

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Análisis de dispersión de contaminantes utilizando el Modelo Gaussiano
en chimeneas**

Por:

Juan Damaso Asencio Pacho
Luz Natalia Vega Gavilan

Asesor:

Ing. Orlando Poma Porras

Lima, Julio del 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESINA

Ing. Orlando Poma Porras, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“Análisis de dispersión de contaminantes utilizando el Modelo Gaussiano en chimeneas”*** constituye la memoria que presenta los **estudiantes Luz Natalia vega Gavilan y Juan Damaso Ascencio Pacho** para aspirar grado académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 20 días de agosto del año 2020.



Ing. Orlando Poma Porras
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a30..... día(s) del mes dejulio..... del año ..2020.. siendo las....14:30... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):
Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga.....,el(la) secretario(a):
Mg. David Andres Sumire Qqenta..... y los demás miembros:
Ing. Josue Isac Carrillo Espinoza, Mg. Javier Raúl Condor Huamán.....
y el(la) asesor(a)Ing. Orlando Alan Poma Porras.....
con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Análisis de dispersión de contaminantes utilizando el Modelo Gaussiano en chimeneas.....

.....de los (las) egresados (as): a) Luz Natalia Vega Gavilan.....
b) Juan Damaso Ascencio Pacho.....
conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental.....
 (Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitandoa los.... candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.....los.... candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Luz Natalia Vega Gavilan.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

Candidato/a (b): Juan Damaso Ascencio Pacho.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitóa los....candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente/a



 Secretario/a

 Asesor/a



 Candidato/a (a)

 Miembro

 Miembro



 Candidato/a (b)

Análisis de dispersión de contaminantes utilizando el modelo gaussiano en chimeneas

POLLUTANT DISPERSION ANALYSIS USING THE GAUSSIAN MODEL IN CHIMNEYS

ASENCIO PACHO, JUAN*; VEGA GAVILAN, LUZ *

** Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km.19.5 Ñaña-Chosica*

Resumen

El trabajo aborda la temática de contaminación del aire, donde considera como un indicador ambiental a la concentración de gases, por ello es importante realizar monitoreos para determinar la calidad del aire. Existen diversos modelos de calidad de aire que son utilizados para simular los procesos físicos y químicos de la atmósfera. El objetivo del trabajo es comparar el análisis de dispersión de contaminantes en los softwares Matlab y Aermód utilizando el modelo matemático Gaussiano. El modelo Gaussiano es de gran aplicación y está compuesto por ecuaciones que son calculadas por el Matlab y Aermód simulando así las concentraciones de inmisión de contaminantes. Revisando investigaciones realizadas sobre ambos softwares, se identificó la eficiencia del Matlab en comparación con el Aermód, así mismo los parámetros que influyeron en la dispersión de la pluma Gaussiana. La presente investigación contribuirá al uso de estos softwares para la prevención de daños ambientales atmosféricos y gastos económicos.

Palabras Claves: Dispersión, modelo gaussiano, Matlab, Aermód

Abstract

The work addresses the issue of air pollution, where it considers the concentration of gases as an environmental indicator, so it is important to carry out monitoring to determine air quality. There are various models of air quality that are used to simulate the physical and chemical processes of the atmosphere. The objective of the work is to compare the analysis of pollutant dispersion in Matlab and Aermód software using the Gaussian mathematical model. The Gaussian model is of great application and is made up of equations that are calculated by the Matlab and Aermód, thus simulating the concentrations of pollutant emission. Reviewing research carried out on both software's, the efficiency of the Matlab compared to the Aermód was identified, as well as the parameters that influenced the dispersion of the Gaussian plume. The present investigation will contribute to the use of these software's for the prevention of atmospheric environmental damages and economic expenses.

Key Words: Dispersion, Gaussian model, Matlab, Aermód

Autor de correspondencia:

Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Ingeniería Ambiental Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho Chosica - Lima

Tel: 927663865-951587143

E-mail: juan.ap@upeu.edu.pe - luzvega@upeu.edu.pe

1. Introducción

Rojas, (2017) nos dice que la contaminación atmosférica es un problema ambiental que afecta negativamente a la salud y al medio ambiente, esto debido a que enormes cantidades de contaminantes de diversas formas (sólidos, líquidos y gaseosos) y tipos son liberados por diferentes fuentes emisoras (Hernández, 2013). Entre las principales fuentes de contaminación se pueden destacar las actividades industriales, el crecimiento urbano, el parque automotor, etc.(SENAMHI, 2011)

Barrento, (2014) comenta que toda actividad industrial evacua mediante sus chimeneas diferentes contaminantes químicos originados por los distintos procesos de producción entre ellos tenemos: el Monóxido de carbono, Óxido de nitrógeno, Dióxido de nitrógeno, Dióxido de azufre, dióxido de carbono, etc. que por composición química generan un impacto significativo en el medio ambiente (Perdiz, 2016).

Ante la necesidad de identificar la dispersión de contaminantes emitidos por chimeneas, surgen los modelos de calidad de aire que en su mayoría usan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos que aumentan el grado de contaminación en la atmósfera (Depaz, 2017). Los modelos de dispersión de contaminantes hallan las ecuaciones de dispersión en forma aproximada y los resultados se obtienen muy rápidamente (Garreaud & Rutllant, 2006)

Uno de los modelos de dispersión más usados es el modelo matemático gaussiano que sigue una distribución vertical al movimiento con el elemento cohesionador principal considerando la pluma de contaminantes liberado por una chimenea. (Uribazo Díaz et al, 2006). La ecuación de dispersión gaussiana enfoca los niveles de inmisión en un área determinada con la cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera desde la fuente emisora, teniendo en cuenta las condiciones de la chimenea, así como la concentración de los gases y las características climáticas y topográficas del medio receptor. Los factores climatológicos como el viento, la temperatura, la humedad y las precipitaciones alteran de manera significativa la distribución del contaminante (Fonseca Hernandez, 2013). Se sabe que el viento ayuda a la dispersión de los contaminantes y la humedad provocando un papel negativo en la dispersión de los mismos, aumentando la concentración de humos y polvo. (Bustos Salas, 2004).

En esta investigación se tiene como objetivo comparar el análisis de dispersión de contaminantes con la aplicación del modelo gaussiano en los softwares matemáticos Matlab y Aermol. En estos se simulan la concentración de contaminantes que permite estimar la calidad de aire ambiental en un lugar determinado tomando en cuenta los niveles de Pasquill y los factores climatológicos.

2. Desarrollo

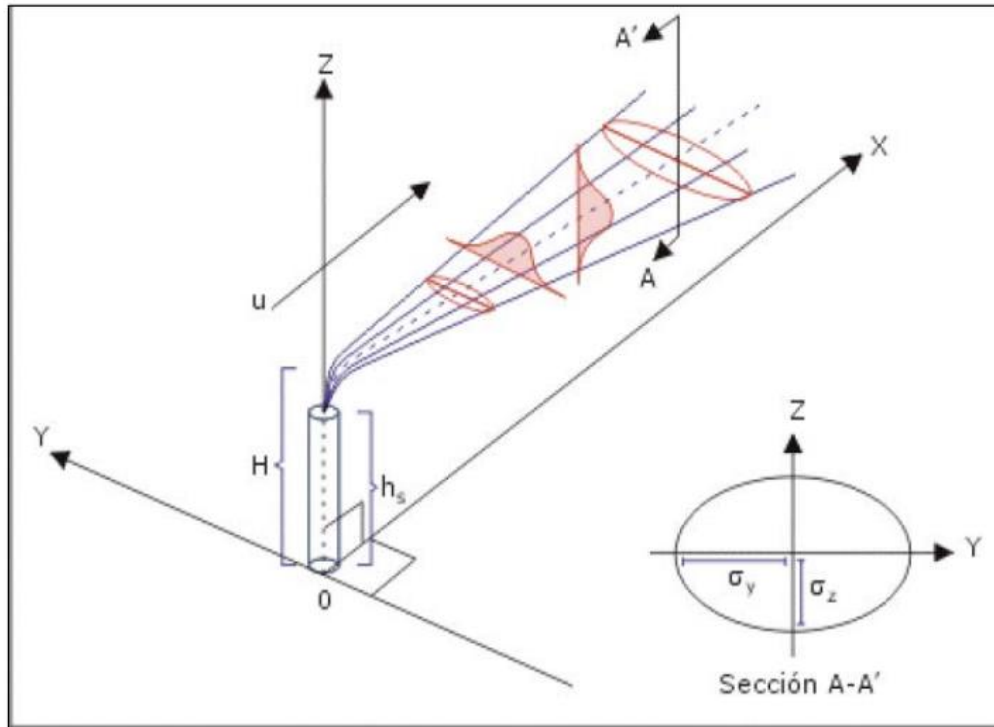
2.1. *Modelo Gaussiano*

El modelo matemático gaussiano analiza la dispersión de contaminantes y su transporte en la atmosfera mediante ecuaciones numéricas donde describe el comportamiento de sustancias químicas o partículas dentro de la pluma (Rojano, Mendoza, Arregoces, & Restrepo, 2016). El modelo de dispersión gaussiano considera que la pluma de contaminantes sigue una distribución perpendicular al movimiento conectivo principal (Manzur, Benzal, & Gonzalez, 2013).

Este modelo es impulsado por datos meteorológicos como; velocidad de viento, dirección del viento y temperatura, por otro lado, el comportamiento de la dispersión será afectado por factores internos y externos (Garreaud & Rutllant, 2006). Cuando estos gases son trasladados y se mezclan con el aire se denominan arrastre y al momento que estos ingresan a la atmosfera tienen un momentum. Debido a que los gases son menos densos que el aire ocasionando un calentamiento de la pluma (Perdiz, 2016).

Al experimentar la combinación de la flotabilidad y la llegada de la sustancia a la atmosfera la pluma se eleva a una altura mayor, ocasionado así una mayor dispersión del contaminante (Perdiz, 2016). Los contaminantes contenidos en una pluma de chimenea se dispersan según el comportamiento de ella, influenciada por factores internos y externos (Cimorelli et al, 2005).

Figura 1 Distribución de la pluma en el eje y, z y x .



Fuente: Distribución de la pluma gaussiana (Perdiz, 2016)

2.2. Aplicación de Matlab

El software MATLAB (MathWorks Cleve Moler) fue desarrollado para la simulación de valores de concentración, utilizando el modelo matemático gaussiano para las diferentes clases de estabilidad de Pasquill. Las opciones adicionales del programa de simulación incluyen la predicción de contaminantes dispersión en el aire desde una fuente puntual continua utilizando el modelo gaussiano (Stockie, 2011).

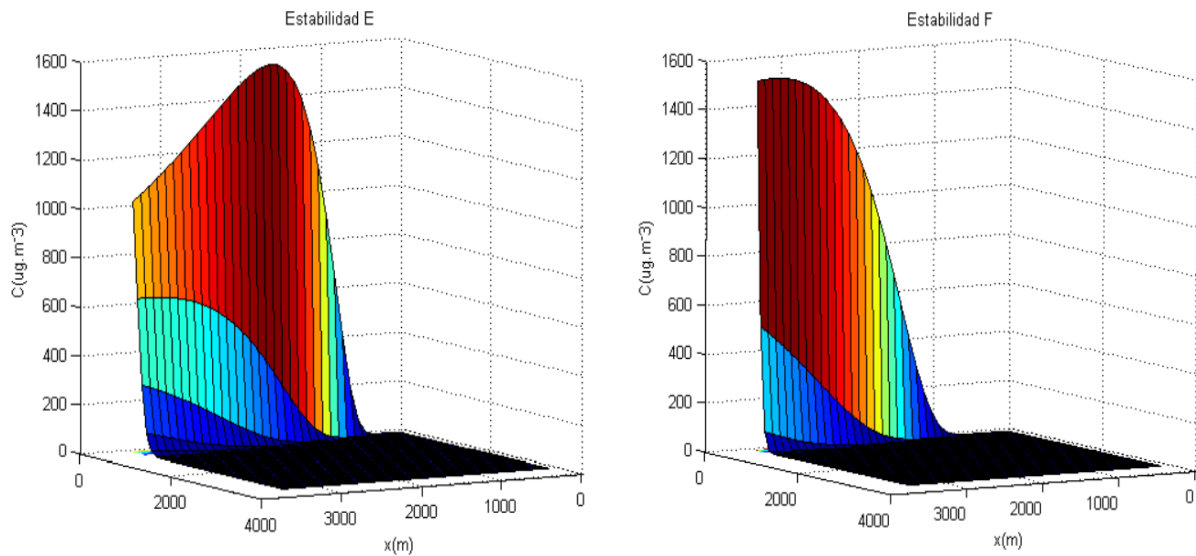
Las variables principales que se utiliza para la simulación de Dispersión de contaminantes con el Matlab son: la velocidad con la que sale el contaminante (Q); altura de emisión de la chimenea(h); la velocidad de viento(u) y algunas variables opcionales que sean necesarios modificar (Perdiz, 2016).

Para realizar la modelación de los contaminantes en el software Matlab se abre 3 script o ventanas en el programa, los cuales deben estar en una sola carpeta.(Stockie, 2011).En el script 1 se pega un código que se puede obtener de la página web MathWord, este código está basado en la mayoría de las ecuaciones que constituye el modelo de gauss, en el script 2 se pone las variables o parámetros principales que ayudara a correr al programa ,así mismo se obtiene la concentraciones de los contaminantes y el script 3 modela los contaminantes, arrojando los gráficos de las concentraciones del script 2 (Perdiz, 2016).

Manzur, Benzal, & Gonzales, (2012) ejecutaron un estudio utilizando comparando el software Matlab con el SCREEN3MODEL para el análisis de Dispersión de contaminantes de los compuestos como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), material particulado (PM) y óxido nitroso (N₂O) para las diferentes estabildades de Pasquill A, B, C, D, E y F que fueron calculados con el modelo matemático de Gauss. Las distancias variaban de 100 m hasta 4000 m del foco emisor para cada estabilidad, con velocidades de viento(u) 2, 4 y 7 m. s-1, un caudal de emisión(Q) 80 g. s-1; una altura de monitoreo(z) 2 m y una altura de emisión de la chimenea(h) 30. Como resultado se obtuvo que a menor distancia del foco emisor la concentración del contaminante será mayor, así mismo se pueden considerar que las simulaciones con el Matlab tuvieron mayor acercamiento que los valores de las concentraciones calculados con SCREEN3MODEL.

Fuente: Modelo de dispersión de contaminantes Atmosféricos (Manzur, Benzal, & Gonzales, 2012)

Figura 2 Estabilidad E y F con una concentración de PM10 1535.1 y 1513.7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y a una distancia 1700 m y 3200 m del foco emisor .



Abusaloua & Sheliq, (2016) mediante el modelo gaussiano desarrollado por el software Matlab realizaron un estudio de análisis de Dispersión de emisión de gas de SO₂ en una chimenea de una planta d energía. Mediante el software Matlab se implementó un conjunto de ecuaciones de (1) a (8). El código para el Matlab fue desarrollado mediante el uso de scripts y funciones integradas para simular el efecto de varios parámetros en emisión. Debido al alto rendimiento de la codificación y la flexibilidad en la representación de la salida del Matlab el modelo de dispersión fue validado para la emisión de gas SO₂ de chimenea (Abusaloua & Sheliq, 2016).

2.3. Aplicación de Aermod

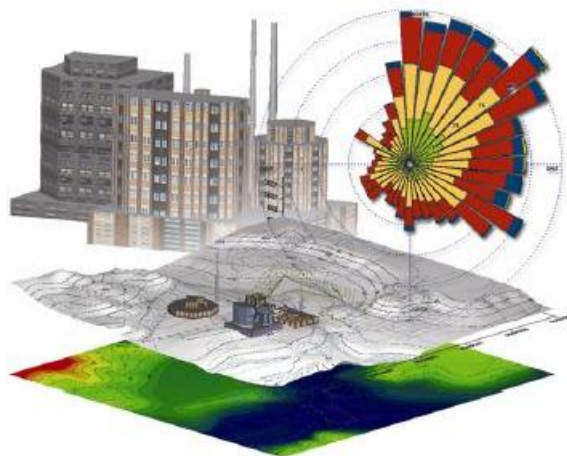
2.3.1. Modelo de dispersión de Aire

El AERMOD (AMS / EPA Regulatory Model) es un modelo creado por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) y American Meteorology Sociedad para fines regulatorios (EPA, 2018). El AERMOD es un modelo de estado estacionario que supone que una columna se dispersa en las direcciones horizontal y vertical, lo que da como resultado una concentración gaussiana (en forma de campana), no rastrea la contribución o el arrastre de plumas de horas anteriores. Por consiguiente, cada hora se dispersa en un penacho en la dirección de la meteorología de la hora en una trayectoria en línea recta. Este método es recomendado por la EPA de EE. UU. Esto para examinar los efectos de las fuentes sobre el receptor que generalmente están dentro 50 km de la fuente de emisión (EPA, 2018). Para ello se requieren dos preprocesadores, AERMAP y AERMET, para ejecutar el AERMOD.

Primero el AERMAP es un preprocesador de terreno que caracteriza el terreno y genera cuadrículas de receptores, receptores discretos y elevación para AERMOD. Tenga en cuenta que, en el AERMOD, cuando se especifican los receptores discretos, es necesario especificar la posición de una fuente con respecto a la cual el receptor es asignado (EPA, 2004). Se utilizan datos de terreno cuadriculados para calcular una altura representativa influenciada por el terreno (h_c), asociado con cada ubicación del receptor, y se usan para calcular la altura de la línea divisoria (EPA, 2004).

Los datos cuadriculados que necesita AERMAP son seleccionados de los datos del Modelo de elevación digital (DEM). La elevación para cada receptor se asigna automáticamente a través del AERMAP. Para cada receptor el AERMAP pasa la siguiente información a AERMOD: la ubicación del receptor (x_r , y_r), su altura por encima del nivel medio del mar (z_r), y el receptor específico escala de altura del terreno (h_c) (EPA, 2004).

Figura 3 Modelo Aermod dispersión de contaminantes mediante fuentes puntuales



Fuente: Aermod View Software de Modelamiento

2.3.2. Recolección de Datos

Los datos de superficie y de aire superior se obtienen de las estaciones cercanas o monitoreos realizados. Se requieren datos Meteorológicos como velocidad del viento por hora, temperatura, cubierta de nube, altura de nube, altura del techo, presión superficial y humedad relativa. En la investigación de (Tunlathorntham & Thepanondh, 2015) se realizaron una simulación con modelos meteorológicos MM5 de Febrero hasta abril del año 2013. Se obtuvieron datos de calidad del aire ambiental de 10 estaciones de monitoreo del Área industrial de Maptaphut de Dióxidos de nitrógeno (NO_2) así como también datos de emisión de dióxido de azufre (SO_2) de la Oficina de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Tailandia. Emisión de una Planta de Separación de Gas, Complejo Industrial RIL y el Rayong Electricity Generating estas empresas también se consideraron en este estudio. Estos datos se obtuvieron de una evaluación del impacto ambiental (informe EIA). Se recomienda tomar los datos de la mayor cantidad de empresas (del área de estudio) que emiten algún tipo de emisión a la atmósfera.

2.3.3. Configuraciones de modelo

La guía del Aermod dada por (EPA, 2018) establece la operación del software predeterminado para las opciones urbanas en coeficiente de dispersión. Concentraciones de contaminantes del aire se calcularon en 1 hora en terreno elevado. Los períodos de datos leídos de los archivos cumplidos comienzan desde la primera hora del 1 de febrero de 2013 hasta las 24 horas del 30 de abril de 2013. Los datos cuadriculados que necesita AERMET fue seleccionado del Modelo de Elevación Digital (DEM) y los datos del terreno se recopilaron durante la Misión de Topografía por Radar Shuttle (SRTM3 /SRTM1).

El sitio de dominio de AERMOD fue diseñado para radio 10 km, resolución de cuadrícula de 200×200 m y cuadrícula exterior espaciamiento de 20×20 km. La superficie se reunió y el perfil datum cumplido utiliza el formato predeterminado de AERMET de Datos meteorológicos preprocesador MM5. Como para datos de emisiones, hubo 292 fuentes puntuales en este estudio.

2.3.4. Evaluación del desempeño

Para la evaluación del modelo del Aermod se recopiló investigaciones que evaluaron la precisión de los modelamientos analizando o comparados con otros softwares.

Tunlathorntham & Thepanondh,(2015) quienes evaluaron el modelo de dispersión de aire AERMOD por su desempeño al predecir NO₂ y SO₂ en el área industrial de Maptaphut en Tailandia. Los datos de emisión se compusieron de 292 fuentes puntuales, ubicadas en el área de estudio. Los resultados modelados se compararon con los datos medidos de 10 sitios receptores. La evaluación del rendimiento del modelo se realizó mediante análisis estadístico. Se descubrió que AERMOD podía proporcionar resultados precisos para NO₂ predicción. El modelo tendía a proporcionar resultados subestimados para SO₂. Cabe señalar que la incertidumbre de las predicciones podría surgir de los cálculos de emisión y el modelado de dispersión. Las incertidumbres de las técnicas de medición en las estaciones, así como la selección inadecuada del sitio para las estaciones, también podrían ser factores importantes para obtener una relevancia relativamente menor entre las predicciones y las mediciones reales. El modelado meteorológico podría ser otra razón para un mal acuerdo entre los valores observados y pronosticados por modelo de dispersión (Elbir et al., 2010)

Jitra, Pinthong, & Thepanondh, (2015) en su estudio evaluaron los modelos de dispersión de aire el Aermod y Calpuff para predecir las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno(NO₂) para los años 2012 y 2013 en el complejo petroquímico de Tailandia. Una vez modelado los resultados se compararon con las concentraciones medidas en la red de monitoreo de calidad del aire en 10 estaciones. Al comparar los resultados de los modelos Aermod y Calpuff, se descubrió que la concentración del contaminante NO₂ simulado eran semejantes a los del monitoreo. Mientras que la predicción de la concentración del contaminante SO₂ no se aproximaron a los del monitoreo, la causa de este resultado habría sido por las bajas concentraciones del SO₂. Los resultados de este estudio indican que hay menos sesgo de las predicciones del Aermod en comparación con el Calpuff. De este estudio se puede concluir que el dispersor Aermod es más apropiado para la gestión de la calidad del aire en esta área industrial que el modelo Calpuff. Aermod ha demostrado la capacidad de proporcionar un modelo adecuado para la conducta del modelado de dispersión de fuentes puntuales en Maptaphut con buena habilidad para estimar las concentraciones de NO₂ y SO₂, donde evaluó ambos modelos para predecir las concentraciones monitoreadas de los contaminantes, la validación se aplicó con diferentes criterios y estadísticas para proporcionar una evaluación integral del desempeño del modelo. Debido a su importancia en las aplicaciones reguladoras, se hizo hincapié en las estadísticas que demuestran la capacidad del modelo para reproducir el extremo superior de la distribución de concentración. Sobre la base de los resultados combinados de la validación de cuatro partes (es decir, el peso de la evidencia), se consideró que el rendimiento de CALPUFF era superior al de AERMOD (Dresser & Huizer,2011).

En la investigación de Faulkner, Shaw, & Grosch,(2008) muestra que el Aermod es sensible a los cambios en albedo, sur-aspeza, velocidad del viento, temperatura y nubes. Es problemático que el nivel de radiación solar no cambia el impacto de las concentraciones predichas por Aermod porque es bien sabido que la radiación solar impacta la estabilidad atmosférica y, por tanto, la dispersión de contaminantes. Aermod resultó particularmente sensible a los cambios en la superficie rugosa Ness cuando los valores estaban por debajo de 0.5 m y la velocidad del viento cuando estaba por debajo de 10 m/seg. La concentración máxima de las predicciones de Aermod e ISCST3 se correlacionaron bien cuando las velocidades del viento excedieron los 5 m/seg, pero divergieron rápidamente a medida que disminuía la velocidad del viento. Los resultados de este trabajo apuntan a la sensibilidad de Aermod a pequeños cambios en la velocidad del viento y la superficie aspeza al predecir la concentración de contaminantes a favor del viento. Según Silva & Arcos, (2011) dice que en situaciones en las que Aermod se usa para disuadir las concentraciones de PM exceden NAAQS en la línea de propiedad de una instalación, los pequeños cambios en estas variables pueden afectar la distancia dentro de la cual se concentra NAAQS el cual superan varios cientos de metros.

3. Conclusiones y Discusiones

Después de revisar la aplicación del modelo Gaussiano en ambos softwares podemos determinar que el software Matlab tiene diversos usos, uno de ellos es el modelamiento de contaminantes atmosféricos donde calcula la concentración de acuerdo a los parámetros. Así mismo el software Matlab tiene un alto rendimiento de codificación y flexibilidad en la presentación de los gráficos de las concentraciones donde la simulación de los valores calculados, tienen mayor aproximación en comparación con otros modelos.

En cuanto al software Aermod podemos determinar que es muy eficaz ya que en los estudios revisados el rango de precisión de la concentración de los contaminantes no está alejado de los monitoreos realizados en la zona, se infiere que varía con los puntos de monitoreo el cambio de los parámetros climáticos como las estabildades de la atmosfera, el Aermod es sensible a estos cambios. Según la Guía de la EPA establece que no es recomendable abarcar más de 50 km de radio de la fuente puntual, para reducir la probabilidad de errores.

A diferencia del Aermod, el Matlab es un software enfocado más a un lado matemático, el cual no quita el valor de la predicción de las concentraciones. En conclusión, podemos decir que los dos softwares realizan simulaciones de concentración de contaminantes de buena calidad utilizando la misma ecuación matemática de gauss, la diferencia más significativa entre estos dos softwares es que el Aermod es especializada en la simulación de contaminantes atmosféricos de chimeneas considerando relieve y edificios, mientras que el Matlab realiza cálculos números.

4. Referencias

- Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., ... Brode, R. W. (2005). AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 682–693. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Dresser, A. L., & Huizer, R. D. (2011). CALPUFF and AERMOD model validation study in the near field: Martins Creek revisited. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 61(6), 647–659. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.6.647>
- Elbir, T., Mangir, N., Kara, M., Simsir, S., Eren, T., & Ozdemir, S. (2010). Development of a GIS-based decision support system for urban air quality management in the city of Istanbul. *Atmospheric Environment*, 44(4), 441–454. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.008>
- EPA. (2018). No Title网空间服务业: 效率、约束及发展前景* ——以体育和文化产业为例. *User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD)*.
- Faulkner, W. B., Shaw, B. W., & Grosch, T. (2008). Sensitivity of two dispersion models (AERMOD and ISCST3) to input parameters for a rural ground-level area source. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 58(10), 1288–1296. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.10.1288>
- Fonseca Hernandez, M. (2013). Estudio del impacto en la calidad del aire de las fuentes puntuales en la ciudad de pinar del río. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(1), 1–12.
- Garreaud, R., & Rutllant, J. (2006). *Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica en Santiago. Capítulo 2. Factores meteorológicos de la Contaminación Atmosférica en Santiago*. 36–53. Retrieved from http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/Libro_CA.pdf
- Jitra, N., Pinthong, N., & Thepanondh, S. (2015). Performance evaluation of AERMOD and CALPUFF air dispersion models in industrial complex area. *Air, Soil and Water Research*, 8(2), 87–95. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S32781>
- Manzur, M., Benzal, M., & Gonzalez, S. (2013). *Modelo de dispersion de contaminantes atmosfericos*.
- Perdiz, J. M. (2016). *Modelado y simulación de la dispersión de contaminantes en la pluma de una chimenea por el*

método de dispersión Gaussiano. 124.

- Rojano, R. E., Mendoza, Y. I., Arregoces, H., & Restrepo, G. M. (2016). Dispersión de Contaminantes del Aire (PM10, NO2, CO, COV y HAP) emitidos desde una estación modular de compresión, tratamiento y medición de gas natural. *Informacion Tecnologica*, 27(5), 99–110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000500012>
- SENAMHI. (2011). *Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011*. 69. Retrieved from www.senamhi.gob.pe/usr/dgia/pdf_dgia_eval2011.pdf
- Silva, A., & Arcos, D. (2011). Aplicación del programa AERMOD para modelar dispersión de PM10 emitido por equipos de calefacción a leña en la ciudad de Constitución. *Obras y Proyectos*, (9), 4–10. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132011000100001>
- Stockie, J. M. (2011). The mathematics of atmospheric dispersion modeling. *SIAM Review*, 53(2), 349–372. <https://doi.org/10.1137/10080991X>
- Tunlathorntham, S., & Thepanondh, S. (2015). A study of AERMOD tiering approach for prediction of nitrogen dioxide in Maptaphut industrial area, Thailand. *Environmental Science and Information Application Technology - Proceedings of the 2014 5th International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, ESIAT 2014*, (November), 229–233. <https://doi.org/10.1201/b18559-39>
- Uribe Díaz, Pedro Celestino; Tito Ferro, Daria; Ochoa Estévez, J. O. (2006). Influencia De Las Calderas Sobre El Medio Ambiente. *Ciencia En Su PC*, (3), 1–13.