UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH

"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS

INFORME FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACION

"MAPA DE CONCENTRACION DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN LA ZONA URBANA DE HUARAZ E INDEPENDENCIA USANDO APROXIMACIÓN DE SUPERFICIES"

INVESTIGADOR RESPONSABLE

Msc. VLADIMIR GIOVANNI RODRIGUEZ SABINO

INVESTIGADORES CORRESPONSABLES

Dr. JESÚS EDILBERTO ESPINOLA GONZALES

Msc. MAXIMILIANO EPIFANIO ASÍS LÓPEZ

ING. MARIO LEYVA COLLAS

Huaraz – Perú

2012

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo central de elaborar un Mapa de concentración de Dióxido de Azufre en la ciudad de Huaraz e Independencia usando interpolación de superficies.

El estudio presenta las principales características climatológicas de la ciudad: Temperatura, dirección del viento, velocidad del viento y brillo solar, las cuales son necesarias para hacer el modelamiento.

Una vez descritas las características, se inicio la determinación del tipo de contaminación, en este caso fuentes móviles, con la cuantificación de la carga contaminante se procedió a la aplicación del modelo de dispersión Gaussiano a nivel del suelo, que permitiera establecer el comportamiento de los contaminantes luego de ser emitidos a la atmósfera y la dirección que toman.

Efectuado el estudio se establece cual es la situación actual en la Ciudad de Huaraz e Independencia en cuanto a la emisión de contaminantes se refiere y su dispersión, por medio de mapas generadas por la aproximación de superficies en el modelo Gaussiano.

Palabras clave: concentración de Dióxido de Azufre; interpolación de superficies; dispersión Gaussiano; fuentes móviles

ABSTRACT

This research was conducted with the main objective to develop maps of sulfur dioxide concentration in the city of Huaraz and Independencia surfaces using approximation.

The study presents the main features of the city weather: temperature, wind direction, wind speed and sunshine, these which are necessary for modeling. Once described the features, start the determination of the type of contamination, in this case mobile sources, with the quantification of the contaminants are proceeded to the implementation of the Gaussian dispersion model to ground level, that would set the behavior of pollutants after being emitted into the atmosphere and the direction they take. Carried out the study establishes what the current situation in the city of Huaraz and Independencia in terms of pollutant emission and dispersion refers, by means of maps generated by the approximation of surfaces in the Gaussian model.

Keywords: Sulfur dioxide concentration; interpolation of surfaces; Gaussian dispersion; mobile sources

1. INTRODUCCIÓN.

La Contaminación Atmosférica se debe a la presencia de materiales indeseables en el aire, en cantidades suficientes como para producir efectos nocivos, en especial daños en la salud humana, la vegetación y el medio ambiente global, así como tornar el aire a 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.

En casos extremos la contaminación del aire puede afectar el cuerpo humano mediante el contacto con la piel, los ojos o el aparato respiratorio; la afectación respiratoria se ha convertido en la forma que mayor daño causa a la salud. Las enfermedades respiratorias de gran importancia en el estudio de los efectos de la contaminación son: la bronquitis, el asma, el enfisema y el cáncer pulmonar. [Wark,1996]

Dividiendo el sistema respiratorio en tres partes: la estructura nasofaringe, el sistema tracto bronquial y los pulmones, se aprecia que si entran por la nariz partículas grandes pueden ser atrapadas por el vello nasal o por la mucosa y expedidas al toser o sonarse; partículas más pequeñas pueden penetrar en el sistema tracto bronquial y ser capturadas por las mucosas y removidas al toser o expectorar; las partículas muy pequeñas pueden entrar hasta los alvéolos pulmonares y permanecer indefinidamente causando irritación o ser expelidas con el aire.

Cuando además de las partículas se respiran gases irritantes como el ozono, óxidos de azufre y nitrógeno, las reacciones en todo el sistema respiratorio se vuelven más

agudas, causando afectaciones considerables a la salud de las personas que entren en contacto con esta clase de ambiente.

De otro lado, la emisión de sustancias a la atmósfera puede llegar a generar problemas de tipo ambiental, como consecuencia del ciclo natural que evidencian: primero se generan por una fuente; luego las condiciones naturales de la superficie terrestre favorecen la mezcla de los mismos; seguidamente se presenta una dispersión o distribución en la atmósfera debido a las masas de aire circundantes; posteriormente a causa de una permanencia en el ambiente pueden sufrir una serie de transformaciones químicas antes de retornar a la superficie, proceso que se presenta por deposición seca o húmeda, incorporándose en este último caso en el agua de lluvia.

La acumulación de los gases en la atmósfera genera el denominado smog, causando disminución de la visibilidad, al alterar la transparencia natural de esta y tornarla de un color pardo, generando afectaciones en los ojos, la garganta, el pecho y, en ocasiones, deteriorando la vegetación natural.

Conocer los tipos de contaminantes, las fuentes de contaminación y la dispersión de los contaminantes, es la etapa inicial que le 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 ciudades de Huaras e Independencia, su potencial de emisión y el lugar hacia donde tienden.

Con esto, los futuros procesos de desarrollo urbanístico tendrán presente estas condiciones, y encontrarán en ellas una herramienta fundamental, para no incurrir en las omisiones o más bien en el desconocimiento actual de la problemática ambiental.

El crecimiento poblacional e industrial, que genera diferentes clases de contaminantes, está obligando a la población a respirar cada día un aire con unas concentraciones de gases y partículas cada vez más dañinas para la salud, ya que cuando no se presenta una adecuada dispersión de los contaminantes en determinado sitio se genera una constante acumulación de estos.

Con el crecimiento poblacional e industrial y la insuficiente conciencia ambiental se están generalizando una serie de problemas que de no tratarse con interés, nos llevará a circunstancias irreversibles que en la actualidad ya se presentan como:

1. Cambio climático global debido al efecto invernadero, producido por los gases traza (CO_2, SO_2 CH_4, entre otros).

2. Reducción de la capa de ozono, como consecuencia de las reacciones que generan productos químicos que contienen cloro, flúor y carbono y que se utilizan como refrigerantes, propulsores de aerosoles, disolventes de limpieza y en la fabricación de espumas. Los cuales constituyen una de las principales causas del agotamiento del ozono, ya que facilitan la penetración de los rayos ultra violeta a la superficie terrestre, que como es sabido por todos producen cáncer en la piel, cataratas, y pueden llegar a destruir las células vegetales y animales.

3. Con los cambios de temperatura se modifican los paisajes y por ende se alteran los cultivos agrícolas y ganaderos, lo que conlleva a un cambio en el proceso de generación de alimentos.

Es así como para la ciudad de Huaraz e Independencia se hace necesario conocer realmente cuáles son sus principales fuentes de contaminación, cuál es la carga potencial contaminante de ellas y de que 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 y que puedan prestar los mismos servicios que los productos contaminantes empleados en la actualidad.

Actualmente, en el área de estudio, la contaminación atmosférica es generada por fuentes móviles, el cual es una de las manifestaciones del proceso complejo del crecimiento urbano, que desde varios años se viene observando en la ciudad; debido principalmente al crecimiento económico, los cuales 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 edición, análisis de datos y simulación, además de aplicar conocimientos sobre los procesos físicos y químicos que intervienen el mismo.

En la ciudad de Huaraz e independencia la principal fuente de contaminación es principalmente dada por el parque automotor (fuentes móviles), pues no se cuenta con zonas industriales, (fuentes fijas).

Una base importante en el control eficiente de la contaminación es el conocimiento sobre su dinámica y distribución de los contaminantes en distintas épocas del año. Por ello es importante aplicar metodologías para estimar la concentración de contaminantes generadas por fuentes móviles, entre ellos el dióxido de azufre, y de esta manera generar modelos que simulen su dinámica y permitan hacer pronósticos sobre la calidad del aire.

En este trabajo se hace el estudio del modelo de dispersión Gaussiano, para determinar la dispersión del dióxido de Azufre, ocasionado por el parque automotor en la ciudad de Huaraz e independencia, los cuales se representarán, para su mejor análisis, en mapas de concentración generados por la interpolación de superficies, realizando un programa en un software adecuado. Para lo cual se tendrá en cuenta los factores ambientales, como son: dirección del viento, velocidad del viento, la estabilidad atmosférica, temperatura, radiación solar.

Por lo anterior, en esta investigación se enlazaron, en un modelo de dispersión, los componentes que juegan un papel importante en modelos de calidad del aire, aplicado al caso de fuentes móviles, como son la meteorología actuante, la química atmosférica y las emisiones de gases (dióxido de azufre) para obtener de forma aproximada la concentración de contaminantes sobre las zonas de mayor tráfico vehicular en las zonas urbanas de Huaraz e Independencia.

2. HIPÓTESIS:

Usando mapas por medio de aproximación de superficies es posible determinar las concentraciones de Dióxido de Azufre distribuidas en la zona urbana de la ciudad de Huaraz e Independencia.

3. MARCO TEÓRICO

5.1 Antecedentes.

El ser humano a través de la historia ha buscado su desarrollo descuidado su entorno natural, no ha incorporado la cultura del cuidado y protección de su lugar de residencia y aprovisionamiento de servicios como lo es el planeta tierra.

El aire como recurso natural no ha escapado del descuido ocasionado por el hombre. Pareciera que no es importante para el beneficio de la sociedad, debido a que siempre se dispone de él; pero con el transcurrir del tiempo y el avance tecnológico, lentamente ha sufrido cambios, obligando hoy en día al ser humano a cuestionarse sobre su conservación.

A continuación citaremos algunos ejemplos particulares de la afectación atmosférica desde los tiempos remotos hasta nuestros días. [NEBEL, 1999]

- El caso de lo sucedido en Inglaterra en el año de 1272, cuando una nube de humo cubrió los cielos de Londres como consecuencia del uso excesivo de carbón marítimo (denominado así, debido a que se transportaba por vía marítima); esto obligó a reglamentar y restringir el uso del carbón.

- Otros casos de importancia debido al grado de contaminación de la atmósfera se han evidenciado en: Londres que sufrió un cubrimiento de su

atmósfera en el año de 1873, causando la muerte de 268 personas por bronquitis;

- la región industrializada del Valle del Meuse en Bélgica, en el año de 1930 fue cubierta por una espesa niebla durante tres días, generando la muerte a 60 personas;

- El área de Manchester y Salford en Inglaterra, en enero de 1931 igualmente fue cubierta por una espesa niebla durante 9 días, ocasionando la muerte a 592 personas;

- En Donnora Pensilvania, donde se encontraban instaladas plantas químicas y acerías, en el año de 1948 fue cubierta durante 4 días por una neblina, que produjo la muerte de 20 personas y enfermó la mitad de sus pobladores (7.000).

- Seis años más tarde, en Londres, Inglaterra, una inversión térmica, en combinación con la humedad del ambiente y el hollín producido por la combustión del carbón, mató por asfixia a cientos de personas y hospitalizó a miles más y una década después las personas que habían estado en este episodio, evidenciaron una tasa más alta de enfermedad y morían antes que el promedio de todos los habitantes;

- Londres nuevamente en el año de 1952 sufre durante 4 días la neblina, que ocasionó la muerte a más de 4.000 personas, fenómeno que se repitió en - el año de 1956, generando la muerte a 1.000 personas;

Estos acontecimientos obligaron al parlamento Inglés ha imponer una Ley de Aire Puro. Es así como Gran Bretaña inicia un programa para reducir la combustión de carbón bituminoso. ([Wark, 1999], pág. 67).

Los problemas de contaminación atmosférica son debidos al aumento progresivo de la población (según un informe de las Naciones Unidas, se considera que para el año 2002 existían alrededor de 6.000 millones de personas y que para el año 2025 la población será de 8.500 millones), que generan una disminución en la fracción de espacio disponible para cada persona; a los avances tecnológicos en especial en el campo, obligando a la población a desplazarse hacia las zonas urbanas, que representan alrededor del 1% del área de la tierra y albergan en la actualidad a las dos terceras partes de la población mundial, concentrando así las actividades desarrolladas y en especial las productivas (se generaron los sectores industriales), para satisfacer las necesidades de la población, ocasionando un alto consumo energético; es así como una población creciente asociada a un alto nivel de vida ha ocasionado una sobreproducción y concentración de contaminantes en la atmósfera, que por la dinámica del planeta no ha sido posible regular en su totalidad, generando un paulatino, pero continuo desequilibrio de la atmósfera terrestre, al incrementarse los desechos y no efectuarse algún mecanismo de mitigación. [NEBEL, 1999]

Este fenómeno es consecuencia de un pasado reciente en el cual la industria, la agricultura y los productores individuales, no tenían una conciencia ambiental, y por ende consideraron que era más benéfico y económico descargar los contaminantes a la atmósfera que efectuar un control o tratamiento, ya que el contaminador no sufría las consecuencias de su contaminación, pues el contaminante por lo general es

transportado por las corrientes de viento a lugares muy distantes del lugar donde fueron generados. . [NEBEL, 1999]

Los cambios en la concepción del mundo por parte de sus moradores, han dado lugar a una cultura ambiental, que lentamente empieza a producir sus frutos, ya que la población cada día se encuentra más interesada en conocer y dar solución a los problemas de contaminación ambiental, razón por la cual la contaminación del aire empieza a considerarse un problema público y colectivo de interés primordial.

Esta nueva conciencia es la que está generando procesos de análisis de las causas del deterioro presentado y de las alternativas que se pueden implementar para tratar de eliminarlas. Para el caso de la contaminación atmosférica el determinar la cantidad de contaminantes atmosféricos lanzados a la atmósfera y establecer cuál es su distribución final ha sido una constante preocupación de organizaciones como: Environmental Protection Agency, Council Environmental Quality y el Parlamento Europeo. [STRAUSS, 1995]

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se unieron en 1992 para publicar su Urban Air Pollution in the Megacities of the World (Contaminación del aire urbano en las megaciudades del mundo), un estudio que incluía a 20 de las 24 megaciudades del mundo. Al analizar el caso particular de la contaminación en la Ciudad de Buenos Aires, se señala que la información del área es extremadamente pobre y que no existía una red de monitoreo apropiada para la medición del nivel de gases contaminantes. Señaló que la situación es crítica y alertó sobre la falta de un estudio apropiado de los gases contaminantes.

A raíz de este informe, en Argentina se crea el Plan Aire Limpio para la Fundación Argentina Siglo 21, con el cual se inició el proceso de medición continua de monóxido de carbono (CO), con un equipo aprobado por la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos; la calibración del equipo y su puesta a punto se realizó en el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía "INQUIMAE". La estación fue ubicada en Talcahuano al 400, una cuadra de calle y veredas angostas con edificación alta e intenso flujo vehicular.

En general, se pudo concluir que la concentración de CO esta directamente relacionada con los cambios de densidad del tránsito que se suceden a lo largo del día; el descanso nocturno es suficiente para borrar la contaminación registrada el día anterior. Esta fue la primera estación automática de monitoreo continuo de un contaminante atmosférico en Argentina. [Buitrago, 2003]

En 1995, cuando una disposición restringió la entrada de automotores al centro de la ciudad según su número de placa, la contaminación dejó de subir por unos meses, aunque no llegó a bajar; después, el ascenso no cesó. Ese año, los valores promedio fueron aún mayores debido a las temperaturas cálidas y las abundantes lluvias, que agudizaron el problema al formarse en la ciudad una especie de casquete que impedía la dispersión de los contaminantes hacia las capas altas de la atmósfera (Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

El año 1996, ya que no se tenía conocimiento de las emisiones reales de las fuentes móviles, ni una certeza de las condiciones meteorológicas de las ciudades de Guatemala y San Salvador, se estableció un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos (NOx) para fuentes móviles, con apoyo de la Fundación Suiza de

Cooperación para el Desarrollo Técnico (Swisscontact), llamada Programa Aire Puro, cuyo objetivo principal era mejorar la calidad del aire en las áreas urbanas de Centro América, para lo cual adquirieron el programa de nominado ImmProg (Suizo), que es una modificación al modelo Gaussiano de dispersión, programa que se basa en factores de emisión atmosférica; con esto se inició un proceso que dio mayor interés a las mediciones de las condiciones atmosféricas y a la cuantificación de las emisiones de las diferentes fuentes de emisión.

La aplicación del modelo en la ciudad de Guatemala estableció que era necesaria una correlación entre la red de monitoreo y los requisitos para su aplicación; que se reglamentara la revisión de emisiones vehiculares, la renovación completa de la flota del transporte público urbano y la restricción de la importación de vehículos usados (Dispersión de la contaminación atmosférica causada por el tráfico vehicular "Aplicación de un modelo matemático para Guatemala Ciudad y San Salvador". [BLASER, 2000]

De otro lado, Gustavo Adolfo Olivares Pino en su tesis de grado "Dispersión regional de **óxidos de azufre** en Chile Central" reporta que el desarrollo económico que Chile ha experimentado desde los años 80 ha tenido y tiene efectos sobre la calidad del aire en variadas escalas. La zona central de Chile catalogada como: Regiones V, VI y Metropolitana, concentra cerca del 50% de la población y congrega más del 60% de la actividad productiva del país. Los problemas de contaminación atmosférica requieren numerosas herramientas para su evaluación. Los modelos de dispersión son una de estas herramientas. Este estudio constituye el primer esfuerzo

en Chile por implementar un sistema de modelación de escala regional, esto es, para problemas que se extienden cientos de kilómetros viento debajo de las fuentes.

En el marco de un proyecto de cooperación entre la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y el Instituto de Meteorología e Hidrología de Suecia (SMHI), se implementó el modelo de dispersión MATCH (Multi-scale Atmospheric Transport and Chemistry) para una zona de 200 x 200 Km^2 centrada en Santiago (33,5ºS, 70,8ºW, 500 msnm).

Para la implementación de este modelo se recopiló la información disponible de emisiones y observaciones de concentraciones atmosféricas de óxidos de azufre, entendido como **dióxido de azufre (SO2)** y sulfato (SO4) en las regiones V, VI y Metropolitana. La información meteorológica necesaria para la ejecución del modelo de dispersión fue proporcionada por el modelo de pronóstico del tiempo HIRLAM (High Resolution Limited Area Model). Para la implementación y evaluación del sistema de modelación se escogieron seis períodos de un mes cada uno durante los años 1997, 1998 y 1999. Estos períodos cubren una amplia gama de situaciones meteorológicas incluyendo episodios de contaminación asociados a bajas costeras y años donde se presentaron los fenómenos del Niño y La Niña. Se realizaron estimaciones de la dispersión regional y de flujos de deposición de **óxidos de azufre** en Chile Central. Además, se estimó la contribución relativa de las grandes fundiciones de cobre a la calidad del aire en Chile Central en cuanto a óxidos de azufre.

También se efectuó un balance de óxidos de azufre para el dominio de modelación. El sistema de modelación fue capaz de reproducir los principales gradientes de concentraciones observados de SO2 en Chile Central. El modelo reprodujo también

las concentraciones observadas y su variación estacional e interanual, sobre una base de promedios mensuales. Las concentraciones diarias de SO2 fueron asimismo reproducidas por el modelo para la estación de Parque O'Higgins en la zona centro de Santiago.

De acuerdo con los resultados del modelo de dispersión, las emisiones de las fundiciones dominan el contenido de azufre total tanto en las zonas rurales como por encima de la capa de mezcla. Además, durante períodos de episodios de contaminación asociados a bajas costeras, se estableció que la fundición de Caletones, ubicada unos 150 Km al sur de Santiago, contribuía con el 50% del azufre total a la atmósfera. En términos de sulfato, el modelo entregó resultados consistentes con las mediciones realizadas durante los inviernos de 1998 y 1999. El principal reservorio de azufre en la zona corresponde al SO2 con un 90% del contenido atmosférico de **óxidos de azufre** en el dominio. El mecanismo de remoción más relevante fue la deposición seca siendo cinco veces más importante que la deposición húmeda. Con la información entregada por el modelo y con aquella proveniente de una evaluación de riesgo agrícola, se propuso una red de monitoreo de la calidad del aire con cobertura regional en Chile Central. Una continuación de este trabajo, que incluye la evaluación de la red propuesta, se está llevando a cabo por parte de CONAMA a través del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) desde Abril de 2001. [Olivares, 2001]

En Perú el estudio de calidad del aire no ha tenido el interés suficiente por parte del estado y de las organizaciones ambientales; sólo se conocen estimativos de emisiones globales y casos puntuales de análisis local, principalmente en las ciudades de Lima

y Callao y en compañías y fábricas, como las de minería, que poseen estaciones de monitoreo ambiental casi permanentes. Entre ellos tenemos:

- Modelamiento de dispersión de la calidad del aire para el estudio de riesgos para la salud humana. complejo metalúrgico la oroya, 2005.
- Diagnóstico de las emisiones del parque automotor del área metropolitana de lima y callao, XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental, Aída Figari Bello.

- Programa Regional de Aire Limpio (PRAL)Componente: Medidas Técnicas de Monitoreo de la calidad del aire en Arequipa, Cusco, Trujillo y Chiclayo, Adrián Montalvo, 2006.

5.2 Dióxido de azufre (SO2)

5.2.1 Definición y Características

Es un gas incoloro de olor característico, constituido por un átomo de azufre y dos átomos de oxígeno en su estructura molecular.

Denominaciones:

Nombre registrado: Dióxido de azufre.

Nombre químico: Dióxido de azufre.

Sinónimos o nombres comerciales: óxido de azufre (IV), dióxido de azufre, anhídrido sulfuroso, ácido sulfuroso.

Aspecto general: Gas incoloro, no inflamable, penetrante, con olor a azufre en combustión; en dilución, tiene olor a vinagre.

Fórmula empírica: SO2.

Masa molecular relativa: 64,06 g.

Densidad: 1,46 g/cm3 a -10°C (líquido); 2,93 g/l a 20°C (gas).

Densidad relativa del gas: 2,26.

Punto de ebullición: -10°C.

Punto de fusión: -75,5°C.

Umbral de olor: 0,3-1 ppm (en el aire).

5.2.2 Fuentes de emisión del SO2

El dióxido de azufre se origina por la combustión o proceso de combustibles que contienen azufre (diesel) y la fundición de minerales ricos en sulfatos. Se genera principalmente por la industria (incluyendo las termoeléctricas), seguido de los vehículos automotores.

En la mayoría de las ciudades del primer y tercer mundo, la carga contaminante que más fuertemente impacta a la atmósfera proviene de las llamadas fuentes móviles o vehiculares. Se estima que las fuentes móviles representan del 60 al 80 por ciento de la producción total de contaminantes que llegan a la atmósfera.

Las emisiones contaminantes que arrojan los vehículos son el resultado de la ausencia o inoperancia de tecnologías de control en los sistemas de almacenamiento y alimentación de combustible, provocando ineficiencia energética, combustión incompleta y fugas por evaporación del combustible. Son también factores determinantes en este problema, la calidad y cantidad consumida de combustible y el mantenimiento del

vehículo. El volumen y concentración de contaminantes está relacionado también a las condiciones geográficas y topográficas de las ciudades y el nivel de desarrollo industrial.

Los compuestos que contienen azufre están presentes en la atmósfera natural no contaminada. Estas sustancias provienen de la descomposición bacteriana de la materia orgánica, de los gases volcánicos y otras fuentes. Sin embargo, su contribución en el balance total de SO2 resulta muy pequeña en comparación con las producidas en los centros urbanos e industriales como resultado de las actividades humanas. La permanencia media de SO2 en la atmósfera es de algunos días, y depende de la rapidez con la cual se convierta en ácido sulfúrico (H2SO4) por absorción de humedad (H2O) y en partículas de sulfatos por acción de la radiación solar. Las concentraciones altas de SO2, se registran en un radio menor a 20 Km de la fuente de emisión. [OROZCO,2008].

5.2.3 Medición de SO2.

Las mediciones de dióxido de azufre se realiza en partes por millón (ppm), esta unidad de medición es utilizada para conocer concentraciones diminutas de elementos presentes por unidad de volumen. También se miden por microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$).

Para la conversión se usa la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{\mu g/m^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{peso molecular}}{24.5}(10^3)} \qquad (1)$$

Donde el peso molecular del dióxido de Azufre es 64.0 $\boldsymbol{\mu g}$.

Las técnicas para determinar la concentración de dióxido de azufre son diversas. En algunos casos se realizan mediciones continuas y permanentes mediante equipo automático que opera con base en las propiedades fisicoquímicas que identifican a cada contaminante. Los registros de concentraciones de dióxido de azufre se obtienen cada minuto y se procesan como promedios horarios para su disposición al público en forma de Base de Datos. Con esta información se elabora y difunde oportunamente el Índice de la Calidad del Aire para informar a la población sobre las condiciones de calidad del aire.

5.2.4 Efectos al Medio Ambiente y a la Salud

Ningún otro contaminante ha sido tan intensamente estudiado como los dióxidos de azufre; no obstante, son muchas las preguntas que quedan sin respuesta concernientes a los efectos del dióxido de Azufre sobre la salud. Como los dióxidos de Azufre tienden a presentarse en los mismos tipos de atmósfera contaminada con partículas y la alta humedad relativa, pocos estudios epidemiológicos han sido capaces de diferenciar adecuadamente los efectos de los contaminantes. El SO2 atmosférico puede oxidarse a SO3 por diferentes medios y reaccionar con la humedad del entorno (H2O) para producir partículas se ácido sulfúrico (H2SO4), las cuales se dispersan en el ambiente en forma de lluvia, llovizna, niebla, nieve y rocío dando origen a un proceso de acidificación de la tierra y cuerpos de agua.

En altas concentraciones el dióxido de azufre puede ocasionar dificultad para respirar, humedad excesiva en las mucosas de las conjuntivas, irritación severa en vías respiratorias e incluso al interior de los pulmones por formación de partículas de ácido sulfúrico, ocasionando vulnerabilidad en las defensas.

El dióxido de azufre es causante de enfermedades respiratorias como bronco constricción, bronquitis y traqueítis, pudiendo llegar a causar bronco espasmos en personas sensibles como los asmáticos, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes y la muerte; si bien los efectos señalados dependen en gran medida de la sensibilidad de cada individuo, los grupos de la población más sensibles al dióxido de azufre incluye a los niños y ancianos, a los asmáticos y con enfermedades pulmonares crónicas ver Tabla 01.

La combinación de óxidos de azufre y partículas suspendidas actúan sinérgicamente produciendo un efecto combinado mucho más nocivo que el efecto individual de cada uno de ellos por separado. Experimentos realizados en animales expuestos a concentraciones de SO2 de 9 a 50 ppm, muestran cambios morfológicos y funcionales permanentes similares a los que presenta la bronquitis crónica. La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 100 a 150 $\mu g/m^3$ promedio de 24 horas, y de 40 a 60 $\mu g/m^3$ en una media aritmética anual. [WARK, 1996].

Tabla 01-a. Efectos Tóxicos del SO2 para el Hombre

Concentración	Efectos
0.03 ppm, promedio anual	Normas para la calidad del aire de 1974, lesiones crónicas en plantas.
0.037-0.092 ppm, media anual	Puede haber acompañadas partículas a una concentración de 185 $\mu g/m^3$, un aumento en la frecuencia de síntomas respiratorios y enfermedades respiratorias.
0.11-0.19 ppm, media en 24 horas	Con un bajo nivel de partículas puede haber un aumento en la admisión de personas de edad mayor en los hospitales, debido a trastornos respiratorios. Aumento en la tasa de corrosión de los metales
0.19 ppm, media en 24 horas	Puede haber un aumento en la mortalidad con bajos niveles de partículas
0.25 ppm, media en 24 horas	Pude haber un aumento en la tasa diaria de mortalidad, acompañada por partículas a una concentración de 750 $\mu g/m^3$.
0.3 ppm, 8 horas	Algunos árboles muestran lesiones
0.52 ppm, promedio en 24 horas	Puede haber un aumento en la mortalidad, acompañado por la presencia de partículas; puede ocurrir aumento en tasa de mortalidad

Fuente: Resumen de datos presentados en Air Quality Criteria for Sulfur Oxides de la National Air Pollution Control Administración. USA D.C., 1970

5.2.5 Estándares Nacionales e internacionales de la calidad del aire.

Según el reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire para Perú, se tiene los siguientes estándares para gases contaminantes:

Tabla 01-b

Contaminantes	**Periodo**	**Forma del Estándar**	
		Valor(µg/m^3)	**Formato**
Dióxido de Azufre	Anual	80	Media Aritmética anual
	24 horas	365	NE más de una vez al año
PM- 10	Anual	60	Media Aritmética anual
	24 horas	150	NE más de una vez al año
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio movil
Dióxido de Nitrogeno	1 hora	30000	NE más de una vez al año
	Anual	100	Promedio aritmético anual
Ozono	1 hora	200	NE más de 24 veces/ año
	8 horas	120	NE más de 24 veces/ año
Plomo	Mensual	1,5	NE más de 4 veces/ año
NE: No exceder			

Fuente: Consejo nacional del ambiente-Perú (CONAM). Reglamento de estándares nacionales de calidad del aire. 2001.

5.3 MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.

Los modelos de dispersión no son nada diferente a un grupo de ecuaciones matemáticas que sirven para interpretar y predecir la distribución de los contaminantes, expresada en concentraciones, como consecuencia de la dispersión y el impacto de las plumas que las generan. Los modelos integran aspectos fundamentales como las condiciones meteorológicas, y factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad atmosférica y la topografía.

Esto significa que su objetivo es estimar la concentración del contaminante en un punto particular del receptor, los cálculos necesarios requieren la información básica de la fuente del contaminante y de condiciones meteorológicas.

Así mismo, los diferentes modelos existentes para tener una aproximación de la concentración de un agente contaminante están basados en un balance de materia que se resume en la siguiente ecuación:

Tasa de Acumulación = todos los lujos que entran – Todos los flujos que salen + tasa de generación – tasa de destrucción (2)

Dichas ecuaciones matemáticas sirven para interpretar y predecir la distribución de los contaminantes, expresada en concentraciones, como consecuencia de la dispersión de una fuente de contaminación (plumas) que las generan.

Los modelos de dispersión son válidos principalmente para la capa de la atmósfera más cercana al suelo o capa límite, zona de la atmósfera que entra en contacto con la superficie terrestre hasta una altura del orden de 1.000 m, ya que allí tienen mayor injerencia las dos variables principales para la dispersión

de las plumas o columnas de humo que salen de las fuentes de contaminación como son la temperatura y la distribución de los vientos; ambas tienen sus variaciones más significativas a unos cuantos metros por encima de la superficie terrestre; se estima que la temperatura en esta capa desciende un promedio 6,5 ºC cada 1.000 m de elevación.

Para aplicar un modelo de dispersión es importante considerar que la tendencia de los gases a difundirse es muy variable. A veces un contaminante viaja grandes distancias sin difundirse (potencia de difusión débil), mientras en otras ocasiones puede llegar a difundirse casi desde la misma fuente (potencia de difusión fuerte).

El modelo matemático para calcular la dispersión de los contaminantes en una zona determinada, deberá predecir con certeza las concentraciones que resultarían de cualquier conjunto especificado de emisiones de contaminantes durante un tiempo establecido, de acuerdo a las condiciones meteorológicas existentes y a su localización, siempre y cuando no se realicen simplificaciones a la realidad, es decir se tenga conocimiento completo de todos los parámetros a considerar Existen varios modelos para determinar la concentración de los contaminantes en el aire, los cuales son en diferentes variaciones simplificaciones de la realidad, lo que permite establecer que los modelos presentan un grado de inexactitud, pero que igualmente pueden llegar a ser útiles para una aproximación inicial. [BUITRAGO, 2003].

La capacidad de pronosticar concentraciones ambientales de contaminantes en áreas urbanas, sobre la base de la dispersión procedente de fuentes dentro de la región es esencial si se han de alcanzar y mantener las normas de la calidad del aire ambiental, a pesar de un futuro crecimiento industrial y residencial. Por tanto, por tanto es necesario desarrollar modelos matemáticos para estimar la dispersión de los contaminantes desde fuentes bajas y elevadas, ya sea solas o en grupos, a fin de simular el proceso atmosférico. [WARK, 1996].

5.3.1. Clasificación de los modelos para estimar concentración de contaminantes.

Existen diferentes tipos de modelos para evaluación de contaminantes, se diferencian entre sí por su aplicabilidad, los datos que se deben conocer y por las limitaciones de cada uno; así como su fundamento matemático. Dichos modelos se pueden clasificar como:

A. Modelo de celda Fija:

La aplicación de este modelo requiere de una serie de suposiciones que faciliten la utilización de la información existente como: presentar la ciudad como una caja rectangular, en la cual uno de los lados es paralelo a la dirección del viento; la mezcla completa de los contaminantes se produce a una altura determinada y no existe probabilidad de mezclado a alturas mayores; la concentración de los contaminantes es uniforme en el volumen de aire que está sobre la ciudad, y no a más altura, en el lado de la dirección del viento y en el lado en contra; la dirección del viento es constante e independiente del tiempo, lugar o elevación por encima del suelo; la concentración del contaminante que

entra a la ciudad es constante; la salida de los contaminantes sólo se da por la parte que es paralela a la dirección del viento y nunca por la parte superior.

Las hipótesis anteriores indican que los flujos y los índices de emisiones son independientes del tiempo, por lo que el estudio se convierte en una situación de estado estacionario en la que nada cambia con el tiempo. [ARZATE, 2004]

La figura 1 muestra la dirección de los ejes coordenados y las dimensiones de la celda:

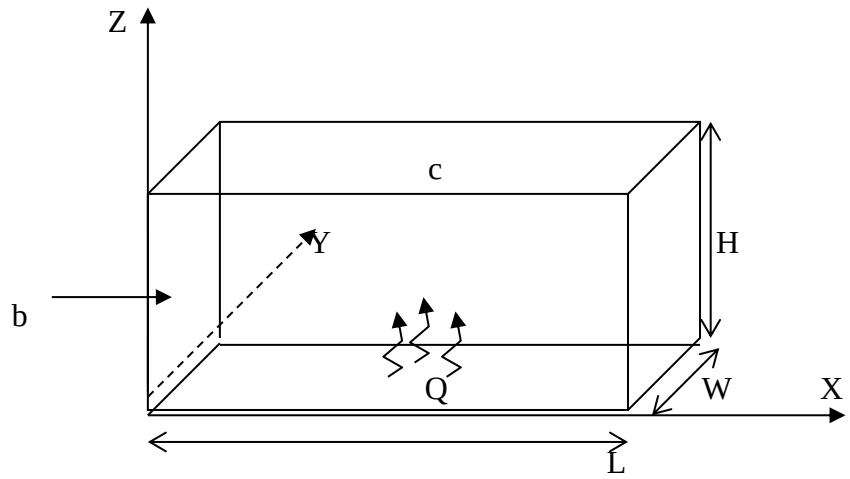


Fig. 01 Diagrama de Celda Fija. [ARZATE, 2004]

Para obtener una expresión matemática adecuada se requiere sustituir los términos adecuados al balance de materia; el primer término correspondiente a la tasa de acumulación es igual a cero ya que se considera un estado estacionario, además se tiene dos flujos que entran a la celda fija, el primero se refiere al flujo que ingresa en el lado de la ciudad contrario al viento y se genera del producto uWHb; a su vez uWH es el volumen del aire que atraviesa a contracorriente la frontera del sistema por unidad de tiempo. El segundo flujo de contaminantes es el emitido por la celda

fija hacia la frontera inferior del sistema: Q=qWL. Por otro lado, como se menciono ya en la hipótesis del modelo, la concentración total en la caja (celda) es igual a c, y el único lado en el cual es posible la salida del contaminante es el que se encuentra en el mismo lado del viento; se concluye que el flujo de saliente esta expresado por: uWHc. Finalmente se obtiene la ecuación:

$$c = b + \frac{qL}{uH} \qquad (3)$$

Para determinar el promedio anual de un contaminante en específico se realiza una distribución de frecuencias:

Promedio anual de la concentración = Σ(concentración para una condición meteorológica)(frecuencia con la que se presenta la condición meteorológica)

Hipótesis del modelo:

- La ciudad es un rectángulo de dimensiones W y L; uno de sus lados debe estar paralelo a la dirección del viento.
- La turbulencia atmosférica permite que exista un mezclado total de los contaminantes hasta una altura de mezclado H; sin embargo arriba de esta altura no es posible dicho mezclado.
- El viento sopla en dirección del eje X y con una velocidad u constante; esta última no es afectada por el tiempo, ubicación o elevación por encima del suelo.
- En la entrada de la celda (x=0), el contaminante tiene una concentración constante y se denota como b.

- La tasa de emisión del agente contaminante (Q) se expresa en g/s, se obtiene multiplicando la emisión por unidad de área (q) por el área de la celda fija: Q = q*A; además este valor no cambia respecto al tiempo.
- Las sustancias dañinas para el aire no entran ni salen por medio de los lados paralelos a la dirección del viento, ni por el lado superior de la celda.
- El agente contaminante cuenta con una vida media tal que su tasa de destrucción es despreciable e igual a cero.

Las desventajas del modelo de celda fija son:

- No distingue entre un gran número de pequeñas fuentes que emiten contaminantes a bajas elevaciones, llamadas fuentes de área; y pequeño número de grandes fuentes de contaminación que emiten contaminantes a elevaciones considerables, llamadas fuentes puntuales.
- El inconveniente que surge con la hipótesis de mezclado uniforme dentro de una celda fija, ya que esta es una situación irreal.

B. Modelo de Dispersión Gaussiano.

Los modelos gaussianos de dispersión atmosférica emplean la ecuación de distribución gaussiana y son ampliamente usados para estimar el impacto de contaminantes no reactivos, ya que tratan de simular el comportamiento en conjunto de las plumas emitidas desde fuentes a una altura de la chimenea determinada.

También se conocen como modelos de difusión y su base radica en la distribución probabilística Gaussiana en donde una variable x está normalmente distribuida si la función de densidad f(x) cumple que:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \qquad (4)$$

Donde σ es mayor que cero y es la desviación normal. Gráficamente el valor de f(x) es la altura vertical sobre el eje horizontal; μ indica la ubicación de un valor máximo de la función sobre el eje X, además, la curva es simétrica respecto a la posición de μ; asimismo, otra característica importante de esta curva e que el área bajo la curva es igual a uno; por lo que el valor de σ hace que dicha curva sea más ancha o estrecha con la condición de que el valor del área sea siempre la unidad.

En el caso específico del modelo de dispersión de contaminantes cuenta con una doble distribución gaussiana, en las direcciones de los ejes coordenados Y e Z, lo que se busca es simular el comportamiento de una o varias plumas emitidas desde una fuente (ya sea al nivel del piso o a la altura de cuna chimenea), la expresión matemática de este tipo de distribución es la siguiente:

$$f(y,z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[\frac{-(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-\mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \qquad (5)$$

Dicho modelo será estudiado en la sección siguiente a más detalle.

C. Modelo Numérico:

Los modelos numéricos usan ecuaciones matemáticas y algoritmos para formular los conceptos científicos básicos de los procesos físicos y químicos que ocurren en la atmósfera. Generalmente se emplean para modelar fuentes de área en ubicaciones urbanas que incluyen contaminantes reactivos, requieren de información extremadamente detallada sobre la fuente y los contaminantes; son poco utilizados, por su altos costo y tiempo.

D. Modelos estadísticos:

Los modelos estadísticos se emplean cuando la información científica sobre los procesos químicos o físicos de una fuente están incompletas o son vagas; es decir depende del análisis estadístico de datos empíricos para predecir el comportamiento de contaminantes.

E. Modelos físicos:

Los modelos físicos requieren estudios del modelo del fluido o en túneles aerodinámicos del viento. La adopción de este enfoque implica la elaboración de modelas en escala y la observación del flujo de estos. Este tipo de modelos es muy complejo y requiere asesoría técnica de expertos; sin embargo, en el caso de áreas con terrenos complejos y condiciones del flujo también complejas, flujos descendentes de la chimenea, y edificios altos, esta puede ser la mejor opción. (Manual de auto instrucción "conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación de aire" que publica el centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS).

De los modelos de dispersión existentes, el Gaussiano es el más usado, ya que la ecuación establecida para calcular la distribución y variación de las concentraciones de contaminantes que se encuentran distantes de la fuente de emisión, emplea cálculos relativamente simples, en los cuales básicamente se requieren los parámetros de dispersión (σ_y e σ_z)

Para poder aplicar el modelo de dispersión de contaminantes se debe incluir la siguiente información:

- Determinación de la estabilidad atmosférica.
- Temperatura ambiente de la ciudad.
- Cálculo de las frecuencias en los rangos de velocidad y la dirección del viento.
- Régimen de lluvias
- Radiación solar (brillo solar) predominantes.
- Concentración de contaminantes en la ciudad de Huaraz e Independencia

5.4. METEOROLOGÍA.

5.4.1. Brillo o Radiación solar.

Condiciones para la Intensidad:

Mayormente se da radiación solar fuerte cuando los cielos se encuentran despejados (sin nubes) y la altitud del sol es mayor de 60º sobre el horizonte, fenómeno que se presenta entre las 10:00 a.m. y las 2:00 p.m (4 horas), radiación solar moderada cuando la altitud del sol se encuentra entre 35 y 60º es decir de 8:20 a 10:00 a.m y de 2:00 a 3:40 p.m (para un total de 3 horas y 20 minutos), y radicación solar débil para altitudes entre 0 y 35º, circunstancia que se da entre las 6:00 y las 8:20 a.m y entre las 3:40 y 6:00 pm- (para un total de 4 horas y 40 minutos), [CRQ, 1997].

Como la radiación solar sólo se da durante 12 horas en el día, en el año (365 días) representan un total de 4.380 horas, de acuerdo a estas consideraciones, en la tabla 2 se relaciona el nivel de radiación solar que se puede presentar en cualquier lugar del trópico.

Tabla 02. Niveles de Radiación Solar según frecuencia diaria

RADIACIÓN SOLAR	FRECUENCIA DIARIA (HORAS/DIA)	PORCENTAJE
Fuerte	4,00	16,67
Moderada	3,33	13,88
Débil	4,67	19,46
Noche	12,00	50,00

Fuente: Plan de gestión del recurso atmosférico, [CRQ 1997].

Las unidades de radiación solar se expresan en cal/cm² (Langleys) o en kWh/m², donde 1 cal/cm² = 0,0116 kWh/m².

La nubosidad se mide en octavos, lo cual significa lo siguiente:

0/8 ---------- Cielo despejado

4/8---------- La mitad del cielo cubierto

8/8---------- Cielo totalmente cubierto

No siempre se dispone de datos de radiación solar, por ello, según la cantidad y altura de las nubes y el ángulo de elevación solar, se puede calcular el nivel de radiación solar incidente, de acuerdo al cuadro siguiente

Tabla 3: Nivel de radiación solar incidente en función de la nubosidad

Nubosidad	**Ángulo de elevación solar (α)**		
	60° < α	**35° < α ≤ 60°**	**15° < α ≤ 35°**
Nubosidad ≤ 4/8 o Nubosidad a más de 4.800 m	Radiación fuerte	Radiación moderada	Radiación débil
5/8≤ Nubosidad ≤ 7/8 y Nubosidad entre 2.100 y 4.800 m	Radiación moderada	Radiación débil	Radiación débil
5/8≤ Nubosidad ≤ 7/8 y Nubosidad debajo de 2.100 m	Radiación débil	Radiación débil	Radiación débil

Fuente: De Nevers, N. 2000. Air Pollution Control Engineering. New York: McGraw-Hill

5.4.2. Los vientos.

El conocimiento del régimen de vientos en un sector es importante, ya que puede indicarnos de donde provienen y hacia donde se dirigen los contaminantes inmersos en las corrientes de aire, generados por las diferentes fuentes (en nuestro caso principalmente en el parque automotor) tales corrientes están influenciados por las características locales como cordilleras, cuencas hidrográficas, valles y barreras artificiales (edificios, etc). [BUITRAGO, 2003]

El viento puede definirse como la componente horizontal del aire en movimiento; el aire se mueve por la diferencia de temperatura entre los polos y el ecuador o entre las masas continentales y las masas de agua.

Es uno de los dos parámetros meteorológicos más importantes para el análisis de los efectos de dispersión de contaminantes en la atmósfera, se caracteriza principalmente por los siguientes aspectos:

Dirección y velocidad del viento

El viento es una magnitud vectorial tridimensional con fluctuaciones aleatorias de pequeña escala en el espacio y en el tiempo y como tal debe caracterizarse por dos cantidades escalares: la dirección y la velocidad. La dirección del viento se puede medir en nudos o grados sexagesimales tomando como referencia el meridiano geográfico de la estación; se miden los ángulos a partir del norte geográfico y en el sentido de las manecillas del reloj. La velocidad se expresa en metros por segundo. La mejor manera de medir el viento en superficie es utilizar una veleta y un anemómetro. Se debe considerar calma cuando el

promedio de velocidad del viento es inferior a un nudo. En este caso, la dirección se fija en 00. Así, el norte no será 00 sino 360. [WARK, 1996]

Rosa de vientos.

En el presente trabajo se emplea la rosa de vientos compuesta, el cual es un método gráfico que consiste en representar conjuntamente las distribuciones de frecuencias de la dirección y la velocidad del viento. Las direcciones se agrupan en ocho (8) clases y las velocidades se discriminan en intervalos. Cada Rosa de Vientos consta de cuatro partes:

- Un círculo central dentro del cual se indica la frecuencia relativa de las calmas observadas.
- Un haz de rectas que parten del círculo central y que representan las diferentes clases de dirección del viento.
- Una serie de círculos concéntricos que señalan la escala métrica de las frecuencias relativas en porcentajes de 20% cada uno.
- Las convenciones con los diferentes intervalos de velocidades.

La información de cada rosa de viento muestra la Frecuencia de ocurrencia de los vientos en 16 sectores de dirección, ver tabla 4, y en clases de velocidad del viento para una localidad y un periodo de tiempo dado.

Tabla 4. Dirección de vientos y simbología usada en los datos meteorológicos.

Simbolo	**Dirección**	**Grados**
NNE	Norte Noreste	22.50º
NE	Noreste	45.00º
ENE	Este Noreste	67.50º
E	Este	90.00º
ESE	Este Sudeste	112.50º
SE	Sudeste	135.00º
SSE	Sur Sudeste	157.00º

S	Sur	180.00º
SSO	Sur Sudoestes	202.50º
SO	Sudoeste	225.00º
OSO	Oeste Sudoeste	247.50º
O	Oeste	270.00º
ONO	Oeste Noroeste	292.50º
NO	Noroeste	315.00º
NNO	Norte Noroeste	337.50º
N	Norte	360.00º / 0º

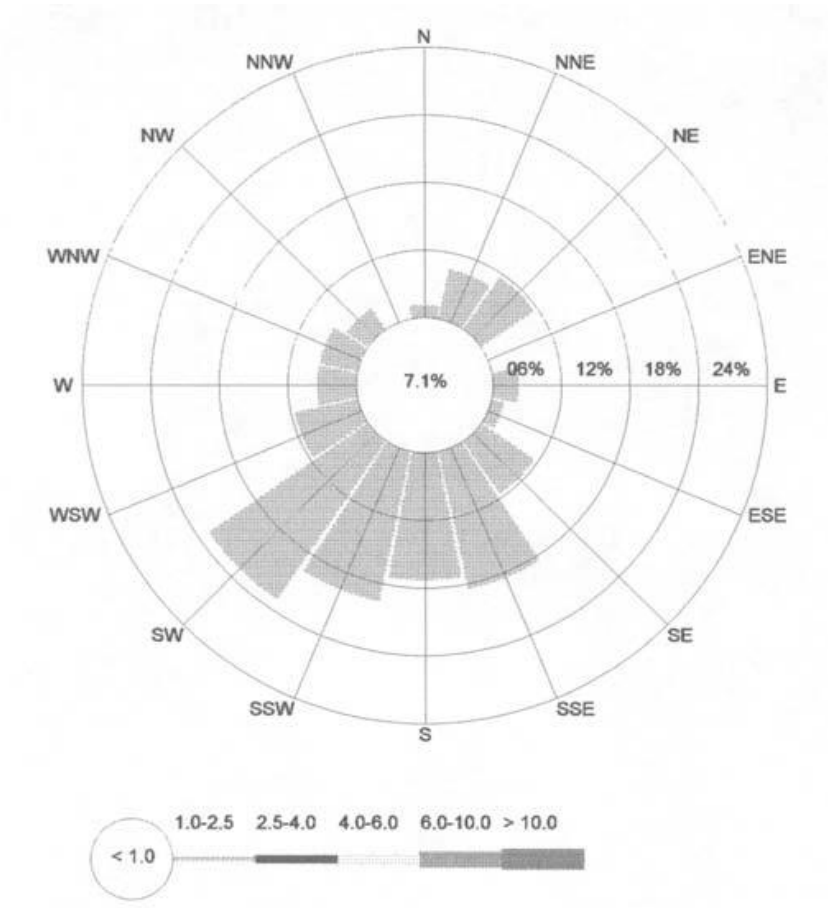


Fig. 02 Ejemplo de Rosa de Vientos

5.4.3. Estabilidad Atmosférica.

Es necesario conocer el grado de estabilidad de la atmósfera si se desea estimar la capacidad de la atmósfera para dispersar los contaminantes que recibe de las fuentes producidas por el hombre. Se define una atmósfera estable como aquella que no muestra mucho mezclado o movimiento verticales. De aquí resulta que los contaminantes emitidos cerca de la superficie del suelo tienden a permanecer ahí. [WARK, 1996]

Mediante la estabilidad atmosférica se determina el nivel de dispersión de los contaminantes en el aire; es decir, cómo influyen las fuerzas que actúan sobre el desplazamiento de un contaminante analizado. Se pueden presentar tres situaciones diferentes de acuerdo al comportamiento, estos son:

- Si las fuerzas que actúan hacen que el contaminante se desplace de su posición inicial pero al cabo de un tiempo retorne a su lugar, se determina que existe equilibrio estable.
- Si las fuerzas hacen que el contaminante se aleje en forma acelerada de su posición inicial, se dice que el equilibrio de la atmósfera es inestable.
- Si las fuerzas son nulas y el contaminante no puede continuar su alejamiento o retornar a su posición inicial se estima que existe un equilibrio neutro o equilibrio indiferente.

Como se mencionó, la atmósfera puede ser estable, neutra, o inestable. Sin embargo, para estimar la dispersión y los propósitos del modelo, estos niveles de estabilidad se clasifican en seis clases basadas en: **cinco** categorías de velocidad del viento superficial, **tres** tipos de insolación diurna y **dos** tipos de nubosidad nocturna.

A: Muy inestable.

B : Moderadamente inestable.

C : Levemente inestable.

D : Neutral

E : Levemente estable

F : Estable

Determinación de la estabilidad atmosférica:

Para determinar la clase o clases de estabilidad atmosférica que se presentan en un lugar determinado, **Pasquill- Gifford**, elaboraron una clasificación, en la cual se asume que la estabilidad atmosférica en las capas próximas de la superficie terrestre depende de la radiación solar neta como una incidencia de las fuerzas convectivas y de la velocidad del viento como una resultante de las fuerzas mecánicas.

Tabla 03. Categorías de estabilidad de Pasquill

Velocidad del Viento	**Día**			**Noche**	
	Radiación solar				
m/s	**Fuerte**	**Moderada**	**Débil**	**Nublado**	**Despejado**
< 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: Wark and Warner. Contaminación del aire origen y control, 1999.

Una vez determinadas la direcciones y la velocidad del viento para el lugar de análisis y conocida la radiación solar horaria que se presenta en la zona, se efectúa una correlación de dichos datos con base en la matriz de categorías de estabilidad, y se establece cuál o cuáles son las condiciones de estabilidad atmosféricas existentes en la zona. Para cielos totalmente cubiertos, tanto para el día como para la noche, debe asumirse clase de estabilidad D

5.5. MODELO DE DISPERSIÓN GAUSSIANO

5.5.1. Modelo de difusión turbulenta.

El enfoque más completo de la teoría del transporte se basa en el modelo de difusión turbulenta, que implica a su vez el concepto de "longitud de mezclado". Esto constituye el punto inicial más simple en el desarrollo de una modelo para la dispersión atmosférica. La ecuación básica de este modelo es muy compleja, pero haciendo simplificaciones se puede reducir a la forma:

$$\frac{dC}{dt} = K_{xx}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right) + K_{yy}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}\right) + K_{zz}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right) \qquad (6)$$

Donde:

C es la concentración,

t es el tiempo,

K_{ii} son los coeficientes de difusión turbulenta en la dirección de los ejes de coordenadas.

Esta ecuación se conoce como la ecuación de difusión de Fick.

Sin embargo, este resultado es de difícil aplicación, por lo que se llevan a cabo las siguientes suposiciones adicionales:

- La concentración del contaminante emana de una fuente puntual continua.

- El proceso es de estado estacionario, esto es, $\frac{dC}{dt} = 0$

- Se escoge la dirección principal de transporte debida al viento, para que vaya a lo largo del eje de las x.

- Se selecciona la velocidad del viento u, para que sea constante en cualquier punto del sistema de coordenadas x, y, z.

- El transporte de contaminación debido al viento en la dirección x predomina sobre la difusión descendente. Esto es, $u\frac{dC}{dx} \gg K_{xx}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right)$

Con lo que la ecuación de Fick queda como sigue:

$$u\frac{dC}{dt} = K_{yy}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}\right) + K_{zz}\left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right) \qquad (7)$$

Donde $K_{yy} \neq K_{zz}$

La solución de esta ecuación debe cumplir también las siguientes condiciones de frontera:

- C → ∞ cuando x → 0. Es decir una gran concentración en la fuente puntual.

- C → 0, cuando x, y, z → ∞. Es decir, la concentración es cero a una gran distancia.

- $K_{zz}(\partial C/\partial z) \to 0$ cuando z → 0. No hay difusión en la superficie.

- $\int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty u.C(x,y,z).dy.dz = Q$ para $x > 0$ La tasa de transporte del contaminante en la dirección del viento es constante e igual a la tasa de emisión Q del contaminante de la fuente. [Wark, 1999]

Lowry y Boubel dan la siguiente solución aproximada para la ecuación (7):

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{4\pi r(K_{yy}K_{zz})^{1/2}} exp\left[\frac{-u}{4x}\left(\frac{y^2}{K_{yy}} + \frac{z^2}{K_{zz}}\right)\right] \qquad (8)$$

Donde $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

Desafortunadamente, la ecuación (8) muestra falencias en las concentraciones al nivel del suelo. Pues, a lo largo de la línea de centro, la ecuación (8) se reduce a:

$$C(x, 0,0) = \frac{Q}{4\pi x (K_{yy} K_{zz})^{1/2}}$$

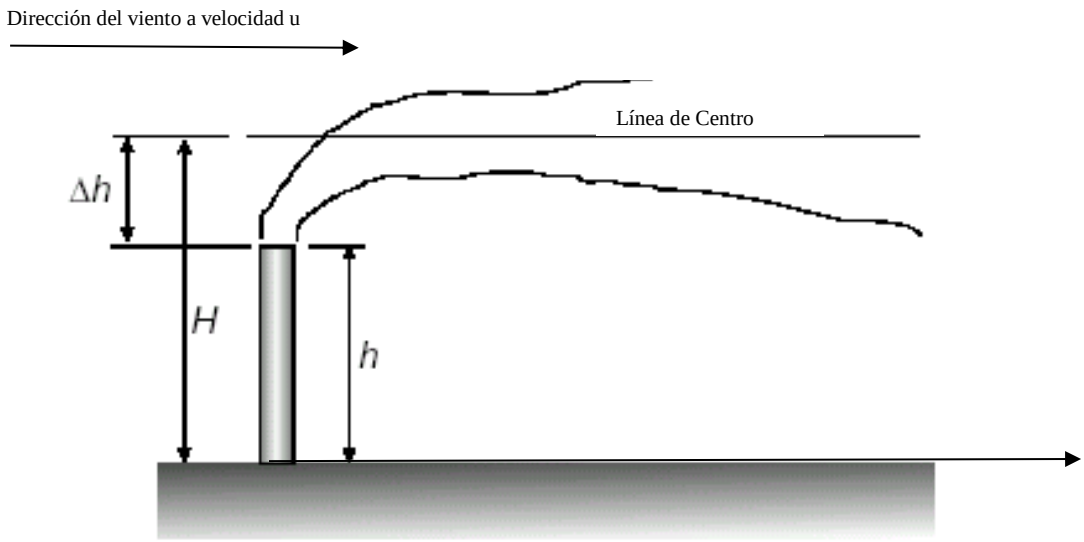
Lo cual indica que el valor de *C* a nivel del suelo y a lo largo de la línea de centro de la pluma es inversamente proporcional a x e independiente de la velocidad del viento, u. Las observaciones experimentales indican que C es inversamente proporcional a $ux^{1.76}$. Se sigue buscando soluciones mejoradas para el modelo de difusión turbulenta, a fin de perfeccionar la ecuación (8), la cual indica que a lo largo de la línea de centro, la concentración decae exponencialmente tanto en la dirección y como en la z. Matemáticamente esto significa que C en la dirección transversal al viento y en la vertical, puede estar distribuido "normalmente". Además, la disminución del valor de C en la dirección x depende mucho de los valores de K_{yy} e K_{zz}. Por tanto, cualquier otro modelo deberá mostrar también una gran dependencia en los coeficientes de difusión. Es así que surge el modelo Gaussiano con mucha aceptación en la actualidad. Dicha ecuación muestra la distribución normal que se sugiere en la ecuación (8). Y si requiere amplia información, de una manera indirecta, sobre los coeficientes de difusión de masa en las direcciones y e z. [Wark, 1999]

5.5.2. Modelo Gaussiano de dispersión.

Distribución Gaussiana o Normal:

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 por el esquema de la fig. 03.

ALTURA EFECTIVA DE LA CHIMENEA



$$H = h + \Delta h$$

Fig. 03. Modelo de Dispersión con la fuente virtual a una altura, H, de la chimenea

A pesar de que la pluma tiene su origen a una altura h de la chimenea, se eleva una altura adicional Δh, debido a la capacidad de flotación de los gases calientes y a la cantidad de movimiento de los gases que salen verticalmente de la chimenea A una velocidad Vs. Por tanto, y con fines prácticos, la pluma aparece como si se originara a una altura $H = \Delta h + h$.

Algunas hipotesis utilizadas en los modelos gaussianos:

- Emisión continua y constante, al menos durante un tiempo igual o mayor que el tiempo necesario para que el contaminantes 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. Por ejemplo si un contaminante tarda en llegar una hora a un receptor, la concentración dada por la ecuación de Gauss es el valor medio de la concentración en al menos esa hora. Obviamente, la fuente debe de haber estado emitiendo durante esa hora.
- 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
- No hay cizalla vertical del viento. Esta hipótesis es difícil que se cumpla. En la práctica se emplea el viento a 10 m para fuentes cercanas al suelo (altura del punto de emisión menor que 10 m) o la altura efectiva del penacho en el momento de la emisión.
- Viento lo suficientemente elevado para que la difusión turbulenta en la dirección media del viento sea menor que la advección en dicha dirección.
- Las difusibilidades son constantes de masa, D_x,D_y e D_z en las respectivas direcciones de los ejes coordenados.

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

$$C(x,y,z) = \frac{K}{x} exp\left[\frac{-u}{4x}\left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right)\right] \qquad (9)$$

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:

Para una fuente puntual, la expresión apropiada para K es:

$$K = \frac{Q}{2\pi(D_y D_z)^{1/2}} \qquad (10)$$

Donde Q es la fuerza de la fuente de emisión, es decir, a masa emitida por unidad de tiempo. Al sustituir la ecuación (10) en la ecuación (9) se encuentra que la concentración de un contaminante emitido de una fuente puntual a nivel del suelo está dado por la expresión:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi x(D_y D_z)^{1/2}} exp\left[\frac{-u}{4x}\left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right)\right] \qquad (11)$$

Esta ecuación tiene el formato de la distribución Gaussiana doble o normal, como sucede que para una fuente a nivel del suelola 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:

$$f(y,z) = \frac{1}{2\pi\delta_y\delta_z} exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\delta_y^2} + \frac{z^2}{2\delta_z^2}\right)\right] \qquad (12)$$

Reacomodando la ecuación (11) en una forma similar a la ecuación (12), se establece las siguientes definiciones a fin de poder efectuar dicha transformación:

$$\delta_y^2 \equiv \frac{2D_y x}{u}, \delta_z^2 \equiv \frac{2D_z x}{u} \qquad (13)$$

Dicha sustitución en la ecuación (11), lleva a la siguiente relación para la concentración a favor del viento desde una fuente puntual a nivel del suelo:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi u \delta_y \delta_z} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\delta_y^2} + \frac{z^2}{\delta_z^2}\right)\right] \qquad (14)$$

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, estan en m.

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

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

Como se mencionó anteriormente, los principios básicos de este modelo son los más utilizados para describir el movimiento de los contaminantes en la atmófera. Supone que la contaminación se produce "vientos abajo" de acuerdo a la dirección del viento (eje x), la que es contante y continua, y que se produce a partir de una fuente puntual que emite en forma continua un flujo de contaminantes denotado con la letra "Q". Por otro lado, el modelo supone que el contaminante estudiado no es reactivo.

La distribución de contaminantes es tal que puede ser representada por una distribución gaussiana en el eje z e y, donde la mayor concentración se produce en el eje del penacho tal como lo muestra la Fig. 4. Hay que notar, que los coeficientes de dispersión en el sentido z e y no son los mismos, en ambas direcciones existe una distribución gaussiana pero su dispersión cambia.

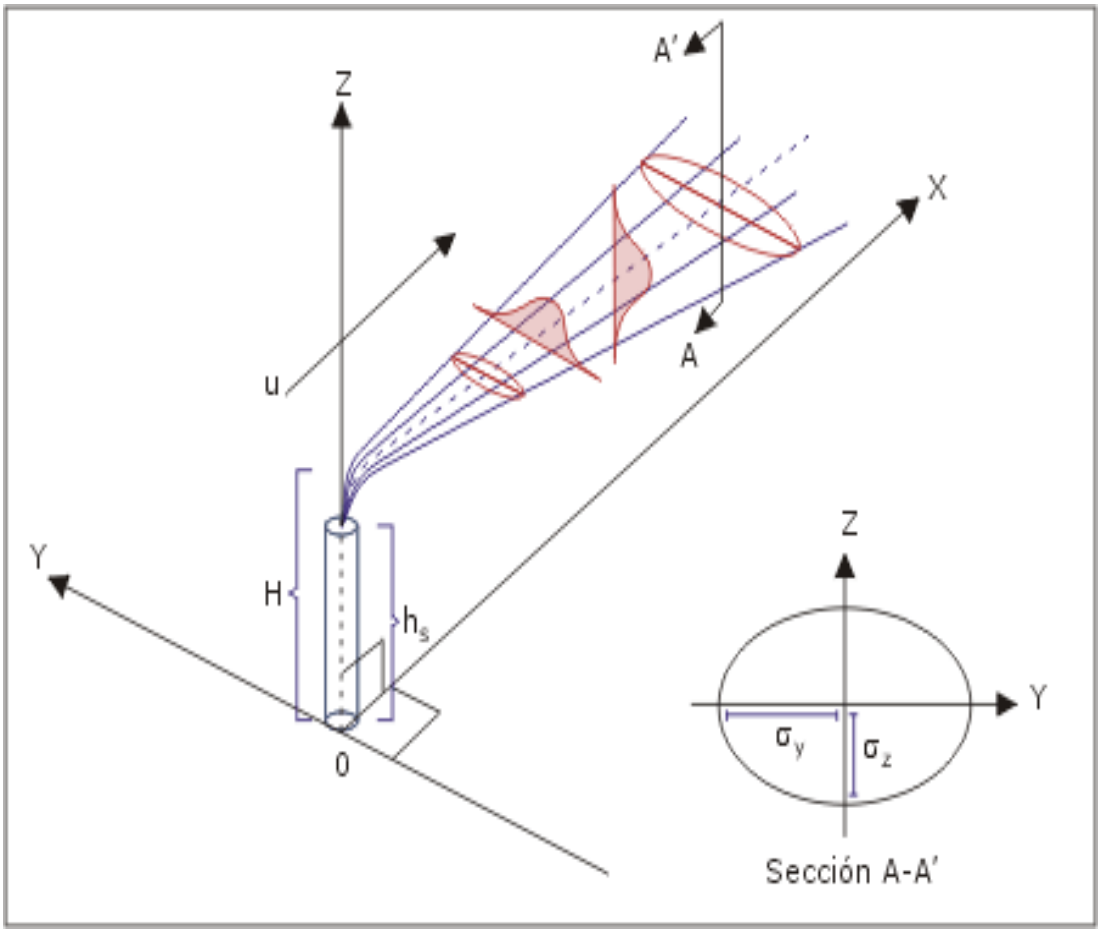


Fig. 4. Distribución Gaussiana en la dirección del viento

Los parámetros de dispersión se determinan una vez que se ha definido el nivel de turbulencia de la atmósfera. Este nivel de turbulencia define la capacidad de la atmósfera para diluir más o menos la contaminación que está siendo generada por una fuente puntual en un momento dado. Para definir el nivel de turbulencia, lo que se hace en la práctica es trabajar con la "estabilidad" de la atmósfera a través de un concepto cualitativo denominado "categorías de estabilidad". El concepto más utilizado son las categorías de estabilidad de Pasquill. [Wark, 1999]

Una vez definida la categoría de estabilidad se determinan los parámetros de dispersión, los cuales también dependen de la distancia a la fuente emisora. En

resumen estos parámetros dependen de dos aspectos básicos, que son los mismos en ambos casos pero la función es distinta:

σ_x = f(distancia a la fuente emisora, categoría de estabilidad de la atmósfera)

σ_z = g(distancia a la fuente emisora, categoría de estabilidad de la atmósfera)

Para el cálculo de los coeficientes de dispersión, se tiene varios modelos, entre ellos tenemos:

Según Turner, clasifico los valores de los coeficientes, tanto en el eje x e z, según loas seis categorías de estabilidad atmosférica, los cuales se resumen en las fig. 5 y fig. 6, dichas correlaciones se basan en las restricciones siguientes:

- Las concentraciones estimadas con el uso de estas gráficas orresponden a un tiempo de muestreo de 10 min.
- Los coeficientes horizontales y verticales se basan en una representación del terreno como si fuera un campo abierto.
- Las concentraciones estimadas representan aproximadamente sólo los cientos de metros más abajo.

Según Turner, advierte en el indicado sobre las líneas punteadas sobre la mayor parte del rango de la gráfica δ_z, los valores de este son más dudosos. Esto resulta especialmente cierto para distancia más de 1 Km en la dirección del viento. [Wark, 1999]

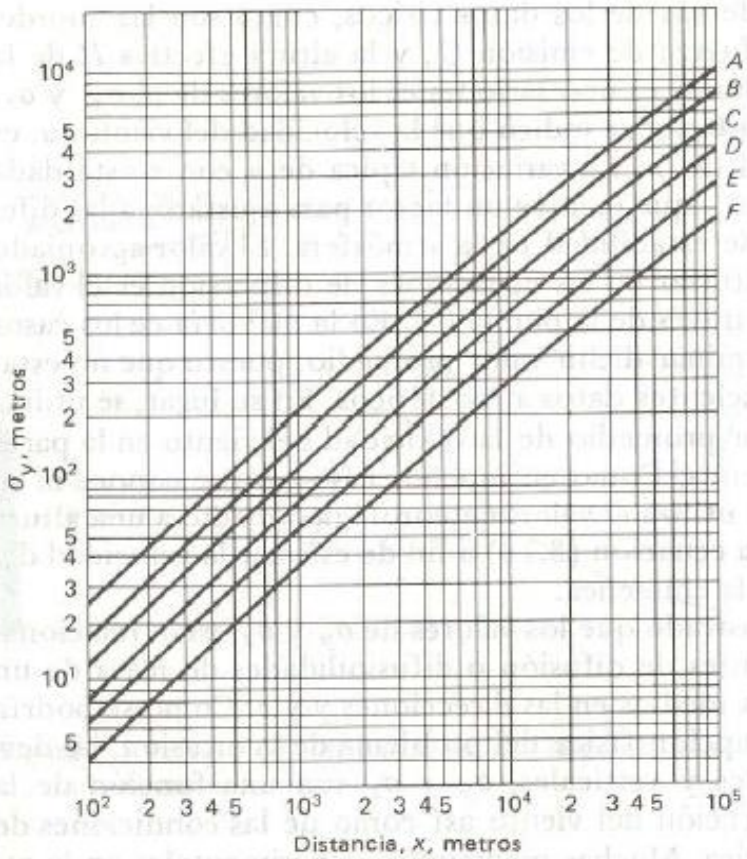


Fig. 5. Desviación normal, δ_y, en la dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento. (Fuente: D.B. Turner Work – Book of Atmospheric dispersión Estimates, Washington DC, 1969)

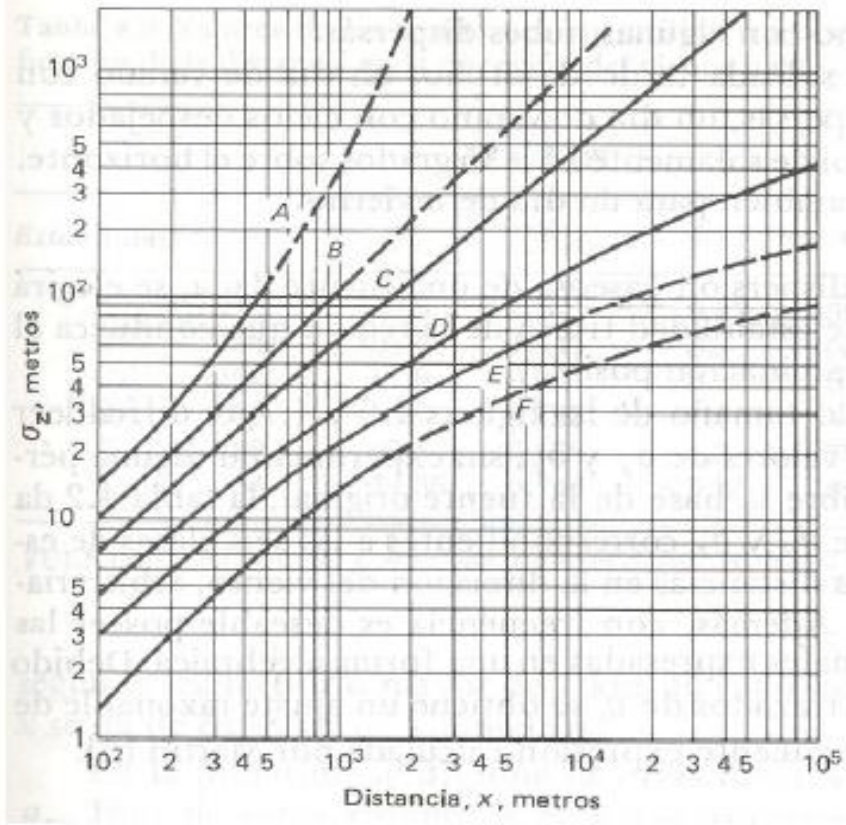


Fig. 6. Desviación normal, δ_z, en la dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento. (Fuente: D.B. Turner Work – Book of Atmospheric dispersión Estimates, Washington DC, 1969)

Ajustando razonablemente, las curvas mostradas en los gráficos, se puede tener una expresión algebraica de la siguiente manera:

$$\sigma_y = ax^b \qquad (15)$$

$$\sigma_z = cx^d + f$$

Donde b=0.894, y los valores de las demás constantes se obtienen de la tabla 4. Los cuales dependen de la estabilidad atmosférica, donde x se expresa en Km.

Tabla 4. Valores de las constantes por utilizar en la ecuación (15) como una función de la distancia en la dirección del viento y de la condición de estabilidad atmosférica

Estabilidad		x≤ 1 Km.			x≥1Km.		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440,8	1,941	9,27	459,7	2,094	-9,6
B	156	106,6	1,149	3,3	108,2	1,098	2,0
C	104	61,0	0,911	0	61,0	0,911	0
D	68	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13,0
E	50,5	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34,0
F	34	14,35	0,740	-0,35	62,6	0,180	-48,6

Fuente: D.O. Martin. J. air Pollution. Control Association. 1976

5.6. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.

La contaminación atmosférica se presenta bajo dos modalidades a saber:

- Contaminación natural, es un suceso que siempre ha existido
- Contaminación antrópica, es ocasionada por las actividades que el ser humano realiza.

5.6.1. Fuentes Naturales:

Los principales contaminantes naturales que constituyen una fracción de cualquier muestra tomada para estudiar la contaminación en el aire son: Polvo en suspensión procedente de volcanes, tierra arrastrada por la erosión del aire de los terrenos cultivados, hidrocarburos producidos por la respiración natural de coníferas (blue haze de los Apalaches), polen, bacterias, partículas orgánicas en descomposición, partículas de carbón de humo de origen natural y ozono, entre otras. La contaminación natural de tipo polvo sedimentable es del 15% y de micro partículas en suspensión es del 25%, fenómeno que se presenta por las características del terreno; reporte que permite concluir que el aire se encuentra contaminado por su propia naturaleza. Las erupciones volcánicas, emiten partículas y contaminantes gaseosos, tales como bióxido de azufre, ácido sulfhídrico y metano; las emisiones y el daño que se causa en el ambiente pueden ser de gran magnitud y alcanzar distancias considerables. Las nubes de partículas y gases originados por los volcanes permanecen en la atmósfera durante largos períodos.

Los incendios forestales, se clasifican como fuentes naturales de contaminación, aunque puedan ser originados por actividades humanas; en ambos casos se generan gran cantidad de contaminantes en forma de humo como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y cenizas.

Las grandes cantidades de polvo y materiales de desecho levantados por vientos fuertes, que contienen cantidades importantes de partículas, constituyen una fuente natural común de contaminación atmosférica en muchas partes del mundo. Dichos fenómenos generan una reducción de la visibilidad y ocasiona accidentes de tránsito y limitaciones en el tránsito aéreo. [BUITRAGO, 2003]

En la ciudad de Huaraz no se encuentran incendios forestales, ni volcanes, ni grandes cantidades de polvo, por lo tanto no se tiene contaminación por fuentes naturales.

5.6.2. Fuentes Antropogénicas:

Son aquellas que se sitúan en un lugar determinado e inamovible y que efectúan su emisión en forma dispersa o a través de ductos o chimeneas. Las fuentes antropogénicas de contaminantes atmosféricas se dividen en fuentes fijas y móviles.

Las fuentes fijas incluyen refinerías, plantas energéticas comerciales y domésticas y procesos industriales como la molienda, el procesado del caucho, fábricas, talleres en general, instalaciones nucleares, plantas procesadoras de cemento, fábricas de fertilizantes, fundiciones de hierro y acero; es decir, son aquellas que provienen de los sectores productivos que se encargan de satisfacer las necesidades del ser humano para mejorar su nivel de vida. Son las principales responsables de la emisión de gases como NO, NO2, CO, CO2, hidrocarburos y partículas suspendidas en la atmósfera.

Las emisiones se generan principalmente por la utilización de combustibles fósiles, al igual que por la transformación química que sufren los compuestos en los diferentes procesos industriales, y que en muchas ocasiones no se tenían como contaminantes atmosféricos. La distribución de combustibles y el consumo doméstico de gas, son otras fuentes principales de emisión de contaminantes a la atmósfera, que empiezan a notarse en las ciudades del mundo, ya que los grandes volúmenes de combustible que

suministran o queman, presentan un nivel considerable de emisiones de contaminantes. [BUITRAGO, 2003]

5.6.2.1. Emisiones de Fuentes fijas:

Son aquellas que se sitúan en un lugar determinado e inamovible y que efectúan su emisión en forma dispersa o a través de ductos o chimeneas.

Las fuentes fijas incluyen refinerías, plantas energéticas comerciales y domésticas y procesos industriales como la molienda, el procesado del caucho, fábricas, talleres en general, instalaciones nucleares, plantas procesadoras de cemento, fábricas de fertilizantes, fundiciones de hierro y acero; es decir, son aquellas que provienen de los sectores productivos que se encargan de satisfacer las necesidades del ser humano para mejorar su nivel de vida. Son las principales responsables de la emisión de gases como NO, NO2, CO, CO2, hidrocarburos y partículas suspendidas en la atmósfera.

Las emisiones se generan principalmente por la utilización de combustibles fósiles, al igual que por la transformación química que sufren los compuestos en los diferentes procesos industriales, y que en muchas ocasiones no se tenían como contaminantes atmosféricos.

La distribución de combustibles y el consumo doméstico de gas, son otras fuentes principales de emisión de contaminantes a la atmósfera, que empiezan a notarse en las ciudades del mundo, ya que los grandes volúmenes de combustible que suministran o queman, presentan un nivel considerable de emisiones de contaminantes. [BUITRAGO, 2003]

La ciudad de Huaraz no se caracteriza por ser una zona industrializada, al no existir grandes fábricas, ni grandes talleres en general. Es por tal motivo, que estos tampoco son una fuente de contaminación importante.

5.6.2.2. Fuentes Móviles de Contaminación:

Las fuentes móviles de contaminación aparecen desde el momento mismo en que se crea el automóvil, el barco, el tren y finalmente el avión, generando así un nuevo tipo de contaminación de la atmósfera, que se ha definido como elemento de presunto riesgo para la salud humana.

Las emisiones de las fuentes móviles provienen de los automotores, los cuales constan de una máquina conformada por un conjunto de partes, que se diseñan para tener una vida útil y a pesar de realizarles su correspondiente mantenimiento se desgastan, obligando en ocasiones a efectuar su reparación, cambio o adecuación, procesos que contribuyen a incrementar las emisiones a la atmósfera generadas por estos automotores.

El color de los gases de escape puede llegar a ser un determinante de la clase de contaminante que se está emitiendo; no obstante si no se percibe ninguna coloración por el escape no significa de que no ocurran emisiones, por el contrario, en este caso las emisiones se encuentran compuestas por una serie de gases incoloros. Normalmente los colores de los gases emitidos son de tres clases a saber: negro, azul y blanco.

El color negro es un indicativo de un exceso de combustible. Esta coloración se encuentra comúnmente en los vehículos de transporte urbano de pasajeros a gasolina y camiones; cuando se trata de vehículos a diesel la coloración por lo general es debida a que los inyectores no atomizan correctamente el

combustible, lo que indica que están goteando, o puede ser producido por una sobre dosificación de la bomba de inyección.

El color azul en los tubos de escape es una manifestación clara de que el aceite lubricante está llegando hasta las cámaras de combustión; fenómeno que se presenta como consecuencia de: una gran tolerancia entre las guías de las válvulas y sus vástagos, el mal estado de los sellos de las válvulas, los anillos de los pistones, desgaste general del motor, y por exceso de aceite en el cárter.

El humo blanco, que es básicamente vapor de agua, es la emisión más típica en cualquier vehículo, depende de varias condiciones como: la temperatura, la cantidad de agua que se encuentra en el sistema de escape y la permanencia del automotor a la intemperie o bajo techo que por el cambio de temperatura le permite acumular agua; la emisión se hace más notoria al momento de encender por primera vez el vehículo en horas de la mañana. El vapor de agua se genera al entrar en contacto los gases de escape calientes con el agua acumulada en el tubo de escape y en el mofle, y por consiguiente empieza a salir el humo blanco.

Los tipos de contaminantes que se generan por las fuentes móviles son fundamentalmente: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos, azufre y en menor proporción óxidos de nitrógeno. Para controlar las emisiones de los vehículos, las casas fabricantes paulatinamente han ido introduciendo modificaciones en los automotores como el reactor de inyección de aire (A.I.R), que tiene por objeto continuar quemando los gases residuales de la combustión cuando han abandonado el interior de los

cilindros, proceso que se obtiene al inyectar aire al múltiple de escape, para así disminuir las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos.

El sistema de ventilación positiva del cárter (P.C.V), permite controlar los hidrocarburos generados en el cárter, efectúa una succión para absorber los gases contaminantes que se encuentran en el cárter; paralelamente succiona aire limpio proveniente del filtro. Los gases y el aire limpio se mezclan y son conducidos hacia el múltiple de admisión.

Para mitigar las emisiones de óxidos de nitrógeno se ha implementado la recirculación de los gases de escape (E.G.R), que consiste en desviar a través de una válvula los gases del tubo de escape y dirigirlos hacia el múltiple de admisión, con el ánimo de disminuir la temperatura de combustión y por ende controlan la generación de estos óxidos.

El filtro de aire operado termostáticamente (T.A.C), reduce las emisiones de hidrocarburos al momento del calentamiento, gracias a que garantiza una adecuada temperatura del aire que entra al motor.

Control del orificio de avance de la chispa (O.S.A.C): tiene como función principal controlar la emisión de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno del escape. Consta básicamente de una válvula intermedia entre el carburador y el distribuidor, de forma tal que la válvula controla el vacío, esto es, retarda por unos segundos la aplicación de vacío al diafragma del distribuidor.

El convertidor catalítico reduce las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos del escape, ya que consiste en un compuesto químico el cual al entrar en contacto con el monóxido de carbono y los hidrocarburos los convierte en dióxido de carbono y agua.

Otro de los principales causantes de emisiones en un vehículo lo constituyen los cables de las bujías, ya que si no se encuentran en buen estado (presentan fugas de energía), generan desequilibrios en el funcionamiento del motor y por ende se incrementan las emisiones a la atmósfera por el inadecuado funcionamiento. Este fenómeno es de considerable interés en los motores a gasolina, ya que el encendido depende de la calidad de la mezcla aire - gasolina, que obedece a la calidad de la chispa de encendido emitida por las bujías. Como ejemplo cabe destacar que cuando la resistencia de los cables es demasiado alta, la chispa puede resultar muy pobre e insuficiente para encender la mezcla.

Los vehículos igualmente poseen otras fuentes de contaminación diferentes al tubo de escape como son: la batería, el motor, el tanque de gasolina y las llantas.

El aceite que lleva el motor para su lubricación por diversas circunstancias desprende vapor, sumado a esto los anillos de los pistones no presentan un sello del 100% lo que genera un escape de los gases de la mezcla aire - combustible hacia la parte inferior del motor en donde se encuentra el depósito de aceite (cárter). Al unirse los vapores de aceite con estos gases se genera una emisión contaminante.

Los vapores del tanque de gasolina también son una fuente contaminante, ya que al destaparlo para recargar de combustible inmediatamente se genera un escape abrupto del vapor hacia la atmósfera; este fenómeno se ha tratado de corregir mediante la incorporación de un sistema de recirculación de dichos vapores hacia el motor para ser quemados allí.

Emisiones de Fuentes Móviles:

Según la Compañía Automotriz S.A. (MAZDA), en su informe contaminación en motores diesel, las ciudades localizadas por encima de los 2.000 msnm, juegan un papel importante en el aumento de las emisiones a la atmósfera generadas por las fuentes móviles, lo que representa un incremento de: monóxido de carbono hasta en un 75%, hidrocarburos (HC) en un 130% y partículas en un 50%.

Además, las condiciones topográficas de la ciudad (calles con pendientes de gran inclinación) generan un mayor esfuerzo para el funcionamiento de los motores de los vehículos y las bajas especificaciones de las vías traen como consecuencia la congestión vehicular, ocasionando que las paradas y los arranques sean más frecuentes y así se libera una mayor carga contaminante a la atmósfera.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Es un estudio del tipo descriptivo, no experimental, pues se desea saber como se manifiesta el dióxido de Azufre. El presente estudio será un diseño no experimental, pues las concentraciones de SO2 están dispersados en la atmósfera, lo que se va ha ser es medir el grado de contaminación en ciertos puntos muestrales (estaciones de monitoreo) a determinados intervalos de tiempo (minutos, horas, días, etc.). Para luego hacer estimaciones de la contaminación del aire por dichas partículas, en las zonas urbanas de Huaraz e Independencia.

El modelo matemático a utilizar para determinar las concentraciones del dióxido de azufre en la ciudad de Huaraz e independencia, causados por fuentes móviles, es el modelo de dispersión Gaussiano a nivel del suelo, pues es el más usado y el menos costoso para calcular concentraciones aproximadas en diferentes puntos del espacio a favor del viento. Dicho modelo requirió inicialmente establecer las condiciones climatológicas de las ciudades de Huaraz e Independencia, y posteriormente hacer un diagnóstico de las fuentes de contaminación, en este caso por el parque automotor.

Para el análisis de las características climatológicas de información de brillo solar, precipitación diaria y mensual, velocidad y porcentaje de dirección mensual del viento y temperatura de la estación meteorológica de la minera Barrick Misquichilca y del SENHAMI. De acuerdo con esta información y las horas de brillo solar que se presentan en la ciudad se determinaron las condiciones de estabilidad atmosférica para la zona urbana de Huaraz e Independencia.

Una vez establecidas las condiciones climáticas, es decir el porcentaje de brillo solar y la velocidad del viento promedio, con la ayuda de las categorías de estabilidad presentadas en la tabla 03. Se determinan las estabilidades atmosféricas predominantes en la ciudad de Huaraz e Independencia.

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 trabajo monográfico "Inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Huaraz" ver [MELGAREJO, 2006]. Lo que permitió establecer los sitios donde se ubicaran las estaciones de monitoreo para la medición de las concentraciones y su posterior estimación a diferentes puntos y horarios.

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

La selección de un modelo de dispersión de calidad del aire depende de la clase de contaminante emitido, de la complejidad de la fuente, del tipo de topografía que rodea la instalación, de la frecuencia con que se realicen las mediciones y de las características ambientales, ya que es importante considerar que existen varios contaminantes que se pueden formar a partir de la combinación de contaminantes precursores, como es el caso del ozono que al nivel del suelo se forma cuando los compuestos orgánicos volátiles (VOC's) y los óxidos de nitrógeno (NOx) actúan bajo la acción de la luz solar.

Para la determinación del modelo de dispersión, la literatura recomienda que cuando no se dispone de la información suficiente, es decir, cuantificación total de las emisiones a la atmósfera por sector, determinación de las velocidades del viento a la altura deseada y porcentaje de representación en cada una de las direcciones predominantes y determinación de los niveles estratigráficos de la temperatura, entre otros aspectos, como sucede en la ciudad de Huaraz, se deben efectuar diferentes consideraciones preliminares y usar modelos flexibles de dispersión de contaminantes como es el caso del modelo Gaussiano.

Además, la mayor parte de las experiencias en modelos de dispersión de contaminantes, se basan en la aplicación del modelo Gaussiano, así tenemos: Programa aire puro en Guatemala y El Salvador, dispersión regional de óxidos de azufre en Chile Central, evaluación de tres modelos de dispersión de CO para la ciudad de Bucaramanga, cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión del estudio corinar y contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda, entre otros).

La modelación de la dispersión de contaminantes en la ciudad de Huaraz, se desarrolló mediante la aplicación de un modelo para fuentes móviles, ver ecuación (14), ya que debe considerarse el comportamiento de las plumas de emisión, estos modelos son simples variaciones del modelo Gaussiano normal.

Se aplicará el modelo de dispersión gaussiano a nivel del suelo para las fuentes móviles para medir las concentraciones de dióxido de Azufre, que a pesar de no ser considerado como un contaminante primordial en la emisión de gases en los vehículos [MELGAREJO, 2006], es uno de los gases que está contribuyendo al aumento de enfermedades respiratorias [ANTÚNEZ, 2008], además de ello el aumento desmedido, en los últimos años, del parque automotor, puede aumentar las concentraciones de dicho gas en un futuro.

En el presente estudio, se tiene un tráfico vehicular a lo largo de un sector de la ciudad, En la esquina del colegio Jorge Basadre, en el cruce de la av. Raimondi con av. Luzuriaga, en La esquina del poder judicial de Huaraz y en el Estadio Rosas Pampa trayecto en el cual circulan los vehículos de servicio público y particulares, presentándose un alto flujo vehicular [SOLORZANO, 2007], adicionalmente se

estableció como punto de referencia el centro de la vía; por lo tanto el comportamiento de los contaminantes se puede asimilar como a los generados por una fuente continua lineal infinita; y además se supone que la dirección del viento es perpendicular a la línea de emisión

Bajo estas suposiciones se han efectuado la demostración de que la representación del perfil de concentración a favor del viento, emitido por una fuente a nivel del suelo esta dada por la ecuación:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi u \delta_y \delta_z} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\delta_y^2} + \frac{z^2}{\delta_z^2}\right)\right] \qquad (14)$$

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, estan en m.

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

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

Como los coeficientes de difusión de masa, dadas en la parte teórica, son una función de la posición X en la dirección del viento y de las condiciones de la estabilidad atmosférica, se hizo necesario establecer las condiciones climáticas de la ciudad de Huaraz, para así poder determinar estos coeficientes.

En los estudios de contaminación atmosférica, la concentración que interesa conocer es la que se da a nivel del suelo, lugar en donde se encuentran los receptores.

Basados en la cuantificación de las concentraciones de los contaminantes emitidos por las diferentes fuentes, se procedió efectuar la determinación del modelo de dispersión atmosférica para la ciudad de Huaraz e Independencia.

En la aplicación de un modelo de dispersión se deben tener presente varias condiciones adicionales como son:

1. Las concentraciones que se estiman representan aproximadamente sólo los cientos de metros más bajos de la atmósfera.

2. Las concentraciones se calculan a diferentes distancias (X) a lo largo de la línea central.

3. Las desviaciones verticales y horizontales, están basadas en la representación del terreno como si fuera un campo abierto, en el cual no existen edificaciones alrededor.

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

6.2. 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 congestionamiento vehicular. Pues, en estos lugares es que se produce la mayor expulsión de gases contamínate. 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, 2007. [SOLORZANO, 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. Dichos puntos de monitoreo se ubican en la siguiente tabla 5. En total se seleccionaron 6 puntos.

Tabla 5. Lugares de monitoreo del Dióxido de Azufre

	Lugares de Monitoreo	**Coordenadas UTM**	**Altitud (msnm)**
1	Esquina, Av. Raymondi y Av. Luzuriaga (Tábariz)	S 09º 31.5690’ WO 77º31.709’	3057
2	Esquina, Av. Confraternidad Internacional Oeste y Jr. Bolognesi (Estadio Rosas Pampas)	S 09º 31.589’ WO 77º 31.976’	3038
3	Esquina, Jr. Víctor Vélez y Jr. Augusto B. Leguía (Colegio Jorge Basadre)	S 09º 31.270’ WO 77º 31.551’	3063
4	Esquina Av. Luzuriaga y Jr. 28 de Julio (Poder Judicial)	S 09º 31.853’ WO 77º 31.771’	3062

Es en estos puntos, donde se aplicará el modelo de dispersión Gaussiano, para determinar las concentraciones en la dirección del viento.

6.3. Equipo para determinar Dióxido de Azufre (S02)

Para determinar dióxido de azufre (S02) en el aire ambiente se 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 potásio (TCM) con una concentración 0.04 molar (M), obteniéndose un complejo, el monoclorosulfonatomercurato, el cual resiste la oxidación por 02 del aire. Una vez formado, este compuesto es estable a oxidantes fuertes (por ejemplo el ozono y óxidos de nitrógeno). 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 tiempo de muestreo. La concentración de SO2 en el aire ambiente se expresa en microgramos por metro cúbico patrón (µg/m3 ptn).

Para 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.

Fig. 8. Equipo de monitoreo de SO2

7. RESULTADOS:

7.1.Determinación y cálculo de la información

7.1.1. 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 e Independencia, 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, ver fig. 07 y 08.

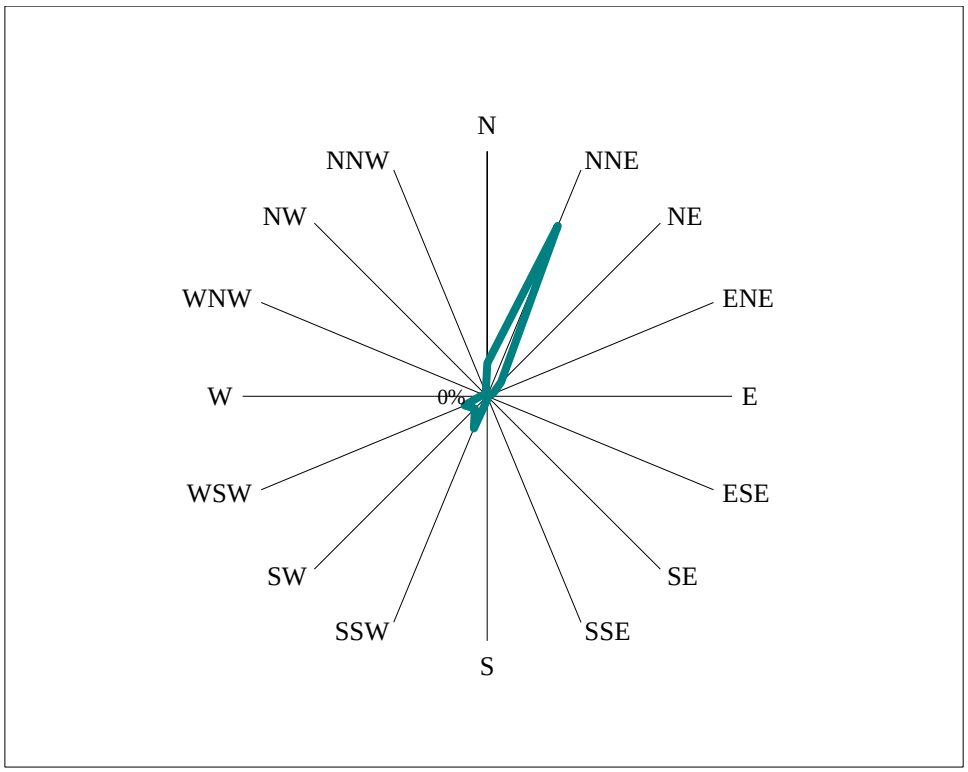


Fig. 07. Rosa de Vientos de Estación Minera Barrick, 2010. Huaraz

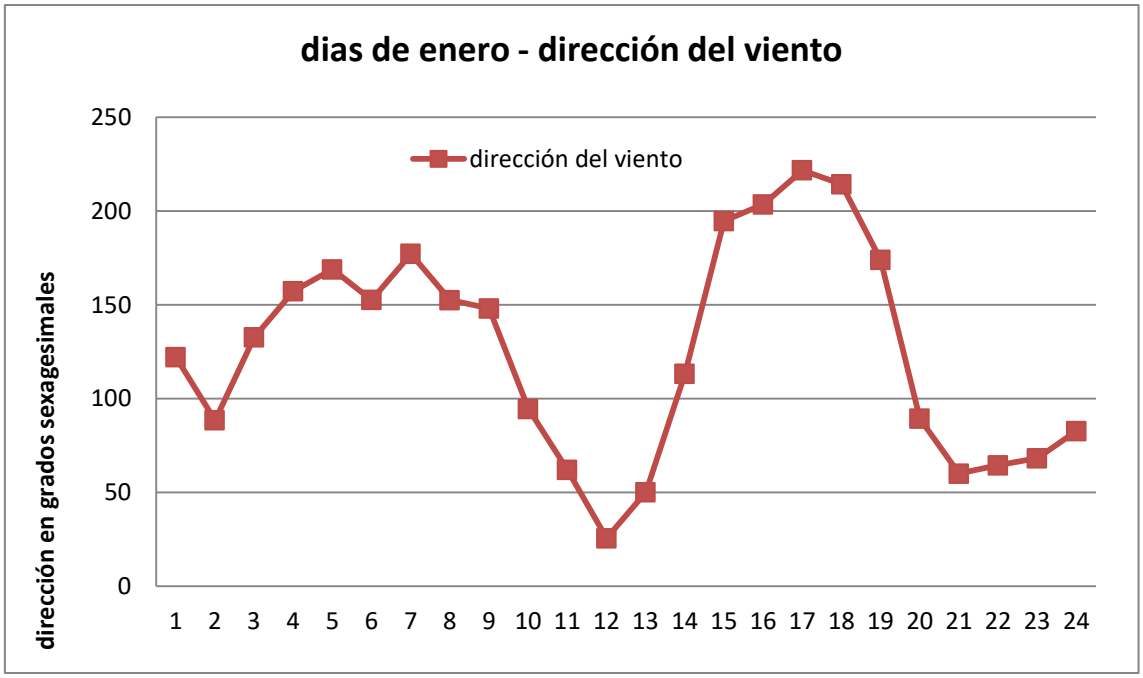


Fig. 08. Gráfico de dirección de viento en el mes de Enero (elaboración propia)

De la rosa de vientos y del gráfico 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%. Ver anexo 01

En cuanto a la velocidad del viento se puede apreciar en los gráficos del 9 al 11 los vientos máximos, mínimos y en promedio, en el cual según el gráfico 11,se tiene un promedio en el mes de enero de 1.09 m/s. Ver anexo 1

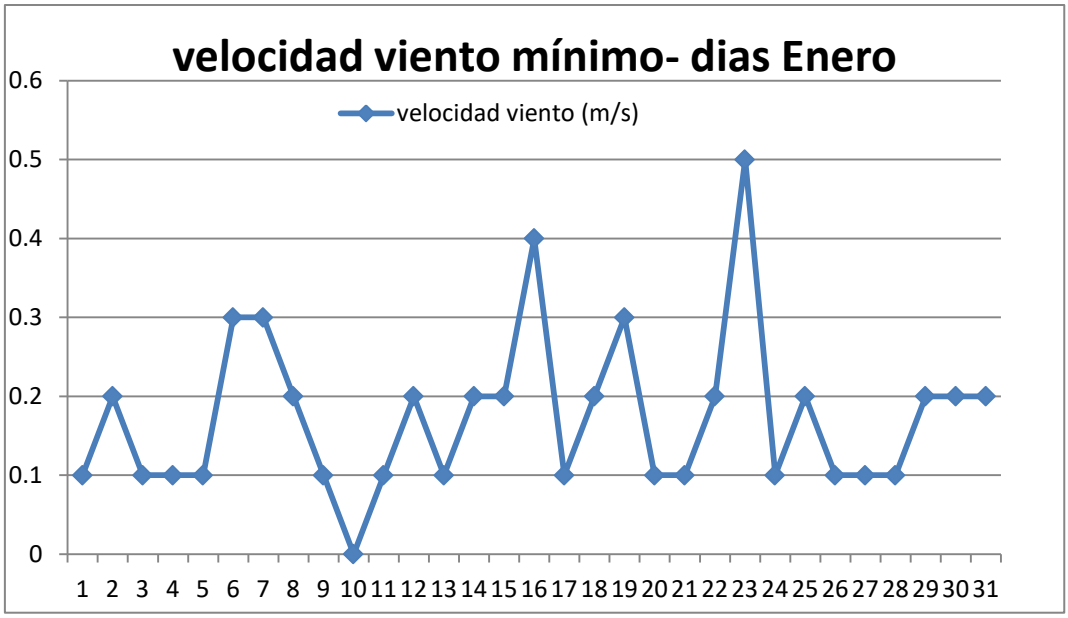


Fig. 09. Gráfico de Velocidad de viento mínimo-Enero (Elaboración propia)

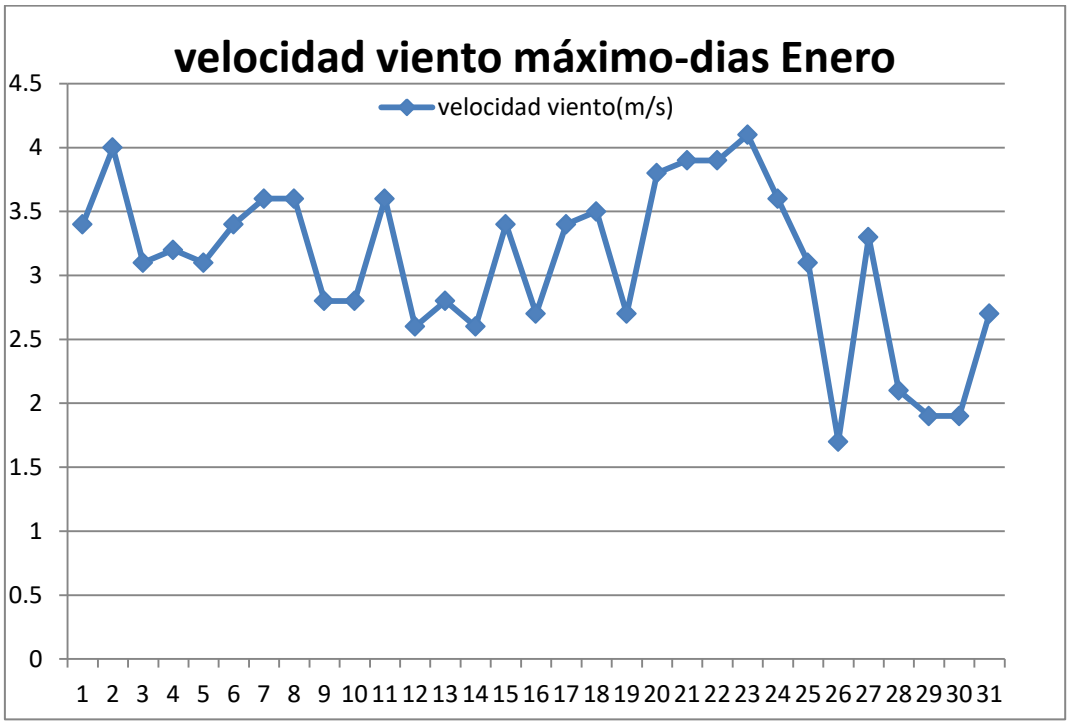


Fig. 10. Gráfico de Velocidad de viento Máximo-Enero (Elaboración propia)

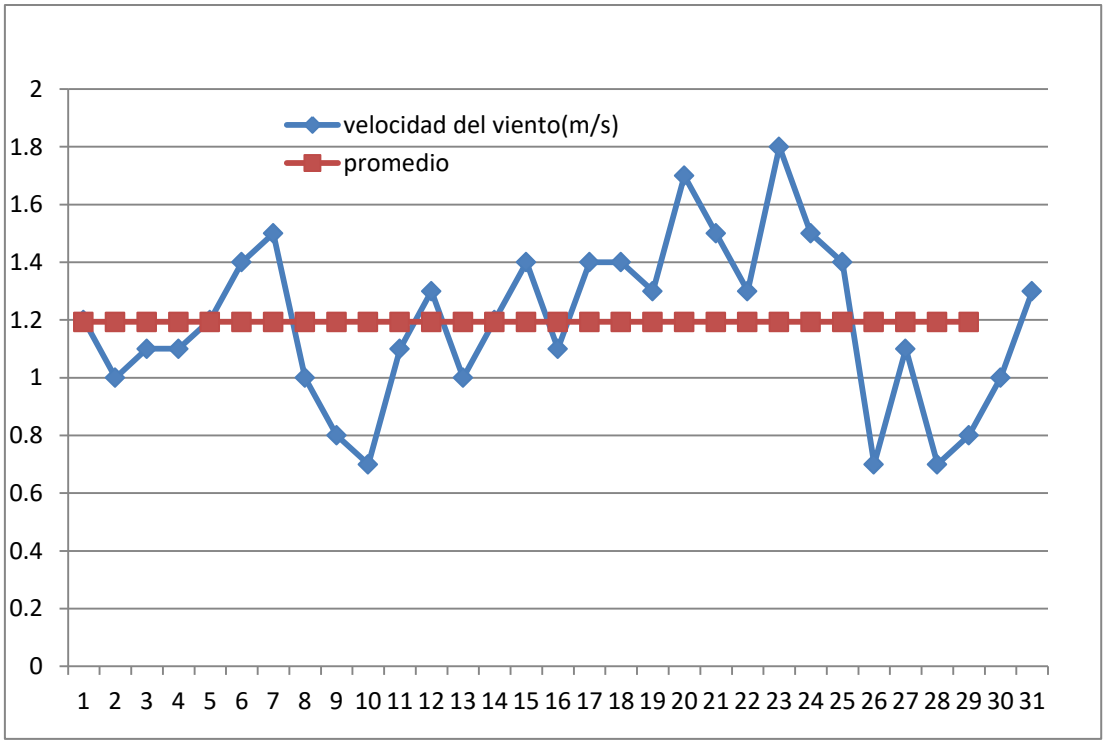


Fig. 11. Gráfico de Velocidad de viento Promedio-Enero (Elaboración propia)

7.1.2. 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. Según la tabla 2 y 3, que durante las horas de la mañana, el periodo donde se tomará la muestra y el ángulo de inclinación del sol está mayor a 60°, se tiene que:

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, según la Tabla 03 de las 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.

7.1.3. Determinación de los coeficientes de dispersión.

El cálculo de las desviaciones se realizó mediante la aplicación de las ecuaciones matemáticas (15) y la tabla 4, se obtuvo que:

Para una mañana despejada y x menor a 1 Km:

$$\sigma_y = 213x^{0,894} \qquad (15-a)$$

$$\sigma_z = 440,8x^{1,941} + 9,27 \qquad (15-b)$$

Para un día semi nublado y x menor a 1 Km:

$$\sigma_y = 184x^{0,894} \qquad (15-c)$$

$$\sigma_z = 273,7x^{1,545} + 6,3 \qquad (15-d)$$

Para un día nublado y x menor a 1 Km:

$$\sigma_y = 156x^{0,894} \qquad (15-e)$$

$$\sigma_z = 106,6x^{1,149} + 3,3 \qquad (15-f)$$

7.2. Resultados de análisis del dióxido de Azufre.

Una vez tomado la muestra liquida, en los lugares de monitoreo, dichas muestras fueron llevadas al laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente, teniendo el siguiente resumen de resultados, de dichos informes de laboratorio, los cuales se encuentran en el anexo 2:

Tabla 6. Resultados de Análisis de Calidad del aire de Dióxido de azufre

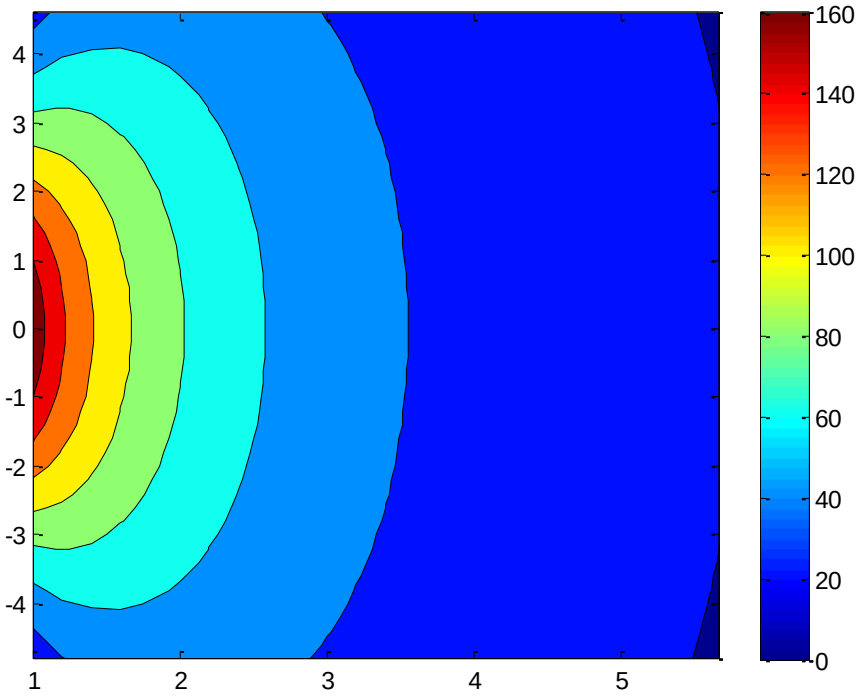
Lugar	Método	Exposición (horas)	Hora de muestreo	Fecha de muestreo	Concentración (ug/m^3)
Esquina, Av. Raymondi y Av. Luzuriaga	Automático	4	9:00-13:00	21/01/11	52.3
Esquina, Av. Confraternidad Inter. Oeste y Jr. Bolognes	Automático	4	9:00-13:00	19/01/11	21.6
Esquina, Jr. Víctor Vélez y Jr. Augusto B. Leguía	Automático	4	9:00-13:00	17/01/11	17
Esquina Av. Luzuriaga y Jr. 28 de Julio	Automático	4	9:00-13:00	20/01/11	26.1
Esquina, Jr. Víctor Vélez y Av. Centenario	Automático	4	9:00-13:00	18/01/11	30.4

7.3. Resultados del Modelo de Análisis de Dispersión.

Con los datos de entrada para el modelo Gaussiano ya encontrados, 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 7.0. Para lo cual se realiza la programación de dicho modelo, obteniéndose los siguientes resultados.

Curvas de nivel de concentración de SO_2 Usando el modelo Gaussiano

Fig. 12. (Esquina de Av. Raymondi y Av. Luzuriaga)



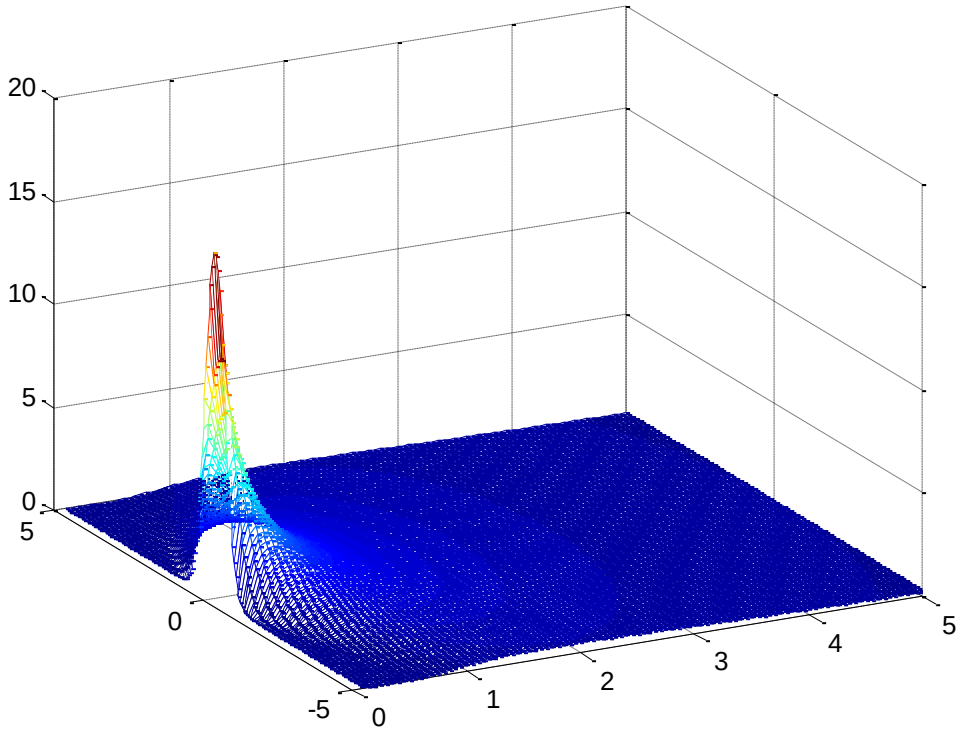
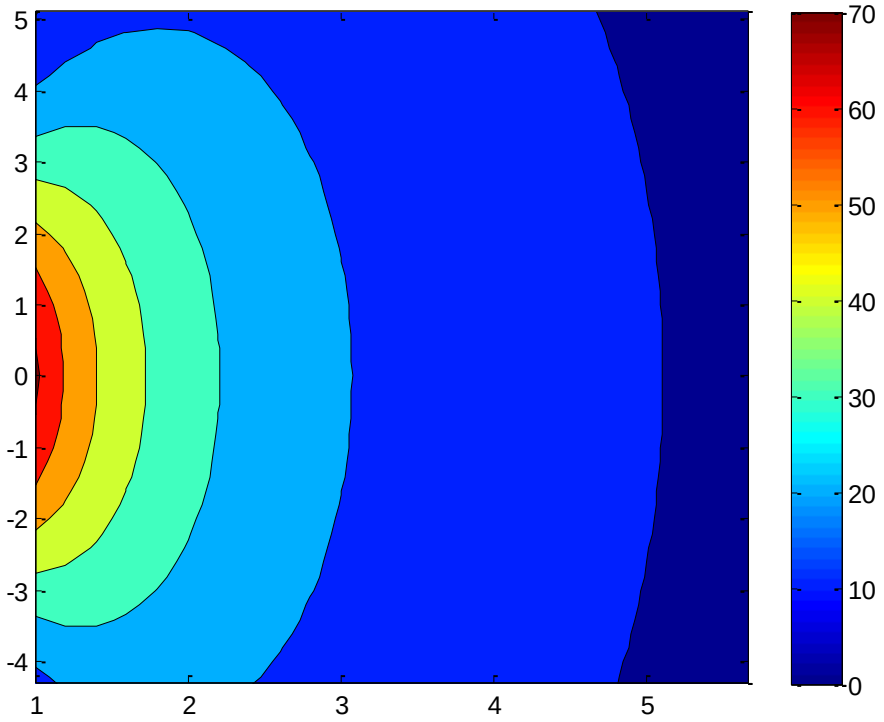


Fig. 13. Esquina, Av. Confraternidad Inter. Oeste y Av. Raimondi



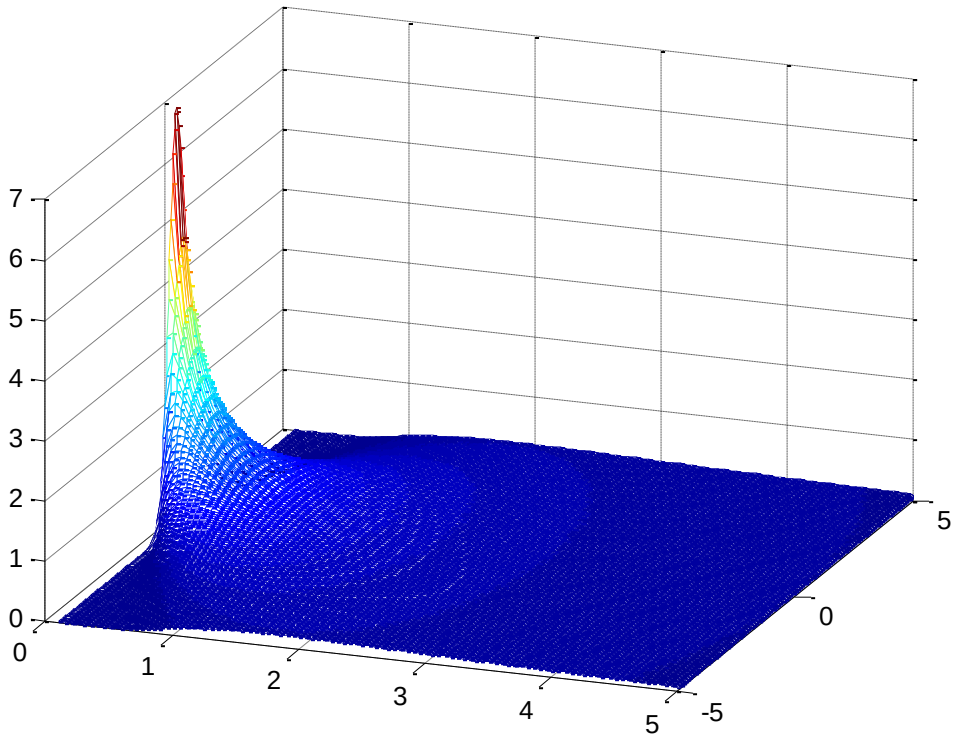
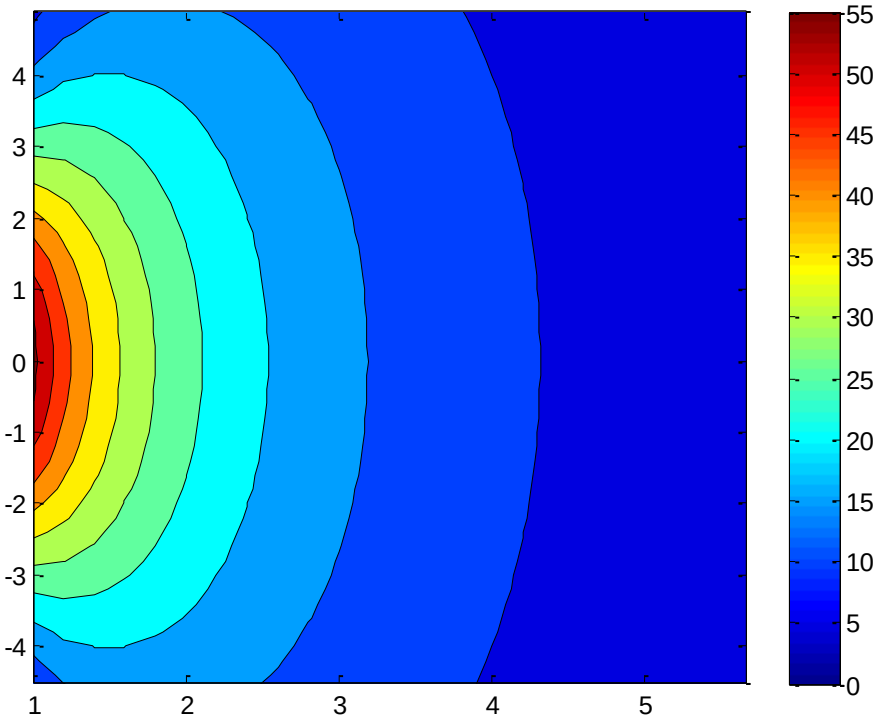


Fig. 14. Esquina, Jr. Víctor Vélez y Jr. Augusto B. Leguía



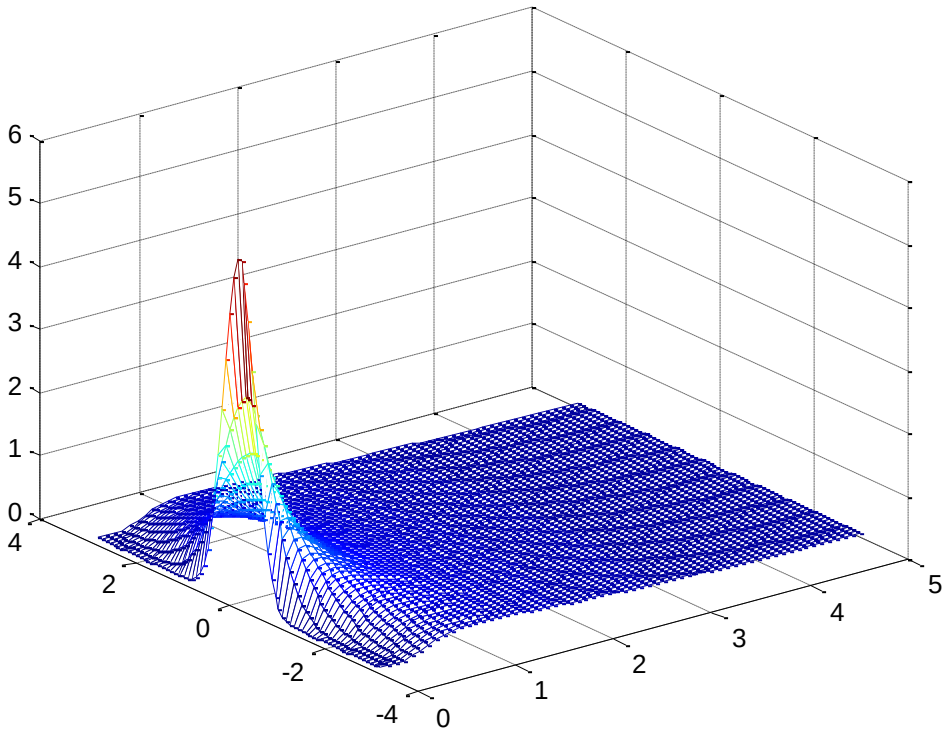
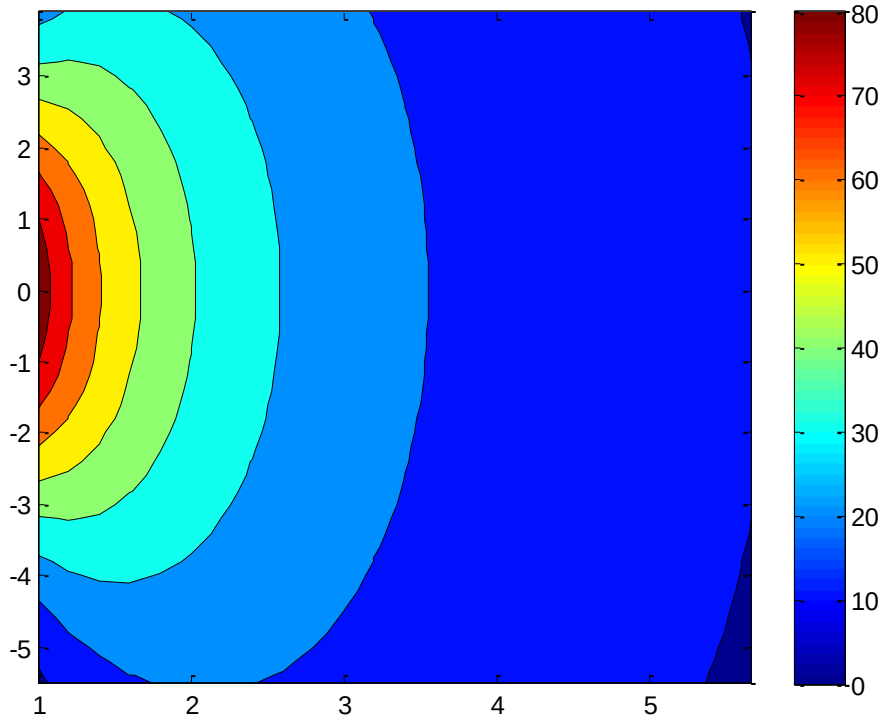


Fig. 15. Esquina Av. Luzuriaga y Jr. 28 de Julio



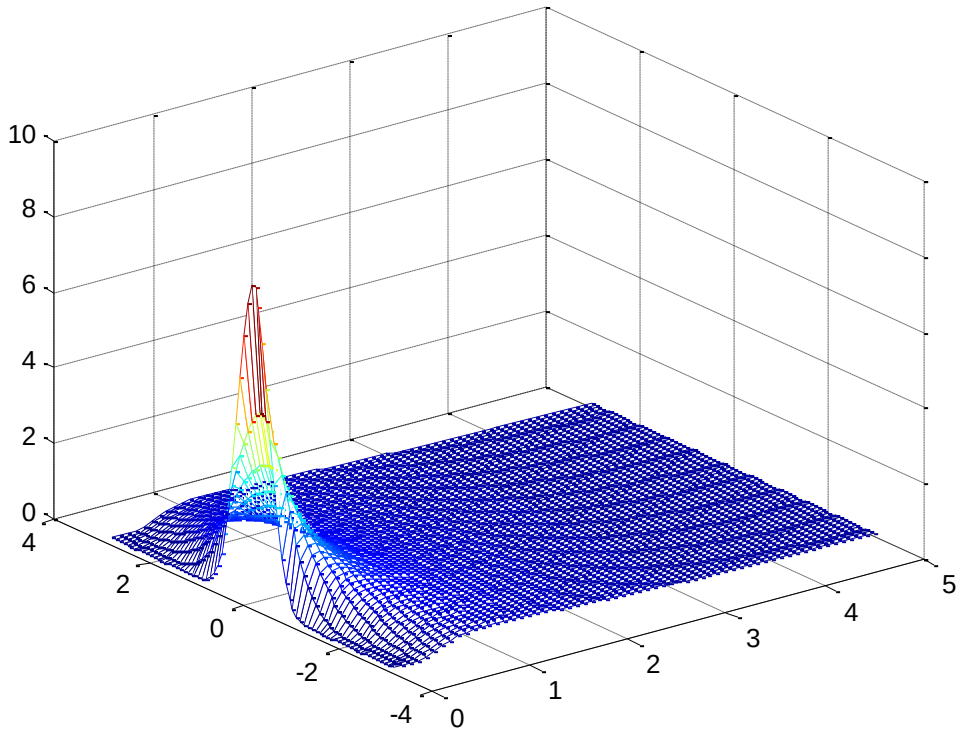
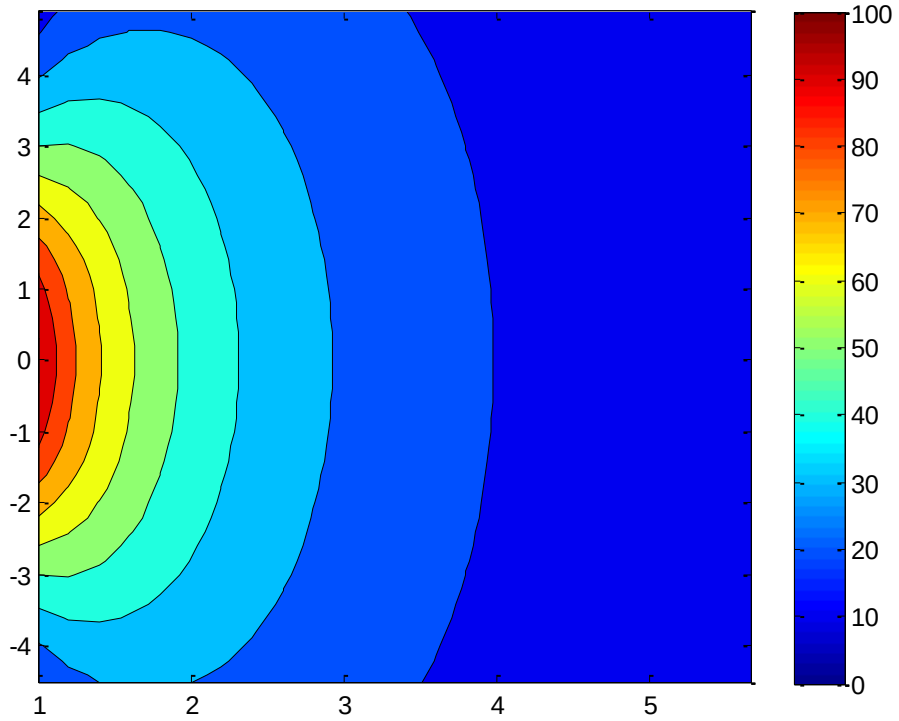
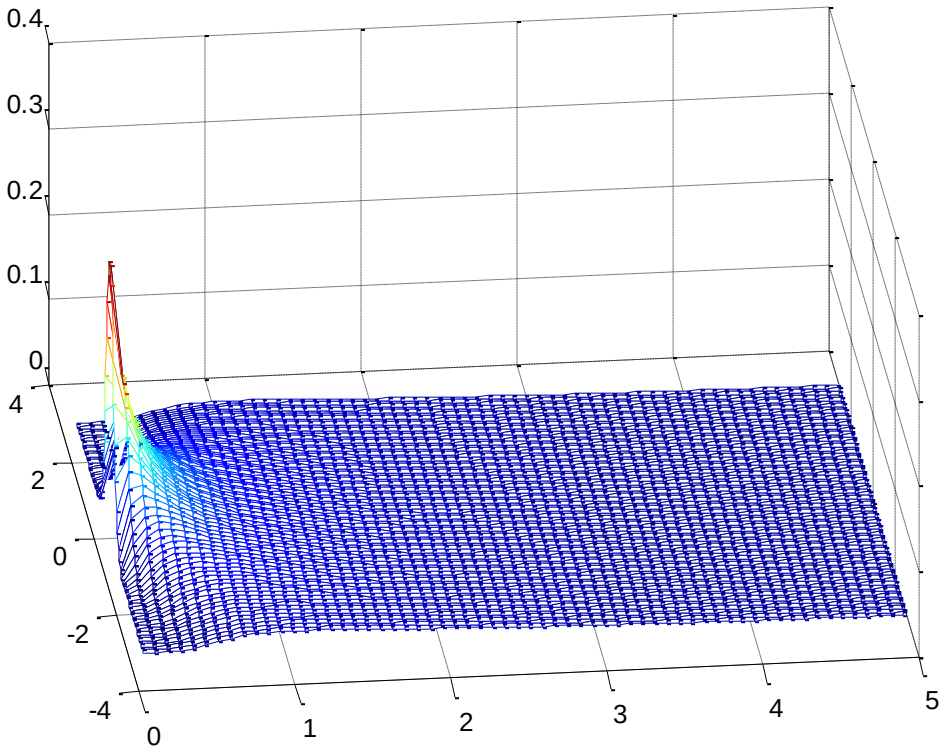


Fig. 16. Esquina, Jr. Víctor Vélez y Av. Centenario





8. DISCUSIÓN.

Como se puede observar en la sección anterior, la aplicación del modelo Gaussiano se efectúo en 5 puntos, en el sector centro de la ciudad de Huaraz e Independencia para el contaminante SO2, Dichos puntos fueron seleccionados de acuerdo a la tesis realizada por la Bach. Tatiana Solórzano Ramírez "Inventario de emisiones de fuentes Móviles en la ciudad de Huaraz" en Junio del 2007.

Con base en el modelo para fuentes móviles (ecuación 14) se determinó la distribución de los contaminantes para el mes de Enero de 2011, el tiempo de muestreo para cada punto fue de 4 horas entre las 9:00 a.m y 1:00 p.m, después de ello fueron llevados al Laboratorio de Calidad ambiental –FCAM-UNASAM para sus respectivos análisis, dichos resultados se encuentran en el anexo 6. En los cuales se puede observar que las mayores concentraciones de dicho gas se encuentran en las esquinas de Av. Luzuriaga y Av. Raimondi (Tabariz) y la menos contaminada

se encuentra en las esquinas de Jr. Víctor Vélez y Jr. Augusto B. Leguía (I.E. Jorge Basadre).

Para la aplicación del Modelo Gaussiano se recopiló información de velocidad del viento *u* dichos resultados se encuentran en el gráfico 11 y en el anexo 1, los valores de σ_Z , σ_y (coeficientes de dispersión en las direcciones X e Z) están dados en la ecuación 15-a y 15-b en la cual se tuvo en cuenta la radiación solar, el tipo de estabilidad atmosférica y velocidad del viento (ver tabla 03), los valores de Q (flujo de emisión del contaminante) para cada uno de los puntos se calculo en base a los resultados de Análisis de Calidad del aire de Dióxido de azufre de la tabla 16 y la ecuación del modelo Gaussiano para x=0, z=1 m. Una vez ingresado los datos en cada punto se usó el software Matlab para realizar el proceso de dispersión de SO_2 mediante las curvas de nivel dadas en los gráficos 12 al 16, los cuales fueron obtenidos a partir del modelo Gaussiano, que expresado matemáticamente es una función de R^2 a R para una altura z fija.

Es importante resaltar que el nivel de concentración de SO_2 en el centro de la ciudad se encuentra entre 17 y 52.3 *u*g/m3, concentraciones que en ningún momento están por encima de la norma de emisiones que establecen las normas nacionales e internacionales, ver tabla 2-b, 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 *u*g/m3 y para un registro continuo de 4 horas la concentración máxima permitida será de 60 ug/m3.

9. CONCLUSIONES.

1. De acuerdo a [SOLORZANO, 2007], algunos de 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.
2. Según los análisis de Laboratorio y el modelo Gaussiano, dadas en la misma fuente de emisión se puede observar que las zona de mayor contaminación por SO_2, causada por el parque automotor, está situada en las esquina de Av. Luzuriaga y Av. Raimondi; con una concentración máxima de 52.3 con un tiempo de muestreo de 4 horas, desde las 9:00 a.m. hasta las 1:00 p.m. siendo el máximo permisible según la organización Mundial de la salud de 60 ug/m^3.
3. Para el presente trabajo se usó el modelo de dispersión Gaussiano para medir la dispersión y la concentración del dióxido de azufre en diferentes puntos de muestra, pues este modelo es bastante usado para diferentes problemas de contaminación, sus costos no son muy elevados y sus estimaciones se aproximan a la realidad considerablemente.
4. En el modelo Gaussiano, mediante la ecuación (14), es posible obtener una gráfica tridimensional, una superficie el cual indica el nivel de dispersión del dióxido de Azufre; los cuales para su mejor comprensión fueron dados mediante curvas de nivel. Ver fig. 17.
5. Haciendo uso del modelo Gaussiano, se puede observar en la figura (14), como la dirección del viento influye en la dispersión de los contaminantes en los 5

puntos muestrales. En donde la dispersión del contaminante es rápida hasta los 100 m. de la fuente.

6. Los cálculos de la estabilidad atmosférica para Huaraz e Independencia 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, juegue un papel importante para diferentes horas del día.
7. Para los modelos de dispersión se toman los datos de concentración en la fuente, que es la mayor registrada, la cual es emitida y dispersada, pero no se tiene en cuenta la vida media de los contaminantes y las reacciones que se pueden presentar en la atmósfera, con lo cual los resultados de la modelación pueden diferir de los datos reales.
8. 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.

10. RECOMENDACIONES.

1. Para darle un mayor grado de precisión a los modelos se hace necesario, establecer mecanismos que permitan evaluar las condiciones ambientales al interior de la ciudad o de los puntos que se desean evaluar, ya que por ejemplo la velocidad y la dirección del viento varían como consecuencia de la influencia de las edificaciones, y la topografía del área de estudio, y por ende la dispersión de la concentración del contaminante será menor, reflejando así una mayor realidad.
2. El presente trabajo enfocó los análisis solamente al contaminante gaseoso SO2 (dióxido de Azufre), por lo que se hace necesario elaborar un diagnóstico más amplio de la calidad del aire en las ciudades de Huaraz e Independencia, donde se incluyan modelamientos similares para otros contaminantes como CO, CO2, NO2, MP10, que no se han podido evaluar por este modelo ya que son sustancias reactivas las cuales tienen costo mas elevados.
3. De acuerdo a los resultados del presente estudio y de la propuesta de una red de monitoreo de calidad del aire en Huaraz e independencia, la administración municipal y la autoridad ambiental como organismos encargados del seguimiento ambiental, deberían destinar recursos económicos para la instalación de una red de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Huaraz e independencia, que registre los diferentes tipos de contaminantes contemplados por la normatividad peruana; red que se localizaría en lugares estratégicos bajo el parámetro de población expuesta a los procesos de emisión de los contaminantes, principalmente causadas por el parque automotor.

11. BIBLIOGRAFÍA

[ANTÚNEZ, 2008] Antúnez J. "Afecciones Respiratoria y dérmicas en relación a la contaminación atmosférica". UNASAM-FCAM. 2008.

[ARZATE, 2004] Arzate C. "Realización de software educativo para simular la dispersión de contaminantes atmosféricos". Universidad de las Américas Puebla. México, 2004

[BLASER, 2000] Blaser M. "Dispersión de la Contaminación atmosférica causada por tráfico vehicular" Swisscontact. Guatemala, 2000.

[BUITRAGO, 2003] Buitrago J. "Aplicación de Modelo Gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales" Universidad Nacional de Colombia. Colombia, 2003.

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

[CRQ, 1997]. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO. Plan de gestión ambiental del recurso atmosférico. COLOMBIA. ARMENIA 1997

[GORDILLO, 1996] Gordillo David, Ecología y contaminación ambiental. Edit. Interamericana. Mexico D.F, 1996.

[GLYNN,1999] Glynn H., "Ingeniería Ambiental" Edit. Prentice Hall, Mexico, 1999.

[JAQUE, 2002] Jaque C. y Pompilio L. "Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Huaraz". UNASAM-FCAM. Huaraz, 2002.

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

[NEBEL, 1999] Nebel Bernard J., Wrigth R., “Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo sostenible” Edit. Prentice Hall, Mexico, 1999.

[OLIVARES, 2001] Olivares G., “Dispersión regional de Azufre oxidado en Chile Central” Universidad de Chile FCFM. Chile, 2001.

[OROZCO, 2008] Orozco B. “Contaminación Ambiental” Edit. Thomson. España, 2008

[STRAUSS, 1995] Strauss W., Mainwaring S.J. “Contaminación del aire, causas efectos y soluciones” Edit. Trillas, Mexico. 1995.

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

[WARK, 1996] Wark. K, Warner C., “Contaminación del aire Origen y Control” LIMUSA, Mexico 1996.

ANEXOS

ANEXO 1

DATA METEREOLÓGICO

Resumen por Hora de Datos sobre Dirección del Viento

Empresa: Minera Barrick Misquichilca - Unidad Pierina
Estación : HUARAZ
Mes : Enero 2008

	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
1	14.0	6.0	349.0	351.0	222.0	223.0	199.0	205.0	69.0	39.0	42.0	14.0	11.0	14.0	19.0	19.0	7.0	254.0	274.0	23.0	29.0	20.0	25.0	20.0
2	358.0	347.0	244.0	201.0	200.0	252.0	229.0	191.0	44.0	38.0	22.0	21.0	21.0	19.0	21.0	356.0	268.0	337.0	219.0	63.0	19.0	9.0	11.0	263.0
3	353.0	12.0	196.0	199.0	209.0	2.0	325.0	205.0	21.0	358.0	24.0	21.0	22.0	17.0	20.0	10.0	17.0	355.0	28.0	20.0	12.0	29.0	32.0	338.0
4	20.0	18.0	12.0	21.0	6.0	241.0	26.0	27.0	16.0	16.0	17.0	19.0	14.0	256.0	209.0	80.0	213.0	216.0	41.0	27.0	23.0	291.0	12.0	341.0
5	250.0	0.0	25.0	20.0	15.0	21.0	93.0	42.0	22.0	46.0	347.0	14.0	21.0	283.0	249.0	255.0	251.0	285.0	352.0	19.0	25.0	41.0	23.0	11.0
6	39.0	18.0	14.0	8.0	20.0	15.0	17.0	6.0	247.0	204.0	49.0	30.0	16.0	285.0	254.0	251.0	250.0	249.0	251.0	333.0	17.0	29.0	30.0	31.0
7	31.0	23.0	36.0	16.0	26.0	20.0	18.0	5.0	229.0	352.0	30.0	25.0	19.0	24.0	15.0	321.0	251.0	251.0	5.0	19.0	29.0	30.0	13.0	9.0
8	340.0	7.0	14.0	18.0	14.0	14.0	4.0	11.0	344.0	29.0	21.0	20.0	18.0	23.0	2.0	243.0	9.0	180.0	214.0	356.0	204.0	173.0	199.0	195.0
9	194.0	64.0	89.0	211.0	214.0	197.0	354.0	16.0	15.0	13.0	19.0	23.0	27.0	15.0	208.0	197.0	232.0	256.0	93.0	205.0	214.0	212.0	235.0	6.0
10	8.0	24.0	16.0	207.0	33.0	216.0	278.0	236.0	217.0	197.0	97.0	36.0	30.0	354.0	251.0	227.0	198.0	213.0	221.0	17.0	247.0	3.0	345.0	42.0
11	235.0	214.0	207.0	221.0	223.0	224.0	195.0	185.0	265.0	28.0	33.0	26.0	23.0	19.0	286.0	252.0	252.0	343.0	23.0	41.0	37.0	31.0	24.0	8.0
12	221.0	210.0	206.0	211.0	206.0	225.0	230.0	224.0	225.0	200.0	23.0	23.0	23.0	10.0	252.0	249.0	253.0	253.0	316.0	35.0	38.0	33.0	24.0	29.0
13	26.0	213.0	207.0	204.0	204.0	197.0	189.0	188.0	206.0	54.0	119.0	29.0	16.0	21.0	254.0	254.0	273.0	264.0	358.0	27.0	28.0	37.0	16.0	15.0
14	14.0	11.0	6.0	234.0	212.0	209.0	220.0	211.0	167.0	64.0	27.0	28.0	21.0	340.0	254.0	252.0	249.0	250.0	254.0	340.0	12.0	23.0	23.0	21.0
15	14.0	21.0	250.0	216.0	228.0	239.0	224.0	211.0	208.0	87.0	77.0	132.0	245.0	258.0	252.0	244.0	250.0	249.0	252.0	17.0	35.0	32.0	30.0	21.0
16	14.0	14.0	12.0	228.0	213.0	205.0	208.0	231.0	236.0	217.0	31.0	20.0	28.0	275.0	250.0	248.0	254.0	250.0	247.0	30.0	27.0	13.0	11.0	24.0
17	226.0	222.0	195.0	192.0	206.0	198.0	203.0	200.0	188.0	104.0	18.0	26.0	24.0	17.0	263.0	255.0	250.0	252.0	273.0	22.0	39.0	25.0	12.0	237.0
18	229.0	204.0	194.0	192.0	203.0	200.0	199.0	199.0	175.0	78.0	47.0	22.0	18.0	12.0	259.0	259.0	257.0	259.0	278.0	12.0	34.0	33.0	351.0	233.0
19	227.0	205.0	188.0	194.0	195.0	199.0	200.0	190.0	171.0	93.0	48.0	24.0	10.0	256.0	255.0	254.0	251.0	252.0	252.0	338.0	48.0	260.0	229.0	213.0
20	201.0	206.0	201.0	190.0	200.0	197.0	199.0	194.0	207.0	42.0	43.0	18.0	27.0	21.0	350.0	301.0	358.0	10.0	15.0	27.0	41.0	33.0	33.0	24.0
21	22.0	71.0	209.0	267.0	250.0	210.0	216.0	211.0	234.0	67.0	32.0	23.0	27.0	20.0	268.0	248.0	252.0	254.0	5.0	27.0	34.0	34.0	25.0	22.0
22	3.0	15.0	189.0	211.0	226.0	207.0	221.0	199.0	143.0	61.0	67.0	18.0	20.0	23.0	358.0	4.0	326.0	11.0	23.0	34.0	36.0	35.0	25.0	26.0
23	15.0	16.0	22.0	16.0	16.0	13.0	21.0	16.0	17.0	36.0	37.0	20.0	20.0	19.0	21.0	12.0	293.0	13.0	23.0	24.0	29.0	32.0	20.0	21.0
24	349.0	208.0	208.0	207.0	184.0	190.0	191.0	197.0	82.0	53.0	20.0	17.0	18.0	19.0	17.0	248.0	250.0	289.0	18.0	30.0	31.0	37.0	16.0	63.0
25	216.0	206.0	188.0	194.0	194.0	191.0	194.0	205.0	156.0	50.0	54.0	16.0	19.0	23.0	305.0	250.0	262.0	6.0	16.0	22.0	26.0	22.0	32.0	55.0
26	51.0	54.0	236.0	128.0	298.0	171.0	259.0	204.0	359.0	28.0	54.0	30.0	39.0	254.0	252.0	258.0	356.0	310.0	331.0	37.0	44.0	35.0	24.0	11.0
27	18.0	13.0	16.0	14.0	296.0	15.0	321.0	355.0	10.0	82.0	32.0	13.0	17.0	19.0	23.0	16.0	23.0	42.0	25.0	14.0	15.0	21.0	21.0	12.0
28	17.0	38.0	7.0	1.0	242.0	209.0	36.0	35.0	49.0	30.0	354.0	25.0	360.0	283.0	249.0	234.0	220.0	220.0	209.0	213.0	207.0	346.0	210.0	218.0
29	23.0	33.0	30.0	222.0	206.0	192.0	193.0	139.0	211.0	210.0	91.0	29.0	359.0	293.0	260.0	5.0	47.0	23.0	264.0	343.0	38.0	35.0	28.0	16.0
30	37.0	13.0	315.0	20.0	14.0	20.0	5.0	19.0	21.0	28.0	23.0	13.0	16.0	17.0	344.0	253.0	250.0	247.0	258.0	27.0	220.0	22.0	15.0	23.0
31	17.0	35.0	29.0	262.0	259.0	18.0	224.0	170.0	34.0	26.0	22.0	18.0	24.0	22.0	13.0	252.0	248.0	249.0	254.0	26.0	23.0	22.0	21.0	16.0

Resumen por Hora de Datos sobre Velocidad del Viento

Empresa: Minera Barrick Misquichilca - Unidad Pierina
Estación : HUARAZ
Mes : Enero 2008

	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	MIN	MAX	PROM
1	1.0	0.4	0.2	0.1	0.4	0.3	0.4	0.7	0.4	0.4	0.9	1.5	2.0	1.8	3.1	3.4	2.0	2.1	0.9	1.8	1.8	0.8	1.2	0.9	**0.1**	**3.4**	**1.2**
2	0.4	0.5	0.2	0.9	0.6	0.3	0.2	0.3	0.4	0.8	1.7	3.1	2.4	1.8	4.0	1.4	1.0	0.7	0.6	0.4	1.0	1.1	0.4	0.4	**0.2**	**4.0**	**1.0**
3	0.4	0.6	0.1	0.1	0.4	0.3	0.3	0.4	0.1	0.2	1.1	1.7	3.1	2.7	3.0	2.9	3.1	0.8	1.3	1.9	1.1	1.3	0.4	0.3	**0.1**	**3.1**	**1.1**
4	1.0	1.0	1.0	0.9	0.3	0.4	0.1	1.0	1.8	2.0	1.2	2.5	3.2	1.8	0.7	0.7	1.2	1.6	1.2	0.7	1.0	0.3	0.5	0.3	**0.1**	**3.2**	**1.1**
5	0.2	0.1	1.1	0.9	0.6	0.7	0.1	0.1	0.8	0.3	0.5	2.3	3.1	1.1	2.4	2.2	2.4	0.8	0.6	2.1	2.4	2.2	1.3	0.8	**0.1**	**3.1**	**1.2**
6	0.4	0.8	1.0	0.4	0.5	0.9	1.0	0.7	0.5	0.3	0.5	0.9	2.4	1.1	1.7	3.4	2.9	2.6	2.6	1.0	2.0	2.2	1.9	1.7	**0.3**	**3.4**	**1.4**
7	1.5	1.2	0.6	1.5	1.0	1.1	0.7	0.3	0.4	0.3	0.6	2.2	3.5	3.6	2.3	0.9	2.3	2.2	1.5	3.1	3.1	1.6	0.6	1.0	**0.3**	**3.6**	**1.5**
8	0.5	0.4	1.0	1.1	0.8	0.9	0.3	0.5	0.2	0.6	2.4	2.2	3.0	3.6	0.9	0.9	1.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.2	0.6	0.8	**0.2**	**3.6**	**1.0**
9	0.8	0.1	0.2	0.5	0.5	0.4	0.1	1.1	0.5	1.1	1.9	1.2	2.8	2.8	0.8	0.9	0.6	0.6	0.2	0.3	0.8	0.6	0.2	0.3	**0.1**	**2.8**	**0.8**
10	0.2	0.4	0.5	0.3	0.6	0.3	0.1	0.0	0.1	0.3	0.3	0.7	1.0	1.1	2.8	2.4	1.7	0.7	0.6	1.4	0.3	0.3	0.1	0.2	**0.0**	**2.8**	**0.7**
11	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	0.3	0.6	0.6	0.1	0.2	0.6	2.4	3.6	2.4	1.1	1.8	1.7	1.2	2.5	1.9	2.0	1.3	0.6	0.5	**0.1**	**3.6**	**1.1**
12	0.6	0.7	0.8	0.6	0.9	0.7	0.3	0.7	1.0	0.3	0.8	1.1	1.6	2.0	2.6	2.5	2.1	2.0	0.2	1.8	2.4	2.5	1.8	0.9	**0.2**	**2.6**	**1.3**
13	0.9	0.1	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	0.4	0.1	0.8	1.4	1.9	1.5	1.8	0.9	1.1	0.7	2.6	2.8	1.7	1.5	1.0	**0.1**	**2.8**	**1.0**
14	1.0	0.9	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	0.3	0.2	1.0	1.0	2.4	1.1	2.1	2.4	2.3	2.5	2.6	0.6	1.5	1.3	0.8	0.9	**0.2**	**2.6**	**1.2**
15	1.0	0.6	0.3	1.0	0.8	1.0	1.3	1.7	0.8	0.3	0.2	0.2	0.8	1.4	1.8	2.5	3.4	3.1	1.8	1.1	2.7	2.5	2.2	1.3	**0.2**	**3.4**	**1.4**
16	1.1	1.1	0.9	0.7	0.8	0.7	0.9	0.6	0.4	0.4	0.8	1.5	1.1	0.6	2.2	2.3	2.1	2.7	1.3	0.8	2.1	0.6	0.4	0.6	**0.4**	**2.7**	**1.1**
17	0.1	0.4	1.0	1.2	1.5	1.6	1.9	1.4	0.5	0.1	0.7	1.3	3.4	2.6	1.7	2.3	2.5	2.6	0.6	1.9	2.2	1.0	0.2	0.4	**0.1**	**3.4**	**1.4**
18	0.4	0.8	1.0	1.2	1.6	1.4	1.5	1.2	0.3	0.3	0.7	2.3	3.1	2.5	2.2	3.1	3.1	3.5	1.1	0.4	0.6	0.4	0.2	0.5	**0.2**	**3.5**	**1.4**
19	0.4	0.6	0.9	1.3	1.4	1.5	1.5	0.8	0.4	0.4	0.8	2.7	1.7	2.0	2.4	2.6	2.3	2.4	1.9	0.3	0.5	0.3	0.5	0.8	**0.3**	**2.7**	**1.3**
20	0.7	0.9	1.2	1.2	1.5	1.4	1.6	1.5	0.4	0.1	0.7	2.0	3.3	3.6	1.1	0.7	1.0	2.6	2.9	3.8	2.4	3.6	2.1	1.4	**0.1**	**3.8**	**1.7**
21	1.0	0.1	0.8	0.4	0.4	0.6	0.4	0.6	0.1	0.3	1.0	3.9	3.4	3.3	1.6	2.3	2.0	1.2	1.1	2.4	3.3	2.1	1.7	1.1	**0.1**	**3.9**	**1.5**
22	0.5	0.2	0.3	0.2	0.2	0.8	0.6	0.6	0.2	0.4	0.6	1.8	3.5	3.9	1.5	1.6	0.8	1.6	2.4	2.8	2.5	2.3	1.7	1.3	**0.2**	**3.9**	**1.3**
23	0.9	1.4	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	0.5	0.6	0.8	2.5	3.2	3.2	4.1	3.3	0.9	2.9	3.0	3.1	2.9	1.7	1.2	0.5	**0.5**	**4.1**	**1.8**
24	0.1	0.8	0.8	0.8	0.5	0.4	0.7	0.7	0.4	0.7	0.7	2.2	3.2	3.6	2.9	2.1	2.5	0.8	2.9	3.4	3.1	1.5	0.5	0.1	**0.1**	**3.6**	**1.5**
25	0.5	0.7	0.7	0.9	0.9	1.1	1.3	1.0	0.2	0.2	0.5	1.7	3.1	3.1	1.2	2.5	1.0	0.9	2.4	2.9	2.8	1.9	1.0	0.3	**0.2**	**3.1**	**1.4**
26	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8	1.7	1.1	1.5	1.3	1.3	1.1	0.6	0.3	1.0	1.0	0.5	0.8	1.1	**0.1**	**1.7**	**0.7**
27	1.1	0.8	0.8	0.4	0.1	0.4	0.2	0.2	0.4	0.2	1.5	2.2	2.6	3.3	1.9	2.7	2.8	0.3	0.5	1.0	1.3	1.2	1.1	0.6	**0.1**	**3.3**	**1.1**
28	0.6	0.7	0.2	0.4	0.4	0.1	0.3	0.4	0.6	0.4	0.1	0.7	0.8	0.8	2.1	1.2	1.1	1.0	1.6	1.8	0.7	0.2	0.5	0.6	**0.1**	**2.1**	**0.7**
29	0.9	1.0	0.3	0.6	0.6	0.4	0.3	0.2	1.0	1.2	0.4	0.7	0.8	0.7	1.9	0.9	0.4	0.9	0.6	0.2	1.7	1.2	1.0	1.0	**0.2**	**1.9**	**0.8**
30	1.0	0.7	0.2	0.9	0.6	0.6	0.4	1.3	1.1	0.5	0.9	1.6	1.4	1.9	1.0	0.8	0.8	0.7	1.3	1.9	1.0	1.6	1.5	1.5	**0.2**	**1.9**	**1.0**
31	1.0	0.7	0.5	0.2	0.2	0.8	0.4	0.2	0.4	0.8	0.6	2.2	2.4	2.7	2.0	1.3	2.7	2.6	2.0	1.5	1.7	1.6	1.1	0.6	**0.2**	**2.7**	**1.3**
																									0.0	**4.1**	**1.2**

Resumen por Hora de Datos sobre Humedad Relativa

Empresa: Minera Barrick Misquichilca - Unidad Pierina
Estación : HUARAZ
Mes : Enero 2008

	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	MIN	MAX	PROM
1	68.0	67.6	65.8	69.8	72.4	72.0	74.5	73.0	58.3	39.9	29.2	23.8	22.2	19.3	18.2	21.4	26.4	30.7	36.5	49.4	53.4	56.5	65.2	67.5	**18.2**	**74.5**	**49.2**
2	65.1	69.0	74.9	73.8	74.9	74.7	75.0	74.9	59.3	37.2	28.2	28.3	29.1	23.2	25.4	28.0	33.8	43.3	59.7	59.3	59.1	67.0	75.3	78.9	**23.2**	**78.9**	**54.9**
3	76.8	72.0	69.5	71.4	73.3	71.6	69.6	70.3	57.7	43.6	34.0	29.5	22.0	18.3	19.8	25.4	37.3	42.5	48.6	55.8	56.1	60.0	60.6	58.3	**18.3**	**76.8**	**51.8**
4	67.4	67.8	64.5	64.6	64.8	65.5	73.1	69.9	58.9	41.9	32.5	31.7	27.7	28.5	53.7	78.5	74.2	65.2	66.7	75.7	76.7	77.2	79.4	78.2	**27.7**	**79.4**	**61.8**
5	77.6	76.9	87.4	83.2	78.9	78.2	82.0	78.3	62.4	41.8	33.0	33.2	28.2	31.7	37.3	30.9	28.6	36.1	45.5	51.9	55.4	58.5	57.8	62.8	**28.2**	**87.4**	**55.7**
6	60.8	62.4	66.1	66.1	66.0	69.1	71.4	65.1	55.1	37.4	25.1	20.2	18.3	23.4	27.2	30.0	34.6	36.5	41.7	43.7	53.3	58.4	58.1	61.5	**18.3**	**71.4**	**48.0**
7	63.3	68.2	65.5	68.8	66.3	66.9	63.5	60.0	51.7	38.3	32.9	29.0	26.0	17.6	18.8	16.6	23.0	31.2	46.3	59.1	59.5	58.9	58.8	60.6	**16.6**	**68.8**	**48.0**
8	61.7	58.6	64.5	65.5	63.3	65.1	65.0	59.9	53.1	39.2	36.4	36.8	29.5	34.5	45.3	46.4	57.6	83.0	81.3	80.3	79.6	79.7	80.2	81.3	**29.5**	**83.0**	**60.3**
9	75.4	63.9	64.9	62.9	64.6	65.7	65.1	66.9	60.8	52.9	45.2	35.2	24.8	34.3	56.3	58.8	56.3	54.5	52.3	57.5	59.5	59.6	61.8	64.5	**24.8**	**75.4**	**56.8**
10	73.7	76.7	71.2	72.7	72.6	74.8	75.5	77.2	64.3	40.6	27.5	23.9	17.6	16.5	25.7	34.6	66.3	64.4	61.5	57.2	60.3	66.4	71.1	73.3	**16.5**	**77.2**	**56.9**
11	74.6	77.1	78.0	74.9	72.8	78.4	73.4	60.9	59.3	38.1	27.3	27.7	22.1	17.4	18.0	20.8	25.1	29.3	42.1	48.5	54.2	58.1	58.2	60.1	**17.4**	**78.4**	**49.9**
12	63.1	65.1	62.8	60.4	59.3	57.5	58.5	57.9	46.9	31.0	22.9	19.4	17.2	15.4	16.4	16.7	19.2	22.1	29.9	43.2	47.8	50.8	52.2	53.4	**15.4**	**65.1**	**41.2**
13	58.5	58.1	60.4	61.9	63.6	64.4	64.6	58.7	48.0	35.6	24.6	15.2	9.0	8.7	13.2	20.2	25.2	31.4	38.3	49.3	58.6	60.7	64.1	65.1	**8.7**	**65.1**	**44.1**
14	64.0	66.3	68.7	65.3	66.5	65.3	61.1	55.7	50.9	35.8	16.1	9.8	9.7	9.7	13.9	17.7	20.1	17.5	14.3	11.9	47.5	59.9	67.4	66.8	**9.7**	**68.7**	**40.9**
15	55.1	48.3	48.3	45.4	43.7	44.4	41.0	38.6	35.4	30.2	22.3	10.7	9.3	9.7	10.8	25.3	34.1	39.3	37.6	43.2	55.1	57.3	60.3	61.4	**9.3**	**61.4**	**37.8**
16	68.5	70.9	69.0	59.6	57.2	58.3	57.6	41.7	40.0	28.8	14.2	10.0	9.3	9.5	10.1	12.6	18.4	21.9	13.8	27.6	47.0	50.8	53.8	51.7	**9.3**	**70.9**	**37.6**
17	48.8	52.2	45.8	45.8	44.8	45.0	41.3	33.6	28.0	17.0	9.6	9.2	9.2	9.1	8.9	9.3	11.0	12.4	14.7	25.7	28.8	29.8	33.5	35.4	**8.9**	**52.2**	**27.0**
18	39.2	44.0	42.2	44.7	43.4	44.3	42.9	32.2	25.3	15.8	10.1	9.9	9.2	8.8	8.9	9.1	9.3	9.6	14.8	20.3	20.3	24.1	25.3	30.6	**8.8**	**44.7**	**24.3**
19	34.3	39.2	37.1	37.1	36.2	35.2	33.6	25.4	17.3	11.7	9.2	9.1	9.0	8.9	9.1	9.1	9.3	9.5	10.0	10.3	15.3	24.2	26.1	27.9	**8.9**	**39.2**	**20.6**
20	28.2	28.3	31.0	30.7	27.6	29.7	26.6	19.4	15.0	11.6	9.6	9.3	9.2	8.9	8.9	9.2	9.9	13.2	26.4	40.4	44.3	53.3	56.6	58.4	**8.9**	**58.4**	**25.2**
21	50.1	51.9	53.9	52.9	54.8	56.9	51.3	46.7	37.7	27.2	13.1	14.2	13.3	13.1	12.3	12.3	13.0	17.1	26.2	34.5	39.4	42.5	44.2	44.9	**12.3**	**56.9**	**34.3**
22	54.5	57.4	59.7	61.8	63.2	65.9	63.0	52.4	39.2	30.1	22.1	15.1	15.6	16.1	20.3	19.7	27.2	36.4	43.7	51.2	55.2	56.1	55.5	56.2	**15.1**	**65.9**	**43.2**
23	54.3	54.0	52.6	55.4	57.7	59.7	57.3	48.1	42.7	29.5	26.5	24.2	25.4	16.0	16.2	18.4	32.2	28.4	34.4	36.3	38.6	40.4	46.2	47.0	**16.0**	**59.7**	**39.2**
24	50.0	54.2	55.0	53.7	52.6	50.4	47.5	34.2	32.4	26.0	17.6	11.8	13.9	10.0	9.4	15.4	22.5	23.8	27.1	32.6	30.9	27.3	33.8	38.2	**9.4**	**55.0**	**32.1**
25	40.5	43.0	46.9	48.1	46.9	48.3	46.3	36.1	30.2	22.2	12.6	11.6	10.2	12.7	11.6	13.4	19.6	25.1	32.2	33.7	31.2	31.0	35.8	34.7	**10.2**	**48.3**	**30.2**
26	36.0	37.2	37.5	37.8	38.3	45.0	42.9	41.5	34.7	24.1	21.1	23.3	21.8	15.9	20.2	23.0	28.4	41.0	66.4	75.3	74.8	75.9	77.0	83.4	**15.9**	**83.4**	**42.6**
27	61.6	54.1	44.3	58.0	70.8	76.2	73.0	66.7	65.4	53.1	44.8	41.5	38.7	47.8	42.8	38.3	51.3	73.9	76.9	72.2	75.5	75.9	73.9	75.0	**38.3**	**76.9**	**60.5**
28	82.9	83.6	84.4	82.6	80.6	80.7	81.1	76.3	78.0	56.9	42.3	34.9	27.5	29.1	39.1	54.3	60.6	48.8	47.5	48.7	49.7	61.1	67.5	66.3	**27.5**	**84.4**	**61.0**
29	72.4	72.4	71.8	69.8	75.5	72.2	69.7	60.7	55.0	39.9	29.9	21.8	21.3	21.5	35.8	49.0	51.7	48.2	49.7	55.1	62.0	65.2	66.5	72.0	**21.3**	**75.5**	**54.5**
30	66.3	82.6	81.9	81.7	82.4	80.8	80.7	77.7	68.3	52.3	36.3	34.0	27.6	23.7	21.0	29.2	48.5	46.7	45.7	55.0	68.0	74.1	85.1	82.5	**21.0**	**85.1**	**59.7**
31	81.0	78.4	76.4	76.3	79.7	78.1	74.8	70.7	64.0	43.7	33.0	32.6	21.4	18.0	16.4	29.3	34.2	36.8	42.1	47.7	64.8	63.8	61.3	57.7	**16.4**	**81.0**	**53.4**
																									8.7	**87.4**	**45.3**

Resumen por Hora de Datos sobre Temperatura Ambiental

Empresa: Minera Barrick Misquichilca - Unidad Pierina
Estación : HUARAZ
Mes : Enero 2008

	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	MIN	MAX	PROM
1	10.3	10.4	10.5	9.9	9.9	9.8	9.5	10.9	15.6	19.5	21.2	22.2	22.3	22.9	23.6	22.7	21.2	19.5	17.2	15.2	14.2	13.4	12.2	11.6	**9.5**	**23.6**	**15.7**
2	11.4	10.9	10.2	9.7	9.2	9.0	8.9	10.7	15.3	18.9	20.9	21.2	20.7	22.0	21.4	20.4	18.8	16.9	14.2	14.2	13.2	12.2	11.4	11.2	**8.9**	**22.0**	**14.7**
3	11.3	10.9	11.1	10.8	10.3	9.9	9.7	10.8	14.7	18.5	20.6	21.4	22.3	22.8	22.3	20.8	17.8	16.7	15.2	13.6	12.9	12.3	11.7	11.7	**9.7**	**22.8**	**15.0**
4	11.3	11.0	11.0	11.1	11.1	11.0	10.4	11.3	13.9	16.7	19.6	20.5	21.4	21.3	14.7	9.0	12.2	12.5	12.3	11.3	10.4	10.2	10.3	10.3	**9.0**	**21.4**	**13.1**
5	10.6	10.6	9.5	9.5	9.5	9.4	9.7	11.5	13.9	18.0	19.2	19.5	20.9	20.4	19.2	20.1	19.9	18.0	15.7	14.0	12.7	11.8	11.3	10.7	**9.4**	**20.9**	**14.4**
6	10.8	10.5	10.1	9.9	9.7	9.3	9.1	10.2	12.9	17.2	19.1	20.5	21.3	21.5	20.6	18.9	16.9	16.0	14.1	13.7	12.7	11.8	11.3	10.8	**9.1**	**21.5**	**14.1**
7	10.2	9.6	9.4	8.9	8.7	8.6	8.7	10.0	12.4	16.0	17.8	19.0	19.2	21.1	21.0	21.0	17.9	16.3	13.8	11.5	10.9	10.6	10.4	10.1	**8.6**	**21.1**	**13.5**
8	9.7	9.6	9.3	9.1	9.1	9.2	9.3	10.6	12.6	17.2	15.9	17.2	19.0	17.5	15.2	14.7	12.4	9.7	9.8	9.7	9.7	9.3	8.7	8.3	**8.3**	**19.0**	**11.8**
9	8.4	8.5	8.6	8.7	8.6	8.3	8.5	8.9	10.3	13.3	15.4	18.1	20.0	17.0	12.5	11.4	12.0	12.5	11.9	11.0	10.6	10.3	10.1	10.0	**8.3**	**20.0**	**11.5**
10	9.7	9.2	9.0	8.9	8.4	8.0	7.8	9.1	13.1	17.6	20.2	20.6	22.1	23.0	20.4	18.0	12.0	13.5	13.5	12.7	11.8	11.1	10.2	9.5	**7.8**	**23.0**	**13.3**
11	8.8	8.0	7.5	7.3	7.0	6.5	6.6	8.3	12.5	17.1	19.0	19.5	20.6	22.0	21.4	20.1	18.1	17.8	15.5	14.3	12.9	11.6	10.7	9.9	**6.5**	**22.0**	**13.5**
12	9.3	8.9	9.3	9.6	9.4	9.1	8.8	10.0	13.3	17.3	19.8	21.2	22.6	23.3	22.0	20.7	19.5	18.4	17.1	14.9	13.5	12.3	11.2	10.4	**8.8**	**23.3**	**14.7**
13	9.5	9.2	8.8	8.6	8.4	8.0	8.2	9.8	13.2	17.1	20.0	21.4	22.7	23.8	23.1	21.5	20.3	18.5	15.8	13.6	11.9	11.0	10.3	10.2	**8.0**	**23.8**	**14.4**
14	10.3	10.1	9.6	9.2	8.5	8.2	8.4	9.4	12.8	18.1	20.1	21.8	22.8	23.1	21.2	20.6	19.4	17.6	15.6	14.9	12.7	11.2	9.9	9.2	**8.2**	**23.1**	**14.4**
15	9.3	9.7	9.4	8.8	8.0	7.0	6.7	7.6	10.4	15.0	17.6	20.5	21.7	21.5	21.3	18.1	15.7	14.1	13.2	12.1	10.5	9.5	9.0	8.9	**6.7**	**21.7**	**12.7**
16	8.5	8.0	7.5	7.1	6.6	6.0	5.8	7.5	10.2	15.1	18.0	18.7	20.8	21.3	20.0	17.8	16.8	15.3	14.1	12.8	11.1	9.9	8.7	7.6	**5.8**	**21.3**	**12.3**
17	6.9	6.3	5.9	5.2	4.7	4.2	4.0	5.1	10.5	16.0	18.2	19.9	20.5	21.5	21.8	20.6	19.0	17.4	15.0	12.8	11.4	10.0	8.7	7.7	**4.0**	**21.8**	**12.2**
18	6.6	6.1	5.8	5.3	4.7	4.1	3.8	5.0	10.3	16.0	18.3	19.2	21.1	22.3	22.2	21.2	20.2	18.7	15.9	13.7	12.2	10.5	9.2	7.8	**3.8**	**22.3**	**12.5**
19	6.7	6.1	5.6	5.0	4.6	4.0	3.7	4.9	10.8	17.0	20.2	21.0	22.0	21.9	21.4	21.0	19.9	18.6	16.4	15.0	13.2	11.3	9.7	8.4	**3.7**	**22.0**	**12.9**
20	7.4	6.5	5.7	5.2	4.8	4.4	4.2	5.6	10.2	15.9	18.5	19.6	20.6	21.9	22.4	21.8	20.6	17.6	14.0	11.3	10.4	9.1	8.0	7.2	**4.2**	**22.4**	**12.2**
21	6.7	6.2	5.7	5.2	4.6	4.2	4.3	5.5	10.2	15.5	17.4	17.7	19.2	20.1	19.8	18.3	17.2	15.4	13.8	11.6	10.6	9.8	9.0	8.2	**4.2**	**20.1**	**11.5**
22	7.6	6.8	6.0	5.4	5.0	4.3	4.3	5.6	9.2	13.9	16.7	18.0	18.4	19.4	19.4	18.8	16.6	13.8	11.8	10.2	9.0	8.4	8.3	8.0	**4.3**	**19.4**	**11.0**
23	7.8	7.5	7.4	7.1	6.9	6.7	6.8	7.7	10.6	14.1	15.3	16.7	16.8	19.4	18.8	17.4	15.4	15.0	12.4	10.6	9.4	8.7	7.9	7.2	**6.7**	**19.4**	**11.4**
24	6.8	5.8	5.3	5.2	5.3	5.7	6.1	7.6	10.5	13.8	17.0	18.4	19.5	21.1	21.9	19.5	17.9	16.9	13.8	11.7	10.7	9.9	8.9	7.9	**5.2**	**21.9**	**12.0**
25	7.2	6.8	6.4	6.0	5.8	5.4	5.4	6.6	11.4	16.3	19.3	20.1	21.6	21.7	21.5	19.2	18.4	17.3	15.0	13.1	12.3	11.8	10.9	10.6	**5.4**	**21.7**	**12.9**
26	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	9.6	9.5	10.8	14.6	18.2	20.2	19.4	19.5	20.7	17.6	17.4	17.4	13.9	11.2	9.7	9.1	9.0	8.7	7.8	**7.8**	**20.7**	**13.1**
27	7.2	7.1	6.9	7.0	7.3	7.1	7.3	8.5	10.3	13.5	15.0	15.9	16.6	14.7	15.4	16.4	13.9	11.1	10.0	9.7	9.3	8.9	9.0	8.8	**6.9**	**16.6**	**10.7**
28	8.8	8.5	8.3	8.5	8.2	7.7	7.3	8.4	11.5	15.5	18.0	19.4	20.8	21.1	16.7	14.2	14.6	15.4	13.5	12.4	12.0	11.2	10.2	9.3	**7.3**	**21.1**	**12.6**
29	9.0	9.3	9.3	8.9	8.1	7.4	7.2	8.7	11.7	15.4	19.2	20.6	21.8	22.5	17.4	14.1	14.9	15.1	14.2	12.5	11.6	11.2	10.9	10.3	**7.2**	**22.5**	**13.0**
30	10.3	9.4	9.2	9.1	9.1	9.2	9.3	9.8	11.8	15.5	17.9	18.3	20.3	21.8	22.8	19.8	15.7	14.7	15.0	14.7	12.0	10.6	9.6	9.4	**9.1**	**22.8**	**13.6**
31	9.0	8.6	8.9	9.0	8.5	8.5	8.9	9.6	12.1	15.8	18.0	19.0	20.8	22.2	22.8	19.8	17.8	16.7	14.9	14.1	11.9	10.9	10.3	10.1	**8.5**	**22.8**	**13.7**
																									3.7	**23.8**	**13.0**