datos reales; pero sin embargo según las diferentes experiencias de investigaciones similares (por ejemplo (Buitrago, 2003) (CRQ, 1997) (Oivares, 2001) estos modelos se aproximan a la realidad y siguen siendo bastante utilizados en la actualidad para la toma de decisiones de diferentes empresas e instituciones.
5. Como se esperaba, los resultados de la modelación reflejan claramente el comportamiento de los contaminantes, de acuerdo a cada tipo de estabilidad, es decir que la concentración se incrementa a medida que va pasando de un grado de estabilidad menos estable a uno más estable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo a cargo del Ing. Mario Leyva Collas, hicieron posible la realización de este trabajo al dotarnos con el recurso científico y tecnológico disponible.

Asimismo, agradecemos a la Minera Barrick Misquichilca y al SENHAMI por habernos proporcionado los datos meteorológicos, sin los cuales hubiera sido imposible el desarrollo del modelo de dispersión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antúnez J. 2008. Afecciones Respiratoria y dérmicas en relación a la contaminación atmosférica. UNASAM - FCAM.

Blaser M. 2000. Dispersión de la Contaminación atmosférica causada por tráfico vehicular. Swisscontact. Guatemala.

Buitrago J. 2003. Aplicación de Modelo Gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

DIGESA. 2000 Dirección ejecutiva de medio ambiente. Evaluación de calidad del aire en la ciudad de Huaraz Ancash, Huaraz -Ancash.

Corporación autónoma regional del Quindío. CRQ. 1997. Plan de gestión ambiental del recurso atmosférico. Colombia. Armenia.

Gordillo David 1996. Ecología y contaminación ambiental. Edit. Interamericana. México D.F.

Glynn H. 1999. Ingeniería Ambiental Edit. Prentice Hall, México.

Jaque C. y Pompilio L. 2002. Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Huaraz. UNASAM-FCAM. Huaraz.

Melgarejo C. Robles E. Valladares P. Leyva M. 2006. Determinación de las zonas de riesgo humano por exposición a plomo en la ciudad de Huaraz". UNASAM, Huaraz.

Nebel Bernard J., Wriqth R. 1999. Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo sostenible Edit. Prentice Hall, México.

Olivares G. 2001. Dispersión regional de Azufre oxidado en Chile Central. Universidad de Chile FCFM. Chile.

Strauss W., Mainwaring S.J. 1995. Contaminación del aire, causas efectos y soluciones. Edit. Trillas, México.

Solórzano T. 2007. Inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Huaraz e Independencia. UNASAM-FC, Huaraz – Ancash.

Wark. K, Warner C. 1996. Contaminación del aire Origen y Control. LIMUSA, México 1996.

Correspondencia

Ángel Cobo Ortega
acobo@unican.es