

V. Problemática específica.

5.1 Detección y cuantificación. Toma de muestras. Captadores.

5.1.1 Métodos de detección y cuantificación de contaminantes.

No existe ningún equipo único que pueda medir todos los contaminantes del aire. En el aire existen partículas, gases, contaminantes que se descomponen ante la luz solar, otros que reaccionan muy rápidamente al contacto con superficies y algunos muy estables.

Dado que cada contaminante del aire es diferente, los científicos han tenido que idear distintos tipos de equipos para medir la contaminación del aire. En la actualidad, hay miles de equipos diferentes que miden niveles de contaminación del aire.

Podemos distinguir de forma general dos metodologías a la hora de medir la contaminación en una determinada zona:

- Medidas directas:

Se trata de un procedimiento en el que se utiliza una cámara para la medida de las concentraciones de forma directa. Se hace entrar dentro de la cámara las emisiones del área a estudiar. En la cámara se mezcla con aire limpio o con nitrógeno, cuya cantidad está fijada. Un analizador mide la concentración de contaminantes. El flujo emitido es la concentración del gas de salida multiplicado por la razón del flujo y dividido por el área cubierta por la cámara.

Para áreas de superficie mayores de 10.000 m², las medidas se deben llevar a cabo en varios puntos para obtener una emisión media. La cantidad de medidas dependerá de la precisión requerida y del tamaño de la fuente.

Las cámaras de flujo son adecuadas para áreas de tamaño mediano o pequeño en las que la concentración de contaminante es homogénea. Al estar la cámara aislada, las medidas son independientes del viento y otras condiciones meteorológicas y pueden ser comparadas con las medidas de diferentes días y sitios. (Liu et al, 2000)

- Medidas Indirectas:

Son los métodos más adecuados para las medidas de emisiones de fuentes grandes y heterogéneas. Se lleva a cabo la toma de muestras en zonas próximas a la fuente.

La principal desventaja de este método es la gran dependencia de los resultados en las condiciones meteorológicas, las cuales pueden incluso invalidar las medidas. Influyen también los edificios y orografía del terreno en la dispersión de los contaminantes limitando las simplificaciones posibles. También es importante la sensibilidad de los aparatos de medida, ya que estos pueden no detectar concentraciones por debajo de su límite de medida.

Una metodología utilizada para la toma de medidas es tomar muestras aguas arriba y aguas debajo de la fuente contaminante, se restan las concentraciones de ambos y se divide por el tiempo de paso a través de la fuente. También es posible liberar marcadores gaseosos en la fuente para poder estudiar su dispersión. Al conocer la concentración del trazador y la cantidad de este se puede estudiar su evolución y aplicar estos conocimientos a otros componentes expulsados por la fuente. (Liu et al, 2000)

5.1.2 Toma de muestras.

Todas las sustancias del aire se presentan como gas, vapor o partículas. La distinción es sencilla, gas y vapor consisten en sustancias dispersas en la atmósfera como moléculas, mientras que las partículas son agregaciones mayores de moléculas lo suficientemente grandes como para describir el comportamiento de partículas. Las partículas pueden filtrarse, precipitarse. Por el contrario, los gases y vapores están mezclados homogéneamente con el aire y no se comportan del mismo modo que las partículas.

Para llevar a cabo un muestreo, es necesario tener un conocimiento previo del estado físico de los contaminantes. Los sistemas adecuados para recoger materia particulada no suelen ser adecuados para gases o vapores.

Son comunes algunos problemas a la hora de muestrear el aire del ambiente. Por ejemplo, la concentración de contaminantes en el aire es a menudo extremadamente baja, incluso en zonas consideradas muy contaminadas. Además algunas sustancias, debido a su reactividad, experimentan cambios al ser retiradas del aire por lo que darán resultados erróneos. Se deben llevar a cabo especiales medidas para minimizar los cambios.

En cualquier caso, una sustancia retirada de su medio va a experimentar cambios, por tanto los resultados no nos darán la información que buscamos. Es necesario desarrollar métodos que no impliquen mover los contaminantes de su medio para poder medirlos.

El muestreo puede ser de dos tipos:

- Muestreo activo: consiste en la recolección del material suspendido en el aire mediante un movimiento de aire forzado realizado por una bomba de muestreo de aire a través del medio de muestreo apropiado. La bomba sirve para recoger y/o concentrar el compuesto químico de interés.
- Muestreo pasivo: es la recolección de gases y vapores suspendidos en el aire a un flujo controlado por un proceso físico como la difusión a través de una capa de aire estática o la permeabilidad a través de una membrana sin movimiento activo del aire a través de un muestreador de aire.

(Liu et al, 2000)

5.1.3 Captadores.

Vamos a repasar los medios más utilizados para muestreo activo. Los muestreadores activos se caracterizan por incorporar las siguientes partes:

- Bomba de muestreo: algo para aspirar o empujar el aire
- Tren de muestreo: algo a través del cual aspirar o empujar aire
- Calibrador: algo que indique la cantidad de aire que se ha aspirado o empujado
- Medio de muestreo: donde es conservado el contaminante a analizar.

(<http://www.estrucplan.com.ar/Servicios/Shml-Contaminantes.htm>)

5.1.3.1 Muestreo de sustancias en fase gas y vapor.

- Recogida en colectores o bolsas.

El modo más simple de tomar muestras es llenar una botella o cualquier otro recipiente adecuado con aire. Este método es sencillo aunque cuenta con el problema del tamaño de la muestra, que resulta muy limitado. Recipientes de gran tamaño crearán dificultades en el transporte y manipulación. El aire recogido puede ser analizado con espectroscopía de gases.

Los métodos de recogida de aire son simples, se puede vaciar la bolsa del aire que lleva y llenar con el aire atmosférico, también se puede llenar de agua y vaciar para que el lugar del agua sea ocupado por aire, o bien se puede bombear aire al interior del recipiente.

Es importante la elección de la bolsa utilizada. Es posible que esta permita que algunos contaminantes se escapen, también puede aportar contaminantes a la muestra. También es posible que se produzca reacción entre la sustancia muestreada y la bolsa. En general se recomienda que el análisis se lleve a cabo tan pronto como sea posible tras la toma de muestras.

Este método está recomendado para gases inertes, sobre todo en zonas donde sea necesario hacer medidas frecuentemente, ya que este método resulta económico. (Liu et al, 2000)

- Absorción.

El control de las fuentes de contaminantes gaseosos por lavado con líquidos implica poner en contacto el gas efluente impuro con el líquido limpiador y separar posteriormente el gas limpio del líquido contaminado. En el proceso de limpieza el gas contaminante es adsorbido por el líquido de limpieza. Los gradientes de concentración en las interfases entre el líquido y el gas, sirven como fuerzas impulsoras. El proceso se acelera con grandes áreas superficiales de interfase, turbulencias y grandes coeficientes de difusión de masas. El uso de este tipo de muestreadores es habitual para sustancias como: dióxido de azufre, ácido sulfhídrico e hidrocarburos ligeros.

Las unidades de absorción deben permitir un contacto total entre líquido y gas, la tasa de transferencia de masa es proporcional al área superficial de la interfase entre el líquido y el gas, por tanto las unidades de absorción están diseñadas para tener grandes áreas superficiales de líquido con un mínimo de caída de presión del gas. El proceso de contacto líquido-gas se puede llevar a cabo por dispersión del líquido en el gas o viceversa. Los absorbentes que dispersan el líquido en el gas incluyen torres empacadas y absorbentes venturi. (Wark et al, 2000)

- Adsorción.

La adsorción consiste en la retención de una sustancia gaseosa por un sólido adsorbente, el cual, en la mayoría de los casos, no se combina químicamente con el gas. En vez de eso, fuerzas adsorbentes mantienen los gases o vapores, que por tanto pueden ser desprendidos sin haber experimentado cambios. Cada sustancia sólida absorbe una pequeña porción de gas, pero para ser un buen adsorbente, una sustancia debe tener una gran superficie y poder concentrar una considerable cantidad de gas en un pequeño volumen de adsorbente.

Los materiales más utilizados para esto son carbón activado y el gel de silicio. Una pequeña cantidad de estos situada en un tubo retira gases y vapores de una gran cantidad de aire. Estos gases son llevados al laboratorio donde mediante la desorción se extraen los gases del material adsorbente. La desorción suele llevarse a cabo calentando el material adsorbente o utilizando disolventes orgánicos para extraer los gases y vapores.

En ocasiones la dificultad de este procedimiento radica en la desorción de los gases y vapores. (Wark et al, 2000)

- Muestreo por congelación.

Vapores y gases que condensan a baja temperatura pueden ser retirados del aire pasando este a través de un vaso inmerso en un líquido refrigerante.

Un problema que presentan estos sistemas es la acumulación de hielo que puede llegar a bloquear los conductos del sistema. También es necesario un periodo de residencia suficiente para llegar a la temperatura requerida, lo que limita la capacidad del sistema. Por estas razones este método no se usa habitualmente, sólo si no es posible utilizar otro método. (Liu et al, 2000)

5.2 Dependencia de la meteorología.

La atmósfera representa un papel activo a la hora de hablar de contaminación. La dispersión, dilución o concentración, precipitación etcétera dependen de la atmósfera en la que se encuentre el contaminante. Son factores importantes en el estudio de la contaminación el viento, la humedad, las capas de inversión, la lluvia.

Todos los contaminantes del aire emitidos por fuentes puntuales o distribuidas son transportados, diluidos o concentrados según las condiciones meteorológicas y topográficas. El ciclo de estancia aérea se inicia con la emisión de los contaminantes, seguido por su transporte y difusión en la atmósfera. El ciclo se completa cuando los contaminantes se depositan sobre la vegetación, el ganado, las superficies del suelo y del agua, y por otros objetos, o cuando son arrastrados de la atmósfera por la lluvia. Durante el tiempo en el que son arrastrados, los contaminantes pueden experimentar cambios físicos o químicos. (Wark et al, 2000)

5.2.1 Viento.

El sol, el suelo y su atmósfera forman un sistema dinámico muy grande. El calentamiento diferencial según las distintas zonas de la atmósfera provoca gradientes de presión horizontales, que a su vez provocan el movimiento horizontal en la atmósfera.

5.2.2 Humedad.

Al contrario del viento, la humedad juega un papel negativo en la evolución de los contaminantes ya que favorece la acumulación de humos y polvo. Por otra parte, el vapor de agua puede reaccionar con ciertos aniones aumentando la reactividad de los mismos, por ejemplo el trióxido de azufre en presencia de vapor de agua se transforma en ácido sulfúrico, lo mismo ocurre con los cloruros y los fluoruros para dar ácido clorhídrico y fluorhídrico respectivamente.

5.2.3 Lluvia.

La lluvia produce la precipitación de las sustancias contaminantes. Tiene un efecto positivo ya que arrastra contaminantes de la atmósfera, limpiándola. Sin embargo el agua que cae a la tierra estará contaminada y tendrá efectos nocivos en plantas, edificios, etc.

5.2.4 Inversión térmica.

Normalmente, la temperatura del aire disminuye con la distancia, de tal manera que en una atmósfera normal hay una disminución de 0.64 a 1 °C cada 100 metros en la zona más próxima a la superficie de la tierra, llamada troposfera; por encima de ella la temperatura disminuye más rápidamente. Este sería el gradiente térmico normal, pero bajo determinadas condiciones orográficas y climatológicas este gradiente puede alterarse de tal manera que a una determinada altura la temperatura del aire es superior a la de una altura inferior. La consecuencia de la inversión térmica es que las masas inferiores a menor temperatura no se pueden mezclar con las capas superiores, por tanto se dificulta la dispersión atmosférica de contaminantes.

(<http://www.fortunecity.es/banners/interstitial.html?http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/atmosfera.html#ATMOSFERA>)

5.3 Modelos de circulación de contaminantes.

5.3.1 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 un modelo para la dispersión atmosférica. La ecuación básica de este modelo es muy compleja, pero haciendo simplificaciones se puede reducir:

$$\frac{dC}{dt} = K_{xx} \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) + K_{yy} \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_{zz} \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

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.

Su resultado es de difícil aplicación, por lo que se llevan a cabo las siguientes simplificaciones:

- La concentración del contaminante emana de una fuente puntual continua.
- El proceso es de estado estacionario.
- 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. (Wark et al, 2000)

Con lo que la ecuación de Fick queda como sigue:

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

donde $K_{yy} \neq K_{zz}$. La solución de esta ecuación debe cumplir también las siguientes condiciones de frontera:

- $C \rightarrow \infty$ cuando $x \rightarrow 0$. Es decir una gran concentración en la fuente puntual.
- $C \rightarrow 0$, cuando $x, y, z \rightarrow \infty$. Es decir, la concentración es cero a una gran distancia.

- $K_{zz} \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial z} \right) \rightarrow 0$ cuando $z \rightarrow 0$. No hay difusión en la superficie.
- $\int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u \cdot C(x, y, z) \cdot dy \cdot dz = Q, x > 0$ 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 et al, 2000)

5.3.2 Modelo Gaussiano de dispersión.

Para fuentes localizadas en un punto, como es el caso de una chimenea, el aspecto de la pluma es el mostrado en la figura 1.:

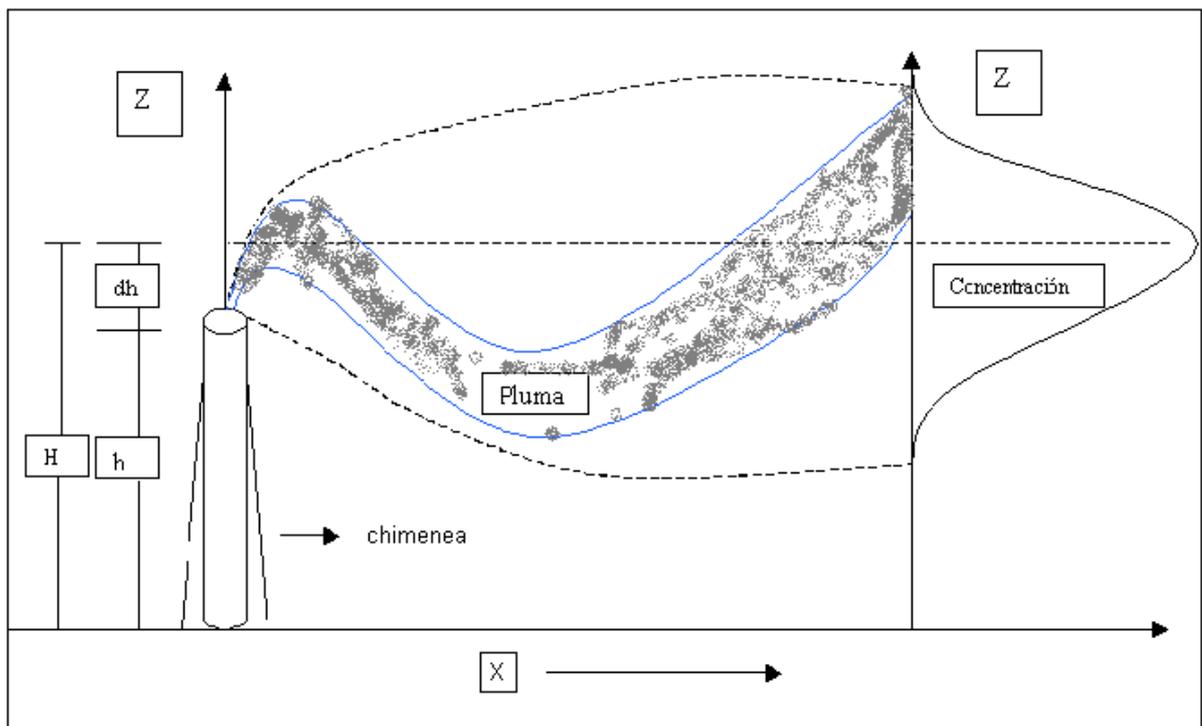


Fig. 1

(www.fortunecity.es.)

A pesar de que la pluma tiene su origen a una altura h de la chimenea, se eleva una altura 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 efectos prácticos, la pluma aparece como si se

originara en una fuente puntual equivalente a una altura $H = h + \Delta h$. Dicho punto queda también algo atrás de la línea de centro de la posición de dicha chimenea para $x = 0$.

Las suposiciones básicas para este modelo son las siguientes:

- Estado estacionario.
- Difusión despreciable de masa en la dirección x .
- Velocidad constante del viento.
- Difusibilidades constantes D_x , D_y , D_z en las respectivas direcciones de los ejes de coordenadas.
- No considerar la distancia desde la fuente equivalente hasta la posición actual de la chimenea. La fuente puntual parece situada en $x = 0$ y a una altura H .

El perfil de concentraciones a favor del viento queda dado por la ecuación general:

$$C = K \cdot x^{-1} \cdot e^{-\left[\left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right) \cdot \frac{u}{4 \cdot x}\right]} \quad (3)$$

Donde K es una constante arbitraria que definen las condiciones de frontera del problema atmosférico específico y u es la velocidad del viento, para un modelo estadístico en dos dimensiones. (Wark et al, 2000)

5.4 Necesidad de datos sobre la evolución y circulación de contaminantes en la atmósfera. Telemedida.

5.4.1 Sistemas de telemedida. Fijos y móviles.

Para el estudio de la evolución de contaminantes en la atmósfera es necesario poder realizar mediciones. Para ello contamos con diversos métodos. Los sistemas más sencillos son los denominados fijos, que consisten en tomar una muestra de gases de la atmósfera y determinar la concentración de contaminantes en laboratorio. Estos métodos son muy limitados, y no permiten estudiar zonas extensas.

Para poder llegar a obtener evoluciones de contaminantes en la atmósfera es necesario utilizar sistemas de telemedida. Estos sistemas hacen barridos de medida de hasta varios kilómetros,

lo que permite estudiar el movimiento de contaminantes en la atmósfera. Estos sistemas resultan muy caros, tanto la adquisición de equipos como su mantenimiento. Vamos a centrarnos en sistemas utilizados para medir concentraciones de ozono en la atmósfera.

5.4.1.1 Sistemas fijos.

Quimiluminiscencia.

Es un método basado en la reacción del ozono con el etileno dando como resultado luz visible. La reacción propiamente dicha no está afectada por otros elementos de la atmósfera, sin embargo estos pueden modificar las medidas al acumularse en la línea de medida, ya que pueden destruir el ozono. También pueden entrar en la cámara, si esto ocurre se pueden acumular en la ventana óptica causando atenuación de la luz.

5.4.1.2 Sistemas móviles

Ozonosondeador

Básicamente la ozonosonda consiste en un sensor de ozono conectado con una interfase unida a una radiosonda, y unido a un sistema de elevación. El ozonosondeador puede ser recuperado o no tras las medidas. Permite medir, además del ozono, la humedad, presión, temperatura y dirección y fuerza del viento.

A medida que la ozonosonda asciende el aire atmosférico es aspirado a través de un tubo de plástico por medio de una bomba de teflón. El flujo de aire es enviado a una cámara (sensor de ozono) donde produce una reacción química al tomar contacto con la solución sensitiva que allí se encuentra. Cada molécula de ozono genera una corriente eléctrica de dos electrones. Los valores de corriente generados por esta reacción son digitalizados y enviados a la radiosonda.

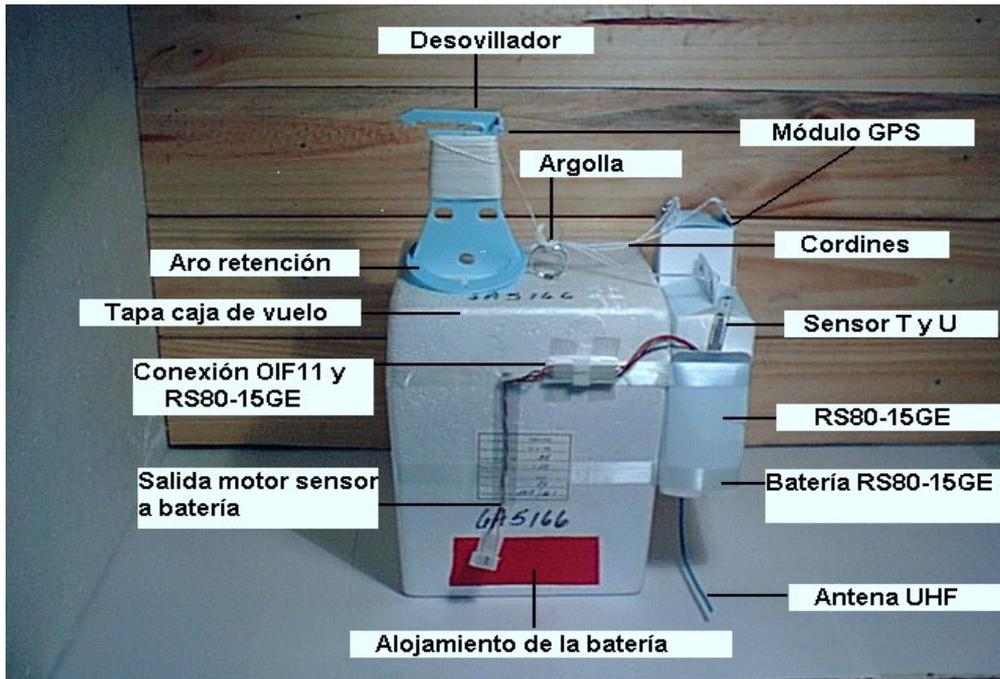


Fig. 2

[http://www.inm.es/mar/1 Introduccion/1.2 Instrumentos/Ozonosondeador/Instruccion/Ozonosondeador.htm](http://www.inm.es/mar/1_Introduccion/1.2_Instrumentos/Ozonosondeador/Instruccion/Ozonosondeador.htm)

5.4.2 Sistemas con láser UV.

Estos sistemas se basan en la capacidad del ozono y otros contaminantes como el óxido de nitrógeno para absorber radiación ultravioleta. Los rangos de absorción de cada contaminante son conocidos, por tanto es posible determinar las concentraciones en función de la luz absorbida. Aquí se citan algunos ejemplos de sistemas utilizados en la actualidad.

Espectrómetro visible por absorción

El instrumento EVA ha sido construido y diseñado en su totalidad en el Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

Es un espectrómetro de barrido, controlado por un motor paso a paso que opera en el UV-Visible y que utiliza la técnica DOAS (Espectroscopía de Absorción Diferencial) durante los crepúsculos para obtener las columnas totales del dióxido de nitrógeno (NO₂) y Ozono (O₃). Esta técnica es común en aplicaciones de laboratorio pero considerablemente más compleja cuando se trata de aplicar en la atmósfera.

Opera en el rango de 430 - 450 nm para la medida del NO₂ y en 470 - 490 nm para la medida del O₃. Se basa en un monocromador con un colector de luz y una cadena de detección con un fotomultiplicador. La señal se digitaliza, se acumula y se registra. La electrónica remota controla la secuencia de toma de medidas, que es programada desde el propio ordenador. El programa integra los códigos de toma de datos y de análisis para medidas ininterrumpidas en largos períodos de tiempo sin intervención de un operador. El instrumento óptico y la electrónica asociada se encuentran alojados en una caja estanca situada a la intemperie, termostata a temperatura de laboratorio.

El instrumento consta de dos partes claramente diferenciadas: la unidad de control que se encuentra en el interior del laboratorio y la unidad de adquisición, en el exterior. Esta última, a su vez está formada por: el sistema óptico, cuya función es recoger la radiación que llega del cenit y el sistema electrónico de control, adquisición, tratamiento y almacenamiento de muestras. (www.inm.es)

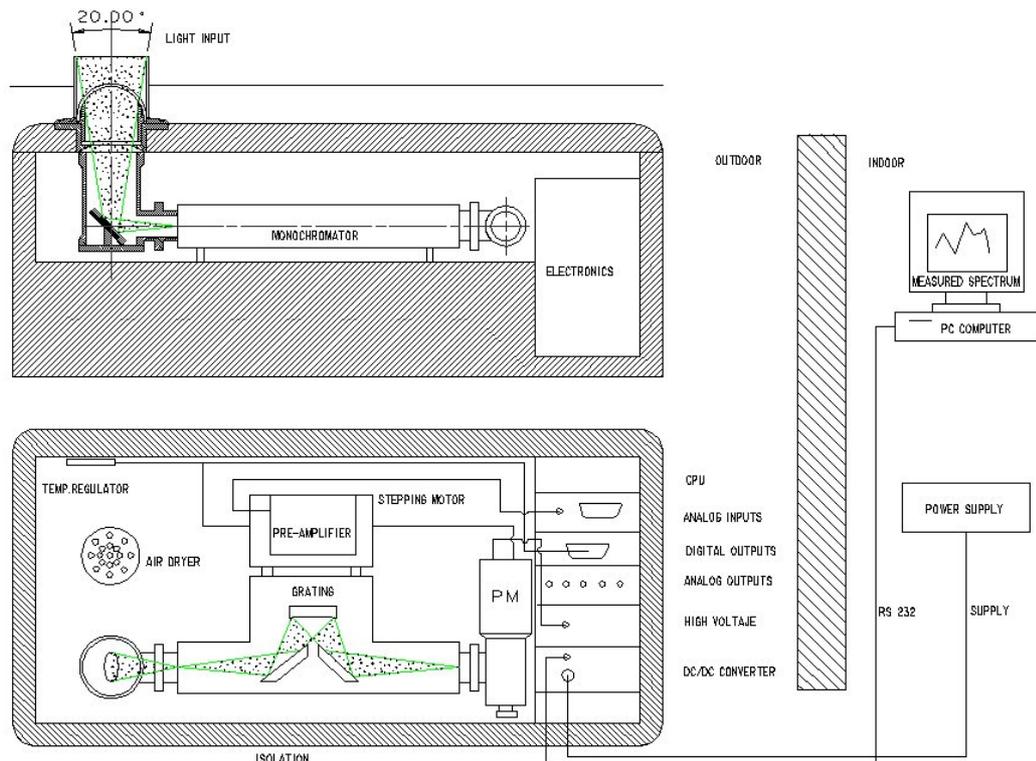


Fig.3

(http://www.inm.es/mar/1_Introduccion/1.2_Instrumentos/EVA/Instr_EVA.htm)

LIDAR

LIDAR (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging; or Laser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Al igual que ocurre con la tecnología radar, donde se utilizan ondas de radio en vez de luz, la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. En general, la tecnología LÍDAR tiene aplicaciones en geología, sismología y física de la atmósfera. (<http://es.wikipedia.org/wiki/LIDAR>)

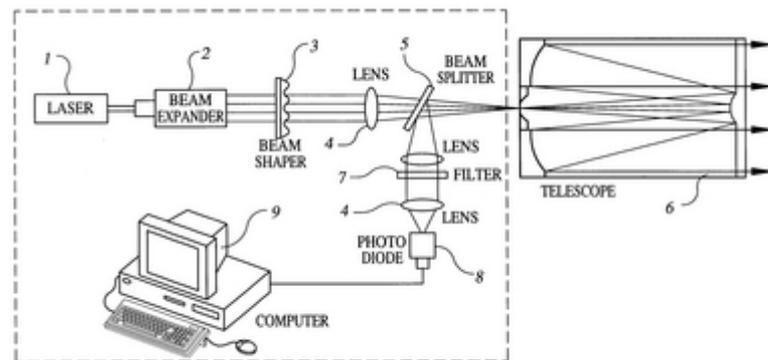


Fig. 4

La tecnología LÍDAR está desarrollándose ampliamente para el estudio de la contaminación atmosférica. El esquema básico es el mostrado en la figura. Se emite una luz dentro del rango de longitudes de onda del ultravioleta y se mide la luz reflejada. Esta luz reflejada incluirá los efectos de nubes, contaminantes y el aire, y cualquier sustancia presente en la atmósfera. En los distintos capítulos del presente trabajo se profundiza en el estudio del LÍDAR.