**FORMATO PARA EL DESARROLLO DE COMPONENTE FORMATIVO**

|  |  |
| --- | --- |
| PROGRAMA DE FORMACIÓN | Tecnología en prevención y control ambiental |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| COMPETENCIA | 220201002 - Controlar las emisiones atmosféricas resultantes de procesos y operaciones productivas de acuerdo con la normativa ambiental establecida. | RESULTADOS DE APRENDIZAJE | 220201002-2 Interpretar los resultados de las mediciones de contaminación atmosférica, con base en la normativa ambiental en contaminación atmosférica. |

|  |  |
| --- | --- |
| NÚMERO DEL COMPONENTE FORMATIVO | 9 |
| NOMBRE DEL COMPONENTE FORMATIVO | Interpretación de los resultados de medición de las emisiones |
| BREVE DESCRIPCIÓN | El objetivo es contextualizar al aprendiz para que incorpore y establezca las metodologías apropiadas en la verificación de las emisiones resultantes de proceso y operaciones productivas con el fin de correlacionar las concentraciones emitidas por la fuente de emisión según los protocolos y metodologías establecidas para realizar las respectivas correlaciones normativas según lo establecido en las leyes, decretos y resoluciones. |
| PALABRAS CLAVE | cálculo, combustión, mediciones, normas, valores |

|  |  |
| --- | --- |
| ÁREA OCUPACIONAL | 2- Ciencias naturales, aplicadas y relacionadas. |
| IDIOMA | Español |

1. **TABLA DE CONTENIDOS**

**Introducción**

1. **Bases conceptuales cálculo valores de emisión**

**1.1 Unidades de medida de la contaminación atmosférica**

* 1. **Sistemas de unidades**

**1.3 Unidades de medición**

**1.4 El Sistema Internacional de Unidades y notación científica**

**1.5 Conversiones de unidades**

**1.6 Factor de conversión**

**1.7 Notación científica**

**1.8 Conversión de unidades**

* 1. **Ley de gases ideales**
  2. **Diagrama de entradas y salidas de la contaminación atmosférica**

1. **Cálculo de emisiones**
   1. **Medición directa**
   2. **Puertos de muestreo**
   3. **Plataforma de muestreo**
   4. **Acceso al sitio de muestreo**
   5. **Instalaciones para equipos de toma de muestra y análisis**
   6. **Medición indirecta**
   7. **Factores de emisión**
2. **Combustión**

**3.1 Leyes de las reacciones químicas**

* 1. **Ecuaciones químicas**
  2. **Procesos de combustión**

**3.4 Combustibles**

* 1. **Balanceo de ecuaciones químicas**
  2. **Estequiometría**

**4. Normativa de emisiones**

* 1. **Calidad del aire**
  2. **Fuentes fijas**

1. **Interpretación de los resultados de emisiones**
   1. **Correcciones de resultados en inmisión o calidad del aire**
   2. **Correcciones de resultados en emisión o fuentes fijas**
2. **DESARROLLO DE CONTENIDOS**

**Introducción**

Apreciado aprendiz, bienvenido a este componente formativo, donde abordaremos la temática relacionada con la interpretación de los resultados de medición de las emisiones. En el siguiente video conocerá, de forma general, la temática que se estudiará a lo largo del componente formativo.

CF9\_Video\_Introduccion

1. **Bases conceptuales cálculo valores de emisión**

Las siguientes definiciones son importantes para reconocer las unidades de medida utilizadas en los cálculos de valores de emisión de la contaminación atmosférica, lea algunos de ellos a continuación:

**1.1 Unidades de medida de la contaminación atmosférica**

Para interpretar los resultados que se obtienen al realizar las mediciones en las fuentes de emisión, es importante reconocer cuáles son las principales unidades de medida que se emplean en la contaminación atmosférica. Por esa razón, se verán en esta unidad las variables, constantes y demás unidades de medición para la interpretación de los resultados de emisión.

Entre las principales unidades de concentración que generalmente se emplean tanto en el monitoreo de la calidad del aire como en la medición en fuentes fijas de emisión sobresalen las siguientes:

**Microgramos/metro cúbico**

Empleada en las mediciones y normas para el monitoreo de la calidad del aire o inmisión.

El portal Troposfera define el microgramo como: *“… la unidad de masa del Sistema Internacional que equivale a la millonésima parte de un gramo¨.*

*Se abrevia µg (aunque a veces aparece como ug).*

1. *µg = 0,000 001 g = 10-6 g*

**Miligramos/metro cúbico**

Es empleada en las mediciones y normas para el monitoreo de las fuentes fijas o emisiones (mg/m3). Esta es la unidad de masa del Sistema Internacional que equivale a la milésima parte de un gramo.

**El metro cúbico**

Es una unidad de volumen. Corresponde al volumen de un cubo que mide un metro en todos sus lados (1000 litros).

También es habitual encontrar conversiones para otras unidades de medición aún más pequeñas, estas son:

**Partes por millón (ppm)**

Este término se abrevia ppm y es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla. Generalmente suele referirse a porcentajes que dan información de dos tipos diferentes de unidad, estos son:

* En peso en el caso de sólidos.
* En volumen en el caso de gases (caso de la ppm utilizada en calidad del aire).

Así, 5 ppm de CO equivale a decir que existen 5 unidades de volumen de CO por cada millón de unidades de volumen de aire. Por ejemplo, 5 ppm de CO serían 5 litros de CO en cada millón de litros de aire.

**Partes por billón (ppb)**

Partes por billón (abreviado como ppb) es otra unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla. Generalmente, suele referirse a porcentajes, que son dos tipos de medidas de unidad, estas son:

* El peso, en el caso de sólidos, y
* El volumen, en el caso de gases (caso del ppb utilizado en calidad del aire).

Así, 5 ppb de NO equivale a decir que existen 5 unidades de volumen de NO por cada billón de unidades de volumen de aire, entendiendo billón como 1000 millones.

Por ejemplo, 5 ppb de NO serían 5 litros de NO en cada mil millones de litros de aire.

1. **ppm = 1000 ppb**

**ppb a microgramos/metro cúbico (µg/m3)**

Para transformar N ppb de un gas a µg/m3 en determinadas condiciones de presión y temperatura, se realiza de la siguiente forma:

donde M es la masa molecular del gas en cuestión, y V(atm,Tª) el volumen de un mol del gas a determinada presión (P) en atmósferas y temperatura (Tª) en Kelvin.

A continuación, se presenta un ejemplo tomado de la página web Troposfera.org (s.f.), que se encuentra en referencias para que analice la información.

*Ejemplo:*

*Para transformar 5 ppb de SO2 (M = 64 uma) a µg/m3 en condiciones de 1 atmósfera de presión y 20ºC (273'15+20= 293'15 K) de temperatura, sería:*

*1º) Calculamos V(atm,Tª)= V(1, 293'15)= (R\*Tª)/P= (0,082\*293'15)/1= 24'04 litros (suponiendo comportamiento ideal de los gases).*

*2º) Hacemos el cambio de unidades con (a): 5 ppb de SO2\*(64/24'04) = 13'31 µg/m3*

* 1. **Sistemas de unidades**

Para analizar el Sistema de Unidades es necesario revisar el Sistema Internacional de las mismas, por lo que a continuación se precisa el concepto de medición.

¿Qué es medir?

Así como cuando se cuenta, al medir lo que se está haciendo es comparar dos cantidades. Por ejemplo, cuando se necesita saber cuál es la longitud de una ventana, se hace comparándola con la longitud de una regla o metro.

Para entenderlo de otro modo, **medir es seccionar determinada cantidad en partes iguales usando otra cantidad que sirva de referencia para compararla y contarla**. Por ejemplo, suponga que se quiere saber la cantidad de agua con la que se llena una piscina. Para ello, no se tiene más que un balde o cubeta y una fuente de agua. En ese caso, lo que se haría sería empezar a llenar cubetas de agua y vaciar su cantidad dentro de la piscina varias veces.

Al contar el número de veces que se ha llenado y vaciado la cubeta dentro de la piscina, también se habrá hecho una medición de cuánta agua necesita la piscina para quedar llena. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede revisar otro concepto importante, las unidades de medición, por lo que se le invita a seguir leyendo la información que a continuación se le presenta.

**1.3 Unidades de medición**

Sería muy complejo que todos midieran las cantidades, las longitudes, los pesos, etc., con lo que les pareciera, ya que cada cual tendría un parámetro distinto y no habría un acuerdo universal para establecer cálculos precisos sobre algo. Es por ello que se crearon **las unidades de medida, con el fin de tener un parámetro de referencia sobre las cantidades, magnitudes y demás, en todo el mundo**. Por lo anterior, se hace necesario conocer este Sistema Internacional.

**1.4 El Sistema Internacional de Unidades y notación científica**

El Sistema Internacional de Unidades se basa en dos tipos de magnitudes, **las físicas**, las cuales son:

* Longitud.
* Tiempo.
* Masa.
* Intensidad de corriente eléctrica.
* Temperatura.
* Cantidad de sustancia.
* Intensidad luminosa.

También existen **las derivadas**, que son las restantes, y que pueden ser expresadas con una combinación matemática de las anteriores. Para conocer las más frecuentes, revise el siguiente listado:

* Superficie.
* Volumen.
* Velocidad.
* Aceleración.
* Densidad.
* Frecuencia.
* Periodo.
* Fuerza.
* Presión.
* Trabajo.
* Calor.
* Energía.
* Potencia.
* Carga eléctrica.
* Diferencia de potencial.
* Potencial eléctrico.
* Resistencia eléctrica.

También es importante estudiar el Sistema de Unidades, tales como: CGS, MKS, SI, por sus siglas en inglés. Un Sistema de Unidades es un conjunto consistente de unidades básicas de medida a partir del cual se derivan el resto. Existen varios sistemas de unidades, los cuales se describen a continuación.

|  |
| --- |
| ACORDEÓN  CF9\_1\_4\_SistemadeMedidas |

En el desarrollo del contenido, se han venido conociendo algunos conceptos de unidades de medida que son usados a nivel internacional. Ahora, conozca cuáles son las unidades más usadas en el país. En Colombia, el Instituto Nacional de Metrología ha establecido que se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades.

*Figura*

*Sistema Métrico decimal- El metro*

El **Sistema Internacional de Unidades** (abreviado SI del francés: Le Système International d’Unités), también denominado Sistema Internacional de Medidas, es el nombre que recibe el sistema de unidades que se usa en la mayoría de los países y es la forma actual del Sistema Métrico Decimal.

**El SI también es conocido como Sistema Métrico**, especialmente en las naciones en las que aún no se ha implantado para su uso cotidiano. Este fue creado en 1960 por la **Conferencia General de Pesos y Medidas**, que inicialmente definió seis unidades físicas básicas. En 1971 se añadió la séptima unidad básica, el mol.

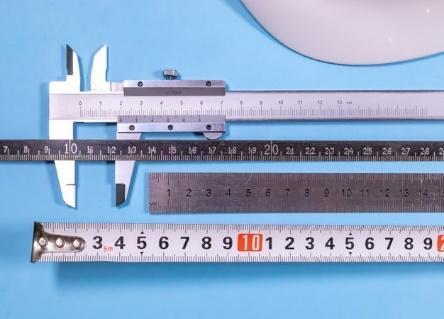
**Una de las principales características, que constituye la gran ventaja del SI, es que sus unidades están basadas en fenómenos físicos fundamentales**. La única excepción es la unidad de la magnitud masa, el kilogramo, que está definida como la masa del prototipo internacional del kilogramo o aquel cilindro de platino e iridio almacenado en una caja fuerte de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, según se menciona en el documento Cursos de Química analítica de la Universidad de Panamá (s. f.)

*Figura*

*Instrumento de medida*

Las unidades del SI son la referencia internacional de las indicaciones de los instrumentos de medida y a las que están referidas a través de una cadena ininterrumpida de calibraciones o comparaciones. Esto permite alcanzar la equivalencia de las medidas realizadas por instrumentos similares, utilizados y calibrados en lugares apartados y por ende asegurar, sin la necesidad de ensayos y mediciones duplicadas, el cumplimiento de las características de los objetos que circulan en el comercio internacional y su intercambiabilidad.

**1.5 Conversiones de unidades**

La conversión de unidades es la transformación de una unidad en otra. Un método para realizar este proceso es con el uso de los factores de conversión y las muy útiles tablas de conversión. Bastaría multiplicar por una fracción (factor de conversión) y el resultado es otra medida equivalente en la que han cambiado las unidades.

*Figura*

*Herramientas para conversión de medidas*

Cuando el cambio de unidades implica la transformación de varias unidades, se pueden utilizar varios factores de conversión, uno tras otro, de forma que el resultado final será la medida equivalente en las unidades que se busca. Por ejemplo, si se quiere pasar 8 metros a yardas, lo único que se tiene que hacer es multiplicar 8(0.914 yd) = 7.312 yd.

**1.6 Factor de conversión**

*Figura*

*Factor de conversión, un fraccionario*

El factor de conversión es una fracción en la que el numerador y el denominador son medidas iguales expresadas en unidades distintas, de tal manera que esta fracción vale la unidad. Método efectivo para cambio de unidades y resolución de ejercicios sencillos dejando de utilizar la regla de tres.

Las cifras pueden ser: significativas o no significativas.

* Las significativas son aquellas que tienen significado real o aportan alguna información.
* Las cifras no significativas aparecen como resultado de los cálculos y no tienen significado alguno.

Las cifras significativas de un número vienen determinadas por su error. Son aquellas que ocupan una posición igual o superior al orden o posición del error, según la página web Física I. Laboratorio de Física I (Arias, s. f.)

Por ejemplo, considere una medida de longitud que arroja un valor de 5432.4764 m, con un error de 0.8 m. **El error es, por tanto, del orden de décimas de metro. Es evidente que todas las cifras del número que ocupan una posición menor que las décimas no aportan ninguna información**.

En efecto, ¿qué sentido tiene dar el número con precisión de diezmilésimas si afirmamos que el error es de casi 1 metro? Las cifras significativas en el número serán, por tanto, las que ocupan la posición de las décimas, unidades, decenas, etc., pero no las centésimas, milésimas o diezmilésimas.

*Figura*

*Redondeo de números*

**Cuando se expresa un número, debe evitarse siempre la utilización de cifras no significativas**, puesto que pueden suponer una fuente de confusión. Estos datos deben redondearse de forma que contengan sólo cifras significativas. **Se llama redondeo al proceso de eliminación de cifras no significativas de un número.**

**1.7 Notación científica**

La notación científica (o notación índice estándar) es un modo conciso de representar un número utilizando potencias de base diez. Los números se escriben como un producto: a × 10k, (siendo a un número mayor o igual que 1 y menor que 10, y k un número entero). Esta notación se utiliza para poder expresar más fácilmente números muy grandes o demasiado pequeños.

La notación científica utiliza un sistema llamado **coma flotante, o de punto flotante** en países de habla inglesa y en algunos hispanohablantes, según se menciona en la página web Pedro probabilidad y estadística (algoestadistica, 2011), por lo cual se invita a revisar la siguiente tabla sobre el tema:

**Tabla 1**

*Notación científica*

|  |
| --- |
| 100 = 1 |
| 101 = 10 |
| 102 = 100 |
| 103 = 1000 |
| 104 = 10000 |
| 105 = 100000 |
| 106 = 1000000 |
| 109 = 1000000000 |
| 1010 = 10000000000 |
| 1020 = 100000000000000000000 |
| 1030 = 1000000000000000000000000000000 |

**1.8 Conversión de unidades**

**Para sacar resultados relacionados con las emisiones resultantes de las fuentes contaminantes se emplean las relacionadas con las concentraciones físicas**. El portal ibero.mx define el término concentración… *a la cantidad de soluto disuelta en una cantidad dada de disolvente o de solución. Entre mayor sea la cantidad de soluto disuelta, más concentrada estará la solución.*

Por otro lado, la misma página menciona que…¨ *las unidades de concentración más empleadas son la molaridad, porcentajes, fracción molar, partes por millón, normalidad y molalidad¨.*

En la siguiente tabla, se resumen las principales unidades de concentración:

**Tabla 2**

*Unidades de concentración*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| MOLARIDAD | MOLARIDAD | MOLARIDAD |
| /  Moles por litro | Moles/ Kilogramo | N=eq x M  equiv/litro |
| FRACCIÓN MOLAR | PORCIENTO MOL | PORCIENTO PESO |
|  |  |  |
| PARA LÍQUIDOS % VOLUMEN | RELACIÓN % PESO Y VOLUMEN | PARTES POR MILLÓN |
| % VOLUMEN  % = 100 |  |  |
| so = soluto | se = solvente | sn = solución |

Nota. Tomado de <https://ibero.mx/campus/publicaciones/quimanal/pdf/2soluciones.pdf>

Es importante tener en cuenta que las unidades de concentración se aplican en las normas ambientales relacionadas con la matriz aire y están dirigidas a una relación masa/volumen expresada en unidades ug/m3 y mg/m3,puesto que **la concentración de los contaminantes expuestos en el aire que se respira presenta minúsculas partículas que fácilmente llegan al sistema respiratorio del ser humano, generando enfermedades respiratorias que se reflejan en cifras impactantes en la mortalidad**.

Según el portal El Tiempo (2019), entre las grandes urbes (de más de 14 millones de habitantes) que ha analizado la OMS, la peor tajada del pastel se la llevan Nueva Delhi, El Cairo, Dacca, Bombay, Pekín, Shanghái, Estambul, Buenos Aires y Sao Paulo. Pero si vive en Bogotá o Medellín, se puede encontrar el peor aire de Colombia.

De acuerdo con el último informe del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para el material particulado 2,5, las mayores concentraciones están en las estaciones de monitoreo Carvajal – Sevillana y Kennedy, localizadas en el Distrito Capital; y Tráfico Sur, Tráfico Centro, Universidad Nacional Facultad de Minas, Corporación Lasallista (Caldas) y Casa de Justicia (Itagüí), en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

xxxxxxxx

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, se invita a revisar el video “Unidades de concentración”, que se encuentra en el material complementario. |

* 1. **Ley de gases ideales**

Para comprender cómo se comportan los contaminantes que se mezclan en el aire atmosférico, debe entender qué son los gases y cuáles son sus principales características.

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, se invita a revisar el video “Experimento densidad del aire”, que se encuentra en el material complementario. |

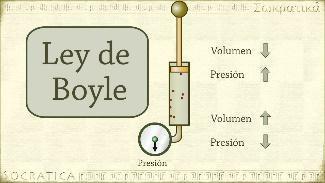
Por otra parte, las más importantes leyes físicas que relaciona la historia sobre el aire atmosférico fueron investigadas por los más importantes científicos que estudiaron las teorías que rigen las principales leyes fisicoquímicas del aire.

Para explicar sus componentes, se debe dar un viaje al pasado para conocer los estudios de los principales protagonistas, los cuales se mencionan a continuación:

|  |
| --- |
| Tarjeta vertical 1  CF9\_1\_10\_Leydelosgases |

Para profundizar en la investigación de cada uno de estos científicos y conocer cómo afectaron las ciencias posteriormente, se invita a revisar la siguiente información.

**Ley de Boyle**

Nacido en 1627, el menor de los catorce hijos del conde de Cork estudió en las mejores universidades de Europa. Él estableció la química como una ciencia y enunció la primera definición moderna de elemento químico, como sustancia que no es posible descomponer en otras. En 1660, en una obra titulada *Sobre la Elasticidad del Aire,* anunció su descubrimiento sobre la relación entre el volumen de un gas y su presión, según la página web Educaplus (s.f.-d).

Boyle define el comportamiento del aire así:

**A temperatura constante, el volumen de una masa fija de gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce, es decir, si el volumen aumenta, la presión disminuye, y si la presión aumenta, el volumen disminuye.**

En términos matemáticos se puede expresar como:

**(P\*V = K),**

Donde:

P, es presión

V, es volumen

Suponga que tiene un cierto volumen de gas V1 que se encuentra a una presión P1 al comienzo del experimento. Si se varía el volumen de gas hasta un nuevo valor V2, entonces la presión cambiará a P2, y se cumplirá:

**P1V1 = P2V2**

Lo anterior se muestra en el documento del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (2019), que habla sobre las Leyes generales de los gases: su aplicación en Fisiología.

Xxxxxx

**Ley de Charles**

Jacques Alexandre César Charles, químico, físico y aeronauta francés, nació en Beaugency (Loiret) el 2 de noviembre de 1746 y falleció en París el 7 de abril de 1823. Al conocer los experimentos de los hermanos Montgolfier con su globo aerostático, él propuso la utilización del hidrógeno para elevarlo porque era el gas más ligero que se conocía en ese momento, por ser más eficiente para mantenerlo en el aire.

En 1783, construyó los primeros globos de hidrógeno y subió él mismo hasta una altura de unos 2 km, experiencia que supuso la locura por la aeronáutica que se desató en la época. Su descubrimiento más importante fue, en realidad, un redescubrimiento, ya que, en 1787, retomó un trabajo anterior de Montons y demostró que los gases se expanden de la misma manera al someterlos a un mismo incremento de temperatura, según la información publicada en la web Educaplus (s. f.-b).

Según lo estudiado por Charles, el comportamiento del aire muestra lo siguiente:

**El volumen (V) de un gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta (T), considerando una presión constante**. A nivel pulmonar, se encuentra una mayor temperatura que en el medio ambiente, por lo que los gases inhalados en el aire se expandirán, aumentando así el volumen pulmonar.

Esta ley no afecta la ventilación tanto como lo hace la Ley de Boyle, pero tiene un efecto.



Considere un ejemplo que se encuentra en el documento de la UNAM sobre: Leyes generales de los gases: ¨ …*cómo se respira en un día frío (-10º C) y la diferencia en un día cálido (37º C). En el caso del día frío el aire se expande mientras pasa por el sistema respiratorio y se calienta hasta 37º C. Ahora bien, calcule con la fórmula de arriba.*

*Figura Ley general de los gases*

Reflexión:

¿Qué volumen de aire tiene que tomar para llenar sus pulmones con 500 m en el caso de un día frío o un día cálido?

**Ley de Gay Lussac**

Químico y físico francés, nacido el 6 de diciembre de 1778, en Saint-Léonard-de-Noblat, y fallecido el 9 de mayo de 1850, en París. En 1802, publicó los resultados de sus experimentos, que ahora se conocen como Ley de Gay-Lussac. **Esta ley establece que, a volumen constante, la presión de una masa fija de un gas dado es directamente proporcional a la temperatura Kelvin**.

**En el campo de la física, se llevaron a cabo, en 1804, dos ascensiones en globo hasta altitudes de 7.000 metros, en las que se estudió la composición de las capas altas de la atmósfera y el magnetismo terrestre**. Entre 1805 y 1808, se dio a conocer **la Ley de los volúmenes de combinación, que afirma que los volúmenes de los gases que intervienen en una reacción química (tanto de reactivos como de productos) están en la proporción de números enteros sencillos.**

En relación con estos estudios, investigó, junto con el naturalista alemán Alexander Von Humboldt, la composición del agua, descubriendo que se compone de dos partes de hidrógeno por una de oxígeno, según se evidencia en la página web Educaplus (s. f.-c), la cual puede consultar en las referencias de este documento.

Según lo estudiado por Gay Lussac, se define el comportamiento de la siguiente forma:

**A un volumen constante, la presión de un gas (P) es directamente proporcional a su temperatura (T).** Como ya se mencionó, la temperatura pulmonar provocará que los gases inhalados tengan mayor presión.

Xxxxxx

**Ley de Avogadro**

Químico y físico italiano. Nació el 9 de junio de 1776 en Turín, Italia, y murió el 9 de julio de 1856.

Reflexionó sobre el descubrimiento de Charles (publicado por Gay -Lussac) … ***que todos los gases se dilatan en la misma proporción con la temperatura. Decidió que esto debía implicar que cualquier gas a una temperatura dada debía contener el mismo número de partículas por unidad de volumen****.*

Avogadro tuvo la precaución de especificar que las partículas no tenían por qué ser átomos individuales, sino que podían ser combinaciones de átomos (lo que hoy llamamos moléculas). Con esta consideración, pudo explicar con facilidad la ley de la combinación de volúmenes que había sido anunciada por Gay-Lussac y, basándose en ella, dedujo que el oxígeno era 16 veces más pesado que el hidrógeno y no ocho, como defendía Dalton en aquella época.

Por lo anterior, el científico enunció la siguiente hipótesis: **iguales volúmenes de gases distintos, contienen el mismo número de moléculas, si ambos se encuentran a igual temperatura y presión**. Ese número es equivalente **a 6,022 \* 1023**, el cual es constante, según se publicó en 1811. Sin embargo, la Ley de Avogadro permite explicar por qué los gases se combinan en proporciones simples.

Xxxxxx

Avogadro descubre en 1811 que, a presión y temperaturas constantes, la misma cantidad de gas tiene el mismo volumen, independientemente del elemento químico que lo forme. El volumen (V) es directamente proporcional a la cantidad de partículas de gas (n), independiente del elemento químico que forme el gas,

Por lo tanto:

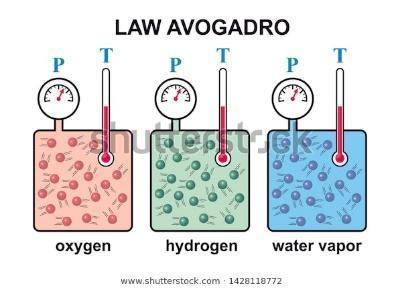
Lo cual tiene como consecuencia que:

* Si aumenta la cantidad de gas, aumenta el volumen.
* Si disminuye la cantidad de gas, disminuye el volumen.

Xxxxxx

**Figura 1**

*Ley de Avogadro*



Por la relación de las leyes anteriores, se podría concluir que la Ley de los Gases Ideales se puede incluir en una ecuación, la cual se expresa de la siguiente manera:

Xxxxxx

Teniendo en cuenta las leyes que se han visto en esta unidad, se puede concluir, **que se cumplen cuando se trabaja a bajas presiones y temperaturas moderadas, según muestra la siguiente tabla:**

**Tabla 3**

*Propiedades constantes*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| PROPIEDADES QUE SE MANTIENEN CONSTANTES | | LEY | EXPRESIÓN |
| Moles, n | Temperatura, T | Boyle |  |
| Moles, n | Presión, P | Charles |  |
| Presión, P | Temperatura, T | Avogadro |  |

Nota. Tomada de Sánchez (2018).

**Cuando estas leyes se combinan en una sola ecuación, se obtiene la denominada ecuación general de los gases ideales: P V = n R T, donde la nueva constante de proporcionalidad se denomina R, constante universal de los gases ideales, que tiene el mismo valor para todas las sustancias gaseosas**. El valor numérico de R dependerá de las unidades en las que se trabajen las otras propiedades, P, V, T y n.

En consecuencia, se debe tener cuidado al elegir el valor de R que corresponda a los cálculos que se están realizando, así:

**Tabla 4**

*Comportamiento ideal de los gases*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Valor de R* | *Unidades* | *Observaciones* |
| *0,082* |  | *Los gases tienen un comportamiento ideal cuando se encuentran a bajas presiones y temperaturas moderadas, en las cuales se mueven lo suficientemente alejadas unas de las otras, de modo que se pueda considerar que sus moléculas no interactúan entre sí, (no hay acción de las fuerzas intermoleculares).* |
| *8,314* |  |
| *1,987* |  |

Nota. Tomada de Sánchez (2018).

Como se ha observado, son cuatro (4) las propiedades que definen el estado o las condiciones en las que se encuentra una sustancia en estado gaseoso:

* La cantidad de sustancia o número de moles, n.
* La presión que ejercen sus moléculas, P.
* La temperatura a la que se encuentra, T
* El volumen que ocupa, V.

Estas propiedades pueden variar todas simultáneamente o se pueden mantener constantes una o dos de ellas, a fin de cambiar las otras.

A continuación, se tocará el tema ¨Densidad y masa molar de un gas ideal¨:

La ecuación de los gases ideales permite determinar la densidad, d, y la masa molar, M, de un determinado gas ideal. Según las definiciones de densidad, d, el número de moles, n, y de la ecuación del gas ideal, se tiene la siguiente información (revise la tabla 5):

**Tabla 5**

*Ecuación de gases ideales*

|  |  |
| --- | --- |
| Densidad, d |  |
| Masa molar, M |  |

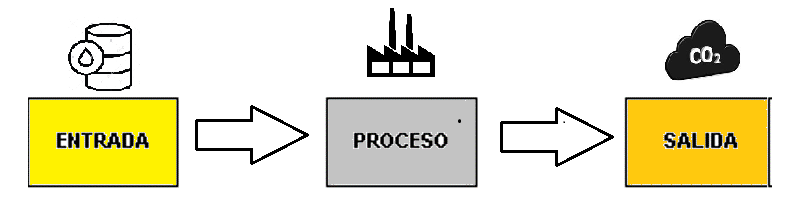
Nota. Tomada de Sánchez (2018).

* 1. **Diagrama de entradas y salidas de la contaminación atmosférica**

Para valorar la estimación de los contaminantes que emite una fuente, es importante reconocer el proceso y/o actividad que produce la contaminación. Según el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, se definen una serie de **pasos** importantes para establecer tanto las entradas como las salidas provenientes de un proceso. Para lo anterior, se le invita a revisar el siguiente objeto de aprendizaje:

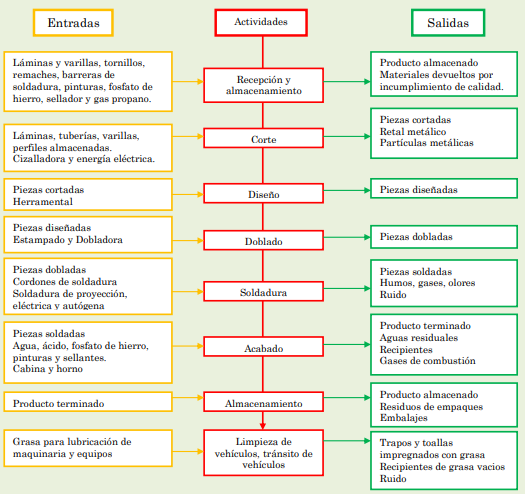
|  |
| --- |
| CARRUSEL  CF9\_1\_11\_entradasysalidas |

Teniendo en cuenta los pasos anteriormente expuestos, es importante construir un diagrama de procesos en la organización, en el que se evidencien las entradas y las salidas que resultan de un proceso productivo, teniendo en cuenta que la *Guía Práctica para la Gestión Ambiental Empresarial* (2008) resalta que es vital conocer los conceptos asociados, los cuales se mencionan a continuación:



* **Entrada**: son los insumos, las materias primas y los recursos que al someterse a procesos de transformación darán como resultado un producto, un servicio o una entrada para otra actividad.
* **Proceso**: conjunto de actividades que toman una entrada, la transforman y generan como resultado un producto o servicio.
* **Salida**: son los productos, servicios, residuos, emisiones o subproductos que resultan de cada actividad en un proceso productivo.

El diagrama de procesos es la representación de cada una de las etapas del proceso productivo. Se construye a través de bloques secuenciales que relacionan las actividades, las entradas y las salidas. Como ejemplo, se puede observar el diagrama de entradas y salidas de un proceso productivo relacionado con la industria metalmecánica:

Nota. Tomada de Guía práctica para la gestión ambiental empresarial (2008).

En conclusión, se puede observar que todo proceso productivo puede generar emisiones a la atmósfera, por lo cual es necesario hacer un análisis completo y detallado de estas, con el fin de reducir el impacto en el medio ambiente y en la calidad de vida del ser humano. A continuación, se invita a continuar su aprendizaje sobre el tema.

1. **Cálculo de emisiones**

**xxxxxxx**

**Cuando de mediciones de contaminantes en las fuentes fijas puntuales se trata, estas se realizan directamente en los ductos de emisión o chimeneas. En este tipo de mediciones, se emplean técnicas tanto directas como indirectas, sin embargo, los muestreos en chimeneas son los procedimientos más complejos y de más alto riesgo ocupacional que existen en el campo ambiental.**

*Figura SEQ Figura \\* ARABIC 1 Medición de la contaminación*

La medición de las fuentes fijas en Colombia depende específicamente de tres factores importantes para tener en cuenta:

* Infraestructura de las instalaciones (*fuente de emisión o chimenea*).
* Tipos de contaminantes para monitorear.
* Metodología a emplear.

El Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas, versión II, define los procedimientos para la medición de las emisiones atmosféricas. Lea los siguientes párrafos para aclarar la idea.

*“Estos procedimientos de evaluación incluyen medición directa, balance de masas y factores de emisión. Durante la evaluación de emisiones contaminantes, se puede emplear una única metodología o se pueden emplear dos o más de ellas para determinar la confiabilidad de la información obtenida en la cuantificación de las emisiones.*

*De acuerdo con lo establecido en el Artículo 76 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 o la que la adicione, modifique o sustituya, el cumplimiento de los estándares se debe determinar mediante medición directa de las emisiones a través del ducto o chimenea que se debe construir en cada fuente fija puntual.*

*En aquellos casos en que por las condiciones físicas de los equipos que hacen parte del proceso que genera la emisión de los contaminantes al aire no sea posible la construcción de un ducto para la descarga de los contaminantes o cuando la construcción del ducto no permita contar con las condiciones para realizar la medición directa se deberá aplicar balance de masas.*

*En el caso que no se cuente con la información necesaria para realizar el cálculo de las emisiones por balance de masas (cantidades y caracterización de materiales, consumo de combustibles y la demás información que establece el presente protocolo para la aplicación de dicha metodología) y que se demuestre técnicamente que dicha información no se pueda hallar para el desarrollo de la evaluación de emisiones, se deberá aplicar factores de emisión”.*

Xxx xxxxxx

* 1. **Medición directa**

La Resolución 909 de 2008 y el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, versión II, la define como aquella que:

*“se realiza a través de procedimientos donde se recolecta una muestra (usando equipos muestreadores) para su posterior análisis o mediante el uso de analizadores instrumentales (analizadores en tiempo real).*

*El primer procedimiento corresponde a la captura de la muestra en la chimenea o ducto de la fuente, para su posterior análisis en laboratorio. El analizador instrumental es un equipo que mide directamente la concentración de los contaminantes en la chimenea o ducto de emisión y reporta los valores de las emisiones de manera inmediata.*

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  El documento lo puede consultar en la sección de referencias (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010a, p. 6). |

**Descripción de equipos muestreadores en chimenea**

Los principales componentes empleados en la determinación de los contaminantes son el muestreador isocinético, el Orsat y el tren de muestras de óxidos de nitrógeno. Cada uno de estos componentes está constituido por varios elementos que son descritos en la siguiente sección.

* El Muestreo isocinético

Los muestreos isocinéticos son herramientas de gran utilidad que permiten determinar fácilmente el flujo de los contaminantes que se emite a la atmósfera a través de chimeneas o ductos y sistemas de extracción. Su estructura modular está diseñada para el análisis de un amplio rango de compuestos químicos, por medio de métodos estandarizados.

* + Equipo de muestreo isocinético

El muestreador isocinético es un equipo dotado con múltiples componentes e instrumentos de medición que garantizan la lectura de variables tales como: temperatura, presión, humedad y velocidad de los gases en la chimenea.

*Figura SEQ Figura \\* ARABIC 2 Muestreador Isocinético*

**Figura SEQ Figura \\* ARABIC 2**

*Muestreador isocinético*

Este equipo tiene la propiedad de tomar las muestras isocinéticamente, constituyéndose en una herramienta indispensable para poder caracterizar las emisiones de una fuente estacionaria. Se divide en 2 partes: **tren de muestreo** y **unidad de control**, ambas constituyen el equipo que mide las concentraciones de contaminantes en las chimeneas.

* **El tren de muestreo** cuenta con las siguientes partes:

Partes principales

Sonda

Boquilla

Tubo Pitot

Caja calientes

Caja fría

Unidad de Control

Bomba de vacío

Línea de muestra o cordón

* **La unidad de control** es la más importante de este equipo, ya que desde él se monitorean las diferentes variables de medición en la chimenea. 

*Figura SEQ Figura \\* ARABIC 3 Unidad de control*

**Figura 4**

*Unidad de control*

Este controlador básicamente consta de **un sistema mecánico y automático** que permite ajustar y monitorear temperaturas y ratas de flujo de la muestra de gas para alcanzar una condición de muestreo isocinético. Dentro de la unidad, se encuentran **un manómetro diferencial de presión, un indicador y controlador de temperatura, un medidor de gas seco** (DGM) capaz de medir volúmenes dentro del 2 por ciento, y un **orificio crítico,** que componen el sistema de medición para chimeneas.

**Métodos de medición directa**

Cuando se habla de métodos de medición en fuentes fijas, es importante reconocer que las principales metodologías son adoptadas por medio de los procedimientos que son promulgados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, conocida por sus siglas en inglés como la EPA; y en el Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos (CFR) se listan los principales métodos para la aplicación de los protocolos para la medición de fuentes fijas industriales. Por otro lado, en el *Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas, versión II,* se muestran los más empleados en Colombia.

A continuación, se presenta un listado de los diferentes métodos que se pueden utilizar en la medición directa.

**Tabla 6**

*Métodos directos*

|  |  |
| --- | --- |
| **MÉTODO** | **DESCRIPCIÓN** |
| Método 1 | Determinación del punto y velocidad de toma de muestra para fuentes fijas. |
| Método 1A | Determinación del punto y velocidad de toma de muestra para fuentes fijas con  ductos o chimeneas pequeñas. |
| Método 2 | Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gases en  chimenea (Tubo Pitot tipo S) |
| Método 2A | Medición directa del volumen de gas a través de tuberías o ductos pequeños. |
| Método 2B | Determinación de la tasa volumétrica de flujo del gas procedente de  incineradores de vapor de gasolina. |
| Método 2C | Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica del gas en ductos o  chimeneas pequeñas (Tubo Pitot estándar) |
| Método 2D | Medición de la tasa de flujo volumétrica del gas en ductos y tuberías pequeñas. |
| Método 2E | Determinación de la tasa de flujo de producción de gas en rellenos sanitarios. |
| Método 2F | Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gas en chimenea  empleando sondas tridimensionales. |
| Método 2G | Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gas en chimenea  empleando sondas bidimensionales. |
| Método 2H | Determinación de la velocidad del gas teniendo en cuenta la disminución de la  velocidad cerca a la pared de la chimenea. |
| Método 3 | Análisis de gases para la determinación del peso molecular base seca. |
| Método 3A | Determinación de concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en  emisiones de fuentes fijas (Procedimiento del analizador instrumental) |
| Método 3B | Análisis de gases para la determinación del factor de corrección de tasa de  emisión o exceso de aire |
| Método 3C | Determinación de dióxido de carbono, metano, nitrógeno y oxígeno en fuentes  fijas. |
| Método 4 | Determinación del contenido de humedad en gases de chimenea |
| Método 5 | Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes fijas |
| Método 5A | Determinación de las emisiones de material particulado en la industria de  procesamiento de asfalto y manto asfáltico |
| Método 5B | Determinación de las emisiones de material particulado diferente al ácido  sulfúrico en fuentes fijas |
| Método 5D | Determinación de las emisiones de material particulado en filtros de manga que operan a presión positiva |
| Método 5E | Determinación de las emisiones de material particulado en industrias de  manufactura de fibra de lana de vidrio aislante |
| Método 5F | Determinación de las emisiones de material particulado diferente al sulfato, en  fuentes fijas |
| Método 5G | Determinación de las emisiones de material particulado en calentadores de  madera (toma de muestra en túnel de dilución) |
| Método 5H | Determinación de las emisiones de material particulado en calentadores de  madera (localizado en la chimenea) |
| Método 5I | Determinación de las emisiones de material particulado de bajo nivel en fuentes fijas |
| Método 6 | Determinación de las emisiones de dióxido de azufre en fuentes fijas |
| Método 6A | Determinación de dióxido de azufre, humedad y dióxido de carbono en fuentes  de combustión de combustible fósil |
| Método 6B | Determinación de las emisiones promedio diarias de dióxido de azufre y dióxido de carbono en fuentes de combustión de combustible fósil |
| Método 6C | Determinación de las emisiones de dióxido de azufre en fuentes fijas  (Procedimiento del analizador instrumental) |
| Método 7 | Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas |
| Método 7A | Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas  (Método de cromatografía iónica) |
| Método 7B | Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas  (Método de espectrofotometría ultravioleta) |
| Método 7C | Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas  (Método colorimétrico de permanganato alcalino) |
| Método 7D | Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas  (Método de cromatografía iónica de permanganato alcalino) |
| Método 7E | Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas  (Procedimiento del analizador instrumental) |
| Método 8 | Determinación de las emisiones de ácido sulfúrico y dióxido de azufre en  fuentes fijas |
| Método 9 | Determinación visual de la opacidad de emisiones en fuentes fijas |
| Método 10 | Determinación de las emisiones de monóxido de carbono en fuentes fijas  (Procedimiento del analizador instrumental) |
| Método 10A | Determinación de la emisión de monóxido de carbono en la certificación de  sistemas de medición continua de emisiones en refinerías de petróleo |
| Método 10B | Determinación de las emisiones de monóxido de carbono en fuentes fijas |
| Método 11 | Determinación del contenido de sulfuro de hidrógeno (H2S) en corrientes de  gas combustible en refinerías de petróleo |
| Método 12 | Determinación de las emisiones de plomo inorgánico en fuentes fijas |
| Método 13A | Determinación de las emisiones de fluoruro total en fuentes fijas (Método del reactivo SPADNS) |
| Método 13B | Determinación de las emisiones de fluoruro total en fuentes fijas (Método del  ion electrodo específico) |
| Método 14 | Determinación de las emisiones de fluoruro para plantas de producción de  aluminio primario |
| Método 14A | Determinación de las emisiones de fluoruro total en fuentes fijas específicas en  instalaciones de producción de aluminio primario |
| Método 15 | Determinación de las emisiones de sulfuro de hidrógeno (H2S), carbonilo  sulfhídrico y bisulfuro de carbono en fuentes fijas |
| Método 15A | Determinación de las emisiones de azufre total reducido en plantas de  recuperación de azufre de refinerías de petróleo |
| Método 16 | Determinación semicontinua de las emisiones de azufre en fuentes fijas |
| Método 16A | Determinación de las emisiones de azufre total reducido en fuentes fijas  (Técnica del impactador) |
| Método 16B | Determinación de las emisiones de azufre total reducido en fuentes fijas |
| Método 17 | Determinación de la emisión de material particulado en fuentes fijas |
| Método 18 | Medición de las emisiones de compuestos orgánicos gaseosos por  cromatografía de gases |
| Método 19 | Determinación de la eficiencia de remoción de dióxido de azufre y las tasas de  emisión de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno |
| Método 20 | Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y  diluyentes en turbinas de gas estacionarias |
| Método 21 | Determinación de fugas de compuestos orgánicos volátiles |
| Método 22 | Determinación visual de emisiones fugitivas de fuentes de material y emisiones  de humo provenientes de llamaradas |
| Método 23 | Determinación de dibenzo–p–dioxinas policloradas y dibenzofuranos  policlorados en incineradores de residuos |
| Método 24 | Determinación del contenido de material volátil, contenido de agua, densidad,  volumen de sólidos y peso de sólidos en la actividad de recubrimiento de  superficies |
| Método 24A | Determinación del contenido y densidad del material volátil en la actividad de  recubrimiento de tintas por rotograbado y publicaciones rotograbadas  relacionadas |
| Método 25 | Determinación de las emisiones gaseosas orgánicas totales diferentes al  metano dadas como carbón |
| Método 25A | Determinación de la concentración gaseosa orgánica total empleando un  analizador de ionización de llama |
| Método 25B | Determinación de la concentración gaseosa orgánica total empleando un  analizador de infrarrojo no dispersivo |
| Método 25C | Determinación de compuestos orgánicos diferentes al metano en gases de  rellenos sanitarios |
| Método 25D | Determinación de la concentración de compuestos orgánicos volátiles en  muestras de residuos |
| Método 25E | Determinación de la concentración orgánica en fase de vapor en muestras de  residuos |
| Método 26 | Determinación de las emisiones de haluros de hidrógeno y halógenos en  fuentes fijas (Método no isocinético) |
| Método 26A | Determinación de las emisiones de haluros de hidrógeno y halógenos en  fuentes fijas (Método isocinético) |
| Método 29 | Determinación de las emisiones de metales en fuentes fijas |
| Método CTM-027 | Procedimiento para la recolección y análisis de amonio en fuentes fijas |

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, se invita a revisar el documento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial ¨*Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas¨* (2008, p. 6-9), que se encuentra en la sección de referencias. |

Aquí es importante resaltar que el protocolo da una salvedad con respecto al empleo de estas metodologías, como lo cita: … *“Los métodos de que trata la tabla anterior, que se utilicen para la realización de mediciones directas que serán los publicados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. En ningún caso se aceptará cambio o modificación que no esté incluido en los métodos publicados por el IDEAM, como, por ejemplo, el cambio de las especificaciones técnicas de los equipos de medición o las pruebas para verificar su calibración. En caso de que el método no se encuentre publicado por el IDEAM, se deberá utilizar el aprobado o propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos US-EPA”.*

**Infraestructura para la medición directa en fuentes de emisión**

Una vez definidos los métodos a emplear para realizar la medición en las fuentes fijas, es importante garantizar que la chimenea cumpla con las condiciones necesarias para la realización de los muestreos para determinar la concentración de los contaminantes tipo criterio que se descargan a la atmósfera, según cita la Resolución 909 de 2008:

“..*el Artículo 71 de la Resolución 909 de 2008 o la que la adicione, modifique o sustituya, y con el fin de garantizar que los resultados obtenidos mediante medición directa puedan ser comparados con los límites máximos permisibles establecidos para las fuentes fijas, se debe tener en cuenta que además de seguir los procedimientos establecidos en los métodos, contar con personal profesional y técnicos idóneos, para controlar las variables del proceso, se requiere contar con instalaciones físicas que permitan realizar las mediciones directas*”.

Teniendo en cuenta esta referencia, la empresa deberá suministrar la infraestructura necesaria para que el personal profesional pueda acceder al sitio o puertos de muestreo con la seguridad apropiada para tal fin. Por ello, el protocolo de fuentes fijas establece las condiciones mínimas a tener en cuenta, que son:

* “Deberá suministrar como mínimo puertos de toma de muestra adecuados para los métodos aplicables a la fuente fija”.
* “En los casos que existan sistemas de control de emisiones, estos deben estar instalados de manera tal que el flujo y la emisión de contaminantes pueda ser determinada con los métodos y procedimientos aplicables y contar con un ducto o chimenea libre de flujo ciclónico durante la realización de las mediciones directas, de acuerdo con lo establecido en los métodos y procedimientos de medición aplicables”.
* “Plataformas y acceso seguro para realizar la toma de muestra”.
* “Dispositivos y aditamentos necesarios para la toma de muestra y análisis”.

**Instalaciones mínimas**

Según lo establecido en el Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, toda fuente susceptible de medición para cumplir los estándares establecidos en la Resolución 909 de 2008, como las chimeneas, debe contar como mínimo con las siguientes instalaciones:

**Figura 2**

*Estándares de la Resolución 909 de 2008*

Puertos de toma de muestra.

Plataforma segura de medición.

Acceso seguro a plataforma de toma de muestra.

Ducto o chimenea.

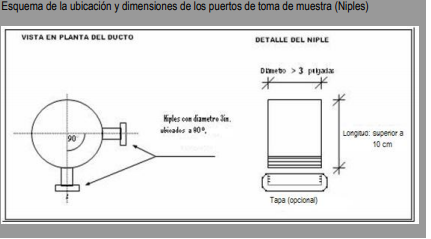
Instalaciones para equipos de toma de muestra y análisis.

* 1. **Puertos de muestreo**

Los puertos de muestreo se convierten en los conductos que se instalan perpendicularmente a la chimenea, los cuales permiten el ingreso del equipo a la chimenea para poder tomar la muestra, así como lo ilustra el protocolo en fuentes fijas en la tabla **Instalaciones mínimas para la realización de mediciones directas**.

**Figura 3**

*Esquema de los puertos de muestreo (Niples)*

**

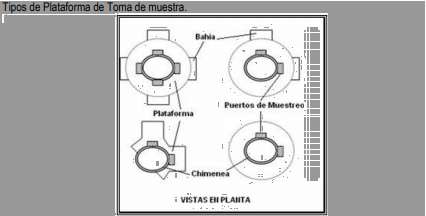
|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, puede consultar el documento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial llamado *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas* (2008, p. 21-22), que se encuentra en la sección de referencias. |

* 1. **Plataforma de muestreo**

La plataforma es una estructura metálica que proporciona un área segura de trabajo, la cual permite que los trabajadores o personal competente, puedan tomar las muestras de forma segura. Generalmente, rodean la chimenea o parte de ella, para que los equipos que van a estar instalados puedan registrar los datos de las concentraciones que emiten las fuentes a la atmósfera, como lo ilustra el protocolo en fuentes fijas en la tabla **Instalaciones mínimas para la realización de mediciones directas.**

**Figura 4**

*Tipo de plataformas de toma de muestras*

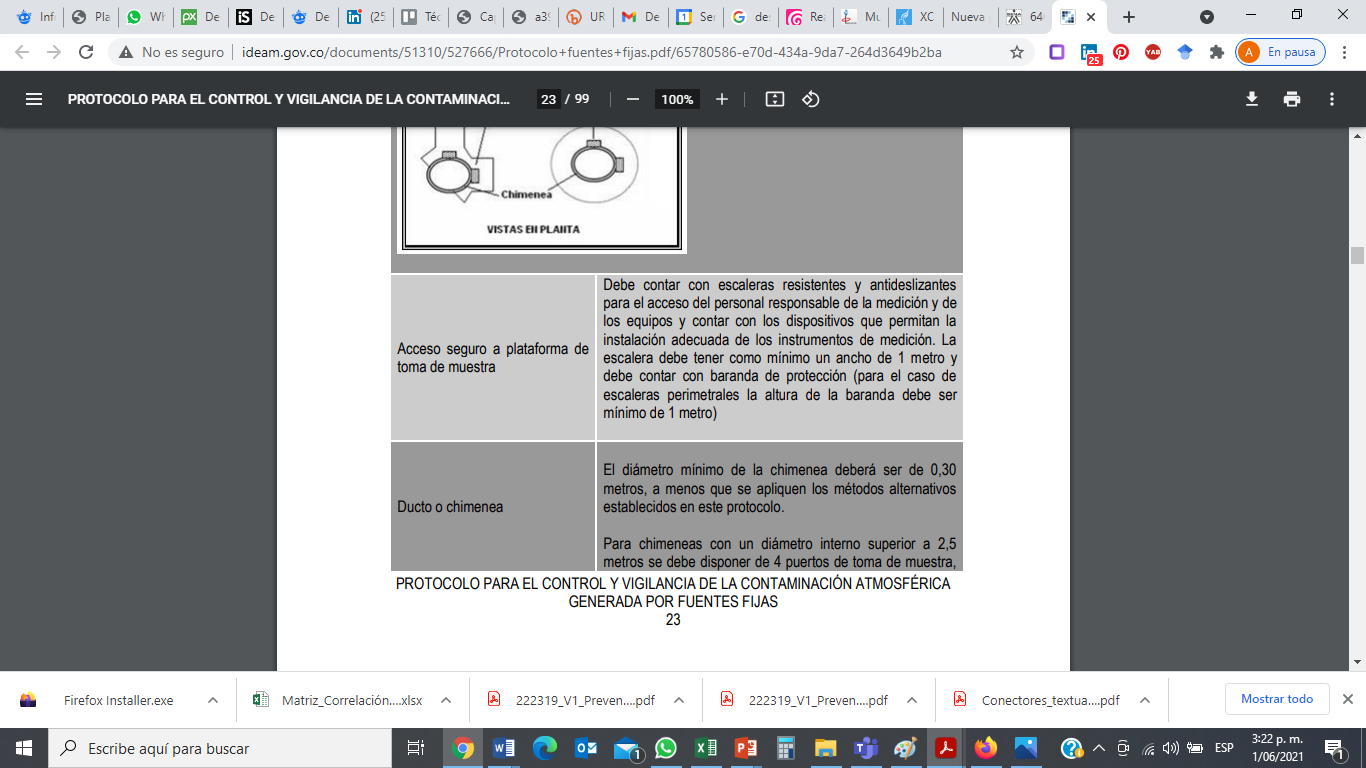


|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para conocer más del tema, se invita a revisar el documento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial denominado *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas* (2008, p.23), el cual se encuentra en la sección de referencias para ser consultado. |

* 1. **Acceso al sitio de muestreo**

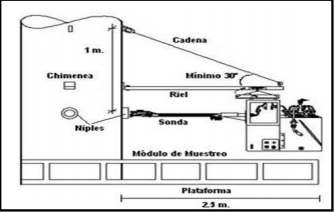
Cuando se va a realizar el estudio de emisiones, es importante que el acceso al sitio de muestreo cuente con las condiciones de seguridad, como pasamanos, escaleras, barandas y demás infraestructura necesaria para evitar cualquier tipo de accidentes, y que permita el monitoreo de los contaminantes, como lo ilustra el Protocolo en Fuentes Fijas en la tabla **Instalaciones mínimas para la realización de mediciones directas**.

xxxxxxxx



xxxxxxxx

La chimenea, o ducto, por donde se descargan los gases contaminantes se convierte en la principal infraestructura necesaria para la medición de las emisiones. Esta puede ser tanto **circular como rectangular**, y debe cumplir los estándares mínimos establecidos en el método 1 EPA, con el fin de estandarizar las estructuras y la forma de medir sus contaminantes, como lo ilustra el protocolo en fuentes fijas en la tabla Instalaciones mínimas para la realización de mediciones directas.

****

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema de instalaciones mínimas, puede revisar el documento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas* (2008, p. 24), que se encuentra en la sección de referencias |

* 1. **Instalaciones para equipos de toma de muestra y análisis**

Teniendo en cuenta el protocolo en fuentes fijas, se hace importante que la actividad en la cual se realice la medición directa debe facilitar un área limpia para la preparación de los equipos empleados en el procedimiento manual. Cuando se empleen sistemas de monitoreo continuo de emisiones, se debe destinar un espacio para la instalación de los analizadores, para la realización de la calibración del sistema de adquisición y procesamiento de datos, y para el personal encargado de su operación.

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Como parte de su aprendizaje autónomo, se invita a leer el documento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas* (2008, p. 24), el cual le permite profundizar en el tema. Se encuentra ubicado en la sección de referencias. |

* 1. **Medición indirecta**

La medición indirecta en las fuentes de emisión es una alternativa cuando la fuente no presenta las condiciones indicadas (infraestructura) para realizar la medición con equipos como los analizadores instrumentales o como los muestreadores isocinéticos o similares. Por esta razón, se pueden emplear otras metodologías indirectas, como lo son:

**Balance de masas**

El Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas define el balance de masas como: *“la cuantificación de emisiones por balance de materia y energía. En ocasiones, por las características del proceso industrial, es el único método para la cuantificación de emisiones que se puede emplear, por ejemplo, en las actividades industriales que manufacturan o emplean en sus procesos compuestos orgánicos volátiles, especialmente cuando las emisiones se producen de manera fugitiva, este procedimiento de evaluación se convierte en la primera alternativa para cuantificar la emisión de contaminantes”*.

Esta metodología es aplicada solo en las siguientes condiciones:

“*A través de la aplicación del método de balance de masas se representan las entradas y salidas de un sistema con el fin de estimar de manera indirecta la emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera, es decir, las emisiones que se producen y pueden cuantificarse durante periodos de tiempo prolongados. El balance de masas es muy utilizado en situaciones donde se presentan reacciones químicas, siendo apropiados en situaciones donde se pierde determinada cantidad de material por liberación a la atmósfera”*.

*“Los balances de masas se deben utilizar en aquellas actividades o procesos donde un alto porcentaje de los materiales se pierde en el aire, por ejemplo: el contenido de azufre del combustible o la pérdida de solvente en un proceso incontrolado de recubrimiento. Por otra parte, son inapropiados cuando el material es químicamente combinado o consumido en el proceso, o cuando las pérdidas de materiales en la atmósfera representan una pequeña porción, con respecto a los materiales que ingresan al proceso. Por esta razón, los balances de masas no son aplicables para la determinación de material particulado producto de procesos de combustión”*.

A continuación, se deben conceptualizar otros temas que refuerzan su aprendizaje, por lo que se invita a revisar el siguiente apartado:

* Características de la estimación por balance de masas.

Es importante que en la estimación de emisiones, cuando se realiza un balance de masas, se tengan en cuenta las siguientes características:

* Identificar las operaciones unitarias, que originan cambios o transformaciones en laspropiedades físicas de los materiales.
* Identificar las operaciones unitarias, que originan cambios o transformaciones por medio de reacciones químicas.
* Establecer los límites físicos de los procesos unitarios, cuando las líneas de producción están bien diferenciadas, o imaginarios, cuando existen varias líneas en un mismo espacio cerrado.
* Establecer los límites de las operaciones unitarias, de una manera similar a la delimitación de los procesos unitarios.
* Identificar las entradas y salidas del proceso, lo cual se debe realizar a través de un diagrama de flujo del mismo. En sistemas de producción complejos, donde existan varios procesos independientes, se puede preparar un diagrama general con todos los procesos, cada uno representado por un bloque y preparar diagramas de flujo para cada proceso individual, indicando en detalle sus operaciones unitarias, procesos unitarios y los equipos utilizados en cada uno de ellos.
* Cuantificar las entradas o insumos, teniendo en cuenta que todos los insumos que entran a un proceso u operación salen como productos o como residuos, vertimientos o emisiones. Los insumos de entrada a un proceso u operación unitaria pueden incluir, además de materias primas, materiales reciclados, productos químicos, agua y aire, entre otros.
* Cuantificar las salidas como productos, subproductos o residuos.
* Realizar el balance de masas, teniendo en cuenta que la suma de todas las masas que entran en un proceso u operación debe ser igual a la suma de todas las masas que salen de dicho proceso u operación (es decir, la suma de masas de los productos, residuos y de todos los materiales de salida no identificados).

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, se invita a revisar el documento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas* (2008, p. 26-27), en el cual puede acceder a más información. Este se encuentra en la sección de referencias. |

En este protocolo se indica particularmente cómo se deben representar e indicar y dónde se encuentran los puntos que generan las emisiones, sobre todo dónde se ejecuta el balance de masa, como se representa en el siguiente gráfico.

|  |
| --- |
| CF9\_2\_6\_1\_ gráfico\_conversiónMedidas. |

* 1. **Factores de emisión**

Los factores de emisión son una de las técnicas más empleadas para la estimación de emisiones de fuentes industriales, su versatilidad le da una facilidad al usuario que desee calcular la concentración de los contaminantes que se emiten.

Sin embargo, los factores de emisión establecen una serie de constantes, las cuales han sido estimadas y proyectadas bajo criterios estadísticos que provienen de diversas fuentes. Uno de los países con más avance en estos factores es EE.UU., que por medio del Código Federal de Regulaciones (CFR. 40 / AP 42) proyecta esta información, la cual está disponible para cualquier público y país que la necesite. Por supuesto, Colombia no es la excepción, por lo que adopta esta metodología para realizar cálculos de importancia a nivel nacional.

El documento AP-42 es una publicación que compila los factores de emisión de contaminantes atmosféricos, el cual se ha publicado desde 1972 como la síntesis de la información de factores de emisiones de la EPA. Este contiene factores de emisión e información de proceso para más de 200 categorías de fuentes de contaminación del aire.

Por otro lado, una categoría de fuente es un sector industrial específico o un grupo de fuentes emisoras similares. Los factores de emisión se han desarrollado y compilado a partir de datos de prueba de origen, estudios de balance de materiales y estimaciones de ingeniería. La quinta edición de AP-42 se publicó en enero de 1995. Desde entonces, la EPA ha publicado suplementos y actualizaciones de los quince capítulos disponibles en el Volumen I, Fuentes de puntos y áreas estacionarias.

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, se invita a revisar la sección de referencias para acceder a la información sobre los factores de emisión del aire, documento en inglés de la EPA. |

**¿Qué es un factor de emisión?**

Son herramientas que sirven para elaborar inventarios de fuentes fijas, móviles y de área, entre otras, las cuales sirven también para tomar decisiones con respecto a la calidad del aire y el diseño de políticas que vayan en pro del control y el mejoramiento de la calidad del aire. Por esto, los factores de emisión son considerados como el valor representativo, donde la relación de la cantidad del contaminante y la actividad que lo produce genera una emisión a la atmósfera. Sin embargo, diversos conceptos se relacionan para definir específicamente esta constante.

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Por otro lado, el Instituto Tecnológico de Monterrey tiene un video sobre ¿Qué es un factor de emisión? (Septiembre 27, 2017). Para acceder al material audiovisual, se invita a revisar la sección de material complementario, ya que le permitirá reforzar el aprendizaje sobre el tema visto. |

Según la EPA, un factor de emisión es:

*“un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada con la liberación de ese contaminante. Estos factores generalmente se expresan como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante (por ejemplo, kilogramos de partículas emitidas por megagramo de carbón quemado).*

*Estos facilitan la estimación de las emisiones de diversas fuentes de contaminación atmosférica. Por lo que, en la mayoría de los casos, estos factores son simplemente promedios de todos los datos disponibles de calidad aceptable y generalmente se supone que son representativos de los promedios a largo plazo para todas las instalaciones en la categoría de fuente (es decir, un promedio de la población)”*.

A continuación, se muestra la ecuación general para la estimación de emisiones:

***E = A x EF x (1-ER / 100)***

*donde:*

*E = emisiones;*

*A = tasa de actividad;*

*EF = factor de emisión, y*

*ER = eficiencia global de reducción de emisiones, %*

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Como parte de su aprendizaje autónomo, se invita a revisar la página web de EPA (2020), específicamente sobre el tema Factores de emisiones atmosféricas y cuantificación. Para acceder, puede ir a la sección de referencias. |

A continuación, se tocan otros conceptos relacionados con los factores de emisión, los cuales también se explican en la ¨*Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles Chile*¨, la cual hace el registro de emisiones y transferencia de contaminantes, y cuyo concepto no difiere del establecido por la EPA. Esta última expone la metodología general empleada para la estimación de emisiones con la siguiente fórmula:

Donde:

E: emisión

fe: factor de emisión

Na: Nivel de actividad diaria, semanal y mensual de la fuente estimada.

Ea: Eficiencia de abatimiento

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para aprender más sobre el tema, se invita a revisar el documento de la Comisión Nacional del Medio Ambiente Chile (2009), denominado *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes* (p.13), el cual se encuentra en la sección de referencias. |

**Como se puede apreciar, la ecuación para estimación de emisiones es la misma en ambas entidades, lo único que difiere son las siglas, que cambian de nombre más no de contenido**. En Colombia, se aplica lo establecido por el AP-42 de la Agencia de Protección Ambiental EPA y se define en el Protocolo de Fuentes Fijas de la siguiente manera:

*“Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad o del proceso, tales como el consumo de energía, el consumo de materia prima, el consumo de combustible, las unidades de producción, el calendario de operación, el número de dispositivos o las características de estos, entre otros.*

*El uso de los factores de emisión es apropiado cuando los materiales que se emplean son consumidos o combinados químicamente en los procesos o cuando se producen bajas y pérdidas de material por liberación a la atmósfera, en comparación con las cantidades que se tratan en el proceso.*

*Los factores de emisión representan valores promedio de un rango de tasas de emisión, es decir, que en algunos casos las emisiones de la actividad variarán con respecto al resultado del factor de emisión, dependiendo de los valores que se utilizan para el análisis”*.

**Información básica para el cálculo de las emisiones por factores de emisión**

Teniendo en cuenta que el cálculo de las emisiones por factores de emisión constituye un factor determinante en la estimación de estas concentraciones, el Protocolo en Fuentes Fijas establece una serie de componentes importantes para la presentación de estos valores como referente de una emisión industrial. Por lo anterior, a continuación, se revisa la información requerida para identificar las fuentes de emisión.

* Identificación de las fuentes de emisión

Es necesario realizar una amplia descripción de las fuentes de emisión teniendo en cuenta las variables que afectan la emisión, en especial las características de las siguientes fuentes:

* Construcción y demolición de edificaciones.
* Manejo de materiales: apilamiento, transferencia y/o beneficio de materiales.
* Superficie de vías pavimentadas: calles, autopistas y zonas de parqueo.
* Superficie de vías no pavimentadas: carreteras, calles, vías y zonas de parqueo.
* Erosión eólica en zonas destapadas: zonas de apilamiento de materiales y demás zonas destapadas.

La existencia de las fuentes listadas anteriormente debe ser tenida en cuenta a una distancia de 0,8 km en todas las direcciones con respecto a la fuente de emisión. También se deben tener en cuenta los siguientes factores:

* **Nivel de actividad**: se debe realizar una descripción y justificación del factor de emisión seleccionado y utilizado, la fuente, y los estándares de emisión que le aplican a la actividad. Para el caso del cálculo de emisiones por combustión, se debe tener en cuenta lo establecido por la US-EPA.
* **Desarrollo de factores de emisión**: el primer paso para realizar una evaluación por factores de emisión involucra el **análisis de la información de las fuentes y recolección de datos del proceso**. Estas acciones requieren que la actividad suministre la información necesaria para realizar el análisis. Dicha información dependerá del factor de emisión seleccionado y puede hacer referencia al consumo de combustible, la masa o volumen de compuestos contenidos en el combustible o el poder calorífico del mismo, entre otros.
* **Recolección de datos y cálculo de la incertidumbre**: el proceso de recolección de datos debe proporcionar la información suficiente para calcular los factores de emisión y la incertidumbre asociada a estos. Se debe contar además con una exacta caracterización de la fuente (dispositivos de control, capacidad del equipo y fabricante del mismo). La incertidumbre en los datos obtenidos de una fuente se da como resultado de la inexactitud de la instrumentación y errores en los procedimientos de las pruebas, mientras que la incertidumbre en la información de los procesos es causada por la inexactitud e imprecisión en la cuantificación de las variables del proceso.
* **Información básica de la fuente:** para realizar esta acción se debe llevar un registro de la siguiente información:

Proceso

Descripción y nombre

Capacidad nominal de los equipos

Tipo y consumo del combustible

Materias primas utilizadas

Capacidad instalada de operación de la planta

Capacidad

Capacidad de operación de la planta al momento de la evaluación de los dispositivos de control y sus correspondientes parámetros de operación de vida útil de los dispositivos de control.

Frecuencia

Frecuencia con la cual se realiza el mantenimiento preventivo de los equipos y los correspondientes sistemas de control.

Descripción del último mantenimiento realizado a los equipos y a los correspondientes sistemas de control (en caso de tenerlos).

Cambios

Cambios que se hayan presentado en el proceso o en los sistemas de control durante la evaluación. Contaminantes monitoreados y descripción de los métodos utilizados durante la evaluación.

Datos

Deficiencias y/o desviaciones en el procedimiento de evaluación.

Número y duración de las corridas de la evaluación.

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, se invita a revisar el documento que se encuentra en la sección de material complementario denominado Factores de Emisión, de Jairo Páez (2013), información que pertenece a la EPA, organización de los Estados Unidos. |

**Conclusiones**

Como ha venido aprendiendo durante el proceso de aprendizaje en este contenido, el medio ambiente está siendo enrarecido por el volumen de emisiones dañinas que las empresas y el sector productivo están arrojando al aire; este debe ser medido con el fin de que se cumplan los estándares internacionales y nacionales en temas de calidad del medio ambiente, cumpliendo así el control de emisiones propuesto por la UNESCO en la agenda 2030, entidad de las Naciones Unidas.

1. **Combustión**

Las diferentes sustancias presentes en la naturaleza interactúan entre ellas continuamente. Por lo que sucesos tan comunes como la combustión de un fósforo, la oxidación de un metal en el ambiente o nuestra respiración obedecen a lo que se conocen como reacciones químicas. Se trata de un proceso por el cual una o más sustancias, llamadas reactivos, se transforman en otra u otras sustancias con propiedades diferentes, llamadas productos.

En una reacción química, los enlaces entre los átomos que forman los reactivos se rompen. Entonces, estos se reorganizan de otro modo, formando unos nuevos y dando lugar a una o más sustancias diferentes a las iniciales.

*¨La respiración celular puede ser considerada como una serie de reacciones químicas de óxido-reducción en las cuales las moléculas combustibles son paulatinamente oxidadas y degradadas liberando energía¨.* (Universidad Nacional de Lomas de Zamora, s.f.)

**3.1 Leyes de las reacciones químicas**

A continuación, se presentan las leyes de las reacciones químicas.

|  |
| --- |
| CF9\_3\_1\_LeyesReaccionesQuímicas |

* 1. **Ecuaciones químicas**

Las ecuaciones químicas constituyen una forma abreviada de expresar por escrito una reacción química, por medio de símbolos y fórmulas. En una ecuación química las sustancias que se combinan entre sí son los reactivos y se escriben a la izquierda. A la derecha se escriben los productos, que son las sustancias que se forman. Los reactivos se separan de los productos por medio de una flecha, su dirección es de reactivos → productos.

Los símbolos y fórmulas utilizados en la ecuación deben ir acompañados por un subíndice dentro de un paréntesis que indica los estados de agregación de cada sustancia (s) (l) (g). También se puede colocar el subíndice (ac) que significa que la sustancia está en disolución acuosa. Arriba o debajo de la flecha pueden aparecer las condiciones necesarias para que se efectúe la reacción, por ejemplo, indica que se requiere energía en forma de calor para que se lleve a cabo la reacción.

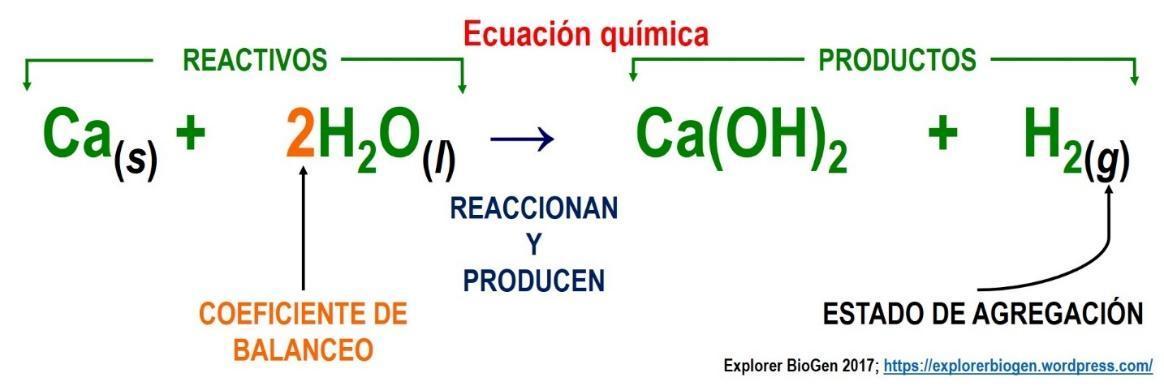
En toda reacción química no se crean ni se destruyen átomos, los que están presentes se reorganizan para formar nuevas sustancias, conservándose la materia. ¿Recuerda la Ley de conservación de la materia? Importante para comprender el equilibrio entre reactivos y productos en una reacción.

Xxxx xxxxxx

Para continuar, con el tema, se invita a revisar el siguiente ejemplo:

**Figura 5**

*Ecuación química*



Nota. Tomada de Peña y Bautista (2018).

**Tipos de reacciones químicas**

Hay diferentes tipos de reacciones químicas y varias formas de clasificarlas según el criterio elegido, como se presenta a continuación.

|  |
| --- |
| PESTAÑAS  CF9\_3\_2-1\_tiposReaccionesQuímicas |

A continuación, se explican las reacciones según la transformación que se produce:

**Reacciones de síntesis**

Son reacciones químicas en las que dos o más sustancias (reactivos) se combinan para formar otra distinta (producto), más compleja.

Si los reactivos son elementos, se llaman reacciones de formación.

La ecuación química general es:

A + B → AB

Ejemplos:

Fe + S → FeS

4 Al + 3 O 2 → 2 Al 2 O 3

**Reacciones de descomposición**

Son reacciones químicas en las que un compuesto se descompone en dos o más sustancias más simples. Son las inversas de las reacciones de síntesis.

La ecuación química general es:

AB → A + B

Ejemplos:

2 AlCl 3 → 2 Al + 3 Cl 2

2 KClO 3 → 2 KCl + 3 O 2

**Reacciones de sustitución o desplazamiento**

Las reacciones de sustitución o desplazamiento pueden ser simples o dobles.

En una reacción de sustitución o desplazamiento simple, un elemento es reemplazado por otro elemento más reactivo en un compuesto para producir un nuevo compuesto y el elemento desplazado.

La ecuación química general es:

A + BC → AC + B

Ejemplos:

Fe 2 O 3 + 2 Al → Al 2 O 3 + 2 Fe

2 Na + 2 H 2 O → 2 NaOH + H 2

**Reacciones de precipitación**

En una reacción de precipitación, la partícula intercambiada es un ión. Se produce, en general, en disolución acuosa y entre sustancias iónicas. En la reacción, un anión y un catión se ponen en contacto y dan lugar a un compuesto iónico insoluble que precipita.

Ejemplo:

AgNO 3 (aq) + NaCl (aq) → NaNO 3 (aq) + ↓AgCl (s)

Para saber si se produce una reacción de este tipo, es necesario saber qué sustancia es insoluble y por esto se ponen en la ecuación química los estados físicos de las sustancias que intervienen.

**Reacciones de oxidación-reducción**

Las reacciones de oxidación-reducción (redox) implican la transferencia de electrones entre especies químicas. Se llaman también reacciones de transferencia de electrones, ya que la partícula que se intercambia es el electrón.

En una reacción de oxidación-reducción, tienen lugar dos procesos simultáneos: la oxidación y la reducción.

El aluminio reacciona con el oxígeno para formar óxido de aluminio,

4 Al + 3 O 2 → 2 Al 2 O 3

En el transcurso de esta reacción, cada átomo de aluminio pierde tres electrones, para formar un ion Al 3+

Al → Al 3+ + 3 e -

Y cada molécula de O 2 gana cuatro electrones, para formar dos iones O 2-

O 2 + 4 e - → 2 O 2-

Como los electrones ni se crean ni se destruyen en las reacciones químicas, la oxidación y la reducción son inseparables.

El aluminio cede electrones y el oxígeno los gana. El aluminio actúa como agente reductor, se oxida (su número de oxidación pasa de 0 a +3) cediendo tres electrones, mientras que el oxígeno actúa como agente oxidante, se reduce (su número de oxidación pasa de 0 a -2) ganando dos electrones.

Xxxxxxxx xxxxxxx

**Reacciones químicas de interés ambiental**

Uno de los problemas fundamentales en el presente siglo, que debe ser estudiado por el ciudadano global y que menciona Naciones Unidas, es el ¨cambio climático y sus consecuencias para la sostenibilidad del planeta y la existencia de la raza humana¨ (Naciones Unidas, s.f.). Por lo anterior, se invita a conocer cuáles son las reacciones químicas que afectan directamente el medio ambiente.

Reacciones con el oxígeno

El oxígeno es el elemento químico más abundante en la corteza terrestre. Muchos elementos reaccionan con el oxígeno dando lugar a una reacción de oxidación. Un caso particular de la reacción de oxidación es la denominada reacción de combustión.

Reacciones de oxidación

En las reacciones de oxidación, el oxígeno se une al elemento de forma lenta y sin gran desprendimiento de energía, y se forma un compuesto llamado óxido:

elemento + oxígeno (O2) → óxido

La reacción contraria, en la que el óxido se descompone, produce el metal y libera oxígeno, también existe y se llama reacción de reducción:

calor óxido → metal + oxígeno

La formación de óxidos no siempre es ventajosa, ya que a veces la oxidación de algunos no metales, como el carbono y el azufre, puede crear problemas medioambientales. El CO2 desprendido contribuye a aumentar el efecto invernadero, y el SO3 formado por la oxidación del azufre favorece la denominada lluvia ácida.

Asimismo, la oxidación de metales, como el hierro, produce grandes perjuicios económicos. El hierro es uno de los metales que más se utiliza en la industria y en la construcción, pero en presencia de oxígeno y humedad se oxida rápidamente y se corroe. Para evitarlo, se recubre de una capa de pintura y de una capa de otro metal que no se oxide, por ejemplo, de cromo, lo que se denomina cromado.

Reacciones de combustión

Las reacciones de combustión son reacciones de oxidación en las que una sustancia arde uniéndose al oxígeno y produce otras sustancias diferentes. La sustancia que arde se denomina combustible y la sustancia que mantiene la combustión se llama comburente.

Uno de los usos más frecuentes de las reacciones de combustión es la producción de energía. En la actualidad, los combustibles más utilizados son los hidrocarburos (compuestos derivados del petróleo formados por carbono e hidrógeno) que, en presencia de oxígeno, producen dióxido de carbono, agua y energía. Así, por ejemplo, la reacción de combustión del metano (CH4) es:

CH4 (g) + 2 O2 (g) → CO2 (g) + 2H2O (g) + energía

El CO2 desprendido crea problemas medioambientales y contribuye a aumentar el efecto invernadero. Por este motivo, las investigaciones se encaminan a la fabricación de vehículos no contaminantes, como los coches eléctricos.

Reacciones de combustión en el reino animal

Metabolismo. El metabolismo es el conjunto de cambios físicos y químicos que se originan en los seres vivos y que sirven, por un lado, para mantener sus funciones vitales (anabolismo) y, por otro, para generar la energía que necesitan (catabolismo). Así, los alimentos ingeridos, ricos en hidratos de carbono, se descomponen, entre otros compuestos, en glucosa (C6H12O6) que pasa desde el intestino a la sangre y de esta a las células donde se producen las reacciones de combustión:

C6H12O6 + 6 O2 → 6 CO2 + 6 H2O + energía

* 1. **Procesos de combustión**

La combustión no es más que una reacción química de oxidación, en la que normalmente se va a liberar una gran cantidad de calor (energía). La reacción de un elemento químico con el oxígeno se llama oxidación. Para entender este tema, se hace necesario adquirir los siguientes conceptos:

* Cuando el calor de reacción es negativo, dicho calor es liberado o entregado por el sistema, y el proceso se llama exotérmico.
* Si, en cambio, el calor es positivo, el calor debe ser absorbido por el sistema durante la reacción química y el proceso se denomina endotérmico.
* Combustible: toda sustancia (hidrocarburo) capaz de arder.
* Comburente: sustancia (aire) que aporta el oxígeno para que el combustible sufra oxidación.

En una reacción de oxidación, se tiene la siguiente ecuación:

**Combustible + Comburente = Gases de combustión + Energía**

Entonces, la ecuación también podría tomar la siguiente forma, donde las letras mayúsculas indican las sustancias químicas y las minúsculas indican la cantidad de moles de dichas sustancias. Y se denominan genéricamente reactantes a las sustancias escritas antes del signo igual (A y B) y productos a las escritas después del signo igual (C y D).

Se puede dar el caso de que el combustible esté formado por una mezcla de sustancias entre las cuales hay una o más que no reaccionan con el O2, por ejemplo, SO2. En este caso, estas sustancias también pasarán en forma completa a los humos (productos).

**3.4 Combustibles**

Los combustibles normalmente son una combinación de carbono, hidrógeno y azufre, tal como se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla 7**

*Tipos de combustibles*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| NOMBRE QUÍMICO | NOMBRE COMERCIAL | FÓRMULA |
| Octano | Gasolina |  |
| Iso-octano | Gasolina |  |
|  | Diésel |  |
|  | Diésel |  |
| Propano | Gas licuado de Petróleo |  |
| Butano |  |
| Etano |  |  |
| Metano | Gas natural |  |
|  | Biodiesel | - O – CO - |
|  | Alcohol ético |  |

**Comburente (aire)**

Sustancia gaseosa, transparente, inodora e insípida que envuelve la tierra y forma la atmósfera; está constituida principalmente por oxígeno y nitrógeno, y por cantidades variables de argón, vapor de agua y anhídrido carbónico. Para casi todos los cálculos de combustión, es posible tratar al argón y al dióxido de carbono como nitrógeno adicional, ya que son inertes y aparecen en pequeñas cantidades. Puede revisar la composición en la siguiente tabla:

**Tabla 8**

*Composición del comburente (aire)*

|  |  |
| --- | --- |
| COMPONENTE | FRACCIÓN MOLAR |
|  | 0.7809 |
|  | 0.2095 |
| AR | 0.0093 |
|  | 0.0003 |
| La masa molar de esta mezcla (aire) es: 28.967 Kg/Kmol | |

Utilizando esta suposición, un mol de aire se compone de 0.79 moles de N2 y 0.21 moles de O2.

0.21mol O2 + 0.79mol N2 = 1mol aire

Por lo tanto, el N2 pasará íntegramente a los humos.

**Tipos de combustión**

Los procesos de combustión se pueden clasificar en:

Combustión completa

Las sustancias del combustible se queman hasta el máximo grado posible de oxidación. En consecuencia, no habrá sustancias combustibles en los humos (productos).

En los productos de la combustión completa, se pueden encontrar los siguientes reactantes y sus correspondientes productos:

**Tabla 9**

*Productos de la combustión*

|  |  |
| --- | --- |
| REACTANTES | PRODUCTOS |
| C + | C |
| + | O |
| S + |  |
| + | + O |
| CO + |  |
|  |  |

El balance de materia de las reacciones químicas se denomina estequiometría. Siempre se plantea en moles, y la sumatoria de masas de ambos miembros siempre deberá ser igual, tal como se muestra en el siguiente ejemplo:

+ O

Kmol + 0.5 Kmol 1 Kmol O

Con los pesos moleculares: M() = 2 kg/kmol: M ( ) = 32 kg /Kmol: M(0) = 18 kg/Kmol

2kg + 16kg 18 kg O

Combustión incompleta

El combustible no se oxida completamente. Se forman sustancias que todavía pueden seguir oxidándose; por ejemplo, CO. Estas sustancias se denominan inquemados. La presencia de inquemados indica que la combustión se está realizando en forma incompleta. Otros inquemados pueden ser H2, CnHm, H2S y C. Estas sustancias son los contaminantes más comunes que escapan a la atmósfera en los gases de combustión.

Xxxx xxxxxx

* 1. **Balanceo de ecuaciones químicas**

Balancear una ecuación es realmente un procedimiento de ensayo y error, que se fundamenta en la búsqueda de diferentes coeficientes numéricos que hagan que el número de cada tipo de átomos presentes en la reacción química sea el mismo tanto en reactivos como en productos.

**Método del tanteo o inspección**

Este método es utilizado para ecuaciones sencillas y consiste en colocar coeficientes a la izquierda de cada sustancia, hasta tener igual número de átomos tanto en reactantes como en productos. Observe el siguiente ejemplo:

N2 + H2 → NH3

Para balancearlos hay que colocar un coeficiente 3 al H2 y un coeficiente 2 al producto NH3:

N2 + 3H2 → 2NH3

La ecuación ha quedado equilibrada, el número de átomos de cada elemento es el mismo en reactivos y productos.

**Método de óxido reducción**

Las reacciones de oxidación-reducción (redox) implican la transferencia de electrones entre especies químicas. Se llaman también reacciones de transferencia de electrones, ya que la partícula que se intercambia es el electrón.

En una reacción de oxidación-reducción, tienen lugar dos procesos simultáneos: la oxidación y la reducción. Para balancear una ecuación por oxidación-reducción, hay que tener presente lo registrado a continuación:

*Figura*

*Balanceo de una ecuación*

OXIDACIÓN

La oxidación es el proceso en el cual una especie química pierde electrones y su número de oxidación aumenta.

REDUCCIÓN

La reducción es el proceso en el cual una especie química gana electrones y su número de oxidación disminuye.

Como los procesos de óxido-reducción son de intercambio de electrones, las ecuaciones químicas estarán igualadas cuando el número de electrones cedidos por el agente oxidante sea igual al recibido por el agente reductor. El número de electrones intercambiados se calcula fácilmente, teniendo en cuenta la variación de los números de oxidación de los elementos.

**3.6 Estequiometría**

La estequiometría es la parte de la química que estudia las relaciones cuantitativas entre las sustancias que intervienen en una reacción química (reactivos y productos).

**Figura 6**

*Reacciones químicas*

mol-mol

mol-gramos

gramos-gramos

mol-volumen

volumen-gramos

volumen-volumen

*.*

**Las relaciones pueden ser: entre reactivos y productos, solo entre reactivos, o solo entre productos.** Cualquier cálculo estequiométrico que se lleve a cabo debe hacerse con base en una ecuación química balanceada, para asegurar que el resultado sea correcto.

**Cálculos estequiométricos**

La estequiometría se emplea para determinar las cantidades de reactivos y productos involucrados en una reacción química. Existe una gran cantidad de problemas relacionados con esta, como se evidencia en el siguiente ejemplo:

En los vehículos espaciales se utiliza hidróxido de litio sólido para eliminar el dióxido de carbono exhalado. El hidróxido de litio reacciona con el dióxido de carbono gaseoso, formando carbonato de sodio sólido y agua líquida. ¿Cuántos gramos de dióxido de carbono puede absorber 1 g de hidróxido de litio?

Solución

Análisis: se da una descripción verbal de una reacción y se pide calcular el número de gramos de dióxido de carbono que reaccionan con 1.00 g de hidróxido de litio.

Estrategia: se puede usar la descripción verbal de la reacción para escribir una ecuación balanceada:

2LiOH(s) + CO2 (g) Li2CO3(s) + H2O(l)

Se dan los gramos de LiOH y se pide calcular los gramos de CO2. Esto puede lograrse mediante la siguiente serie de conversiones: gramos de LiOH moles de LiOH moles de CO2 gramos de CO2. La conversión de gramos de LiOH a moles de LiOH requiere el peso formular de esta sustancia (6.94 +16.00 + 1.01 =23.95).

La conversión de moles de LiOH a moles de CO2 se basa en la ecuación química balanceada: 2 mol LiOH 1 mol CO2.

Para convertir el número de moles de CO2 a gramos, se deberá usar el peso formular del CO2:

12.01 +2(16.00) = 44.01.

Resolución:

(1.00 ~~g LiOH~~) = 0.919 g

Comprobación: vemos que 23.95 ≈ 24; 24 \_ 2 \_ 48 y 44/48 es un poco menor que 1. Por tanto, la magnitud de la respuesta es razonable con base en la cantidad inicial de LiOH; las cifras significativas y las unidades también son apropiadas. ¨

Xxxx xxxxxx

**Cálculos de reactivo limitante y porcentaje de rendimiento**

En una reacción química, no necesariamente se consume la totalidad de los reactivos. Generalmente, alguno de ellos se encuentra en exceso. El otro reactivo, que es el que se consume totalmente, se conoce como reactivo limitante. Para que una reacción se lleve a cabo, debe haber sustancias (reactivos) capaces de reaccionar para formar los productos, pero basta que uno solo de los reactivos se agote para que la reacción termine. En los procesos industriales, generalmente, se usa un exceso del reactivo más barato y fácil de conseguir, y se selecciona como limitante el más caro o difícil de conseguir. Ejemplo

Considere la reacción siguiente:

Suponga que una disolución que contiene 3.50 g de Na3PO4, se mezcla con una disolución que contiene 6.40 g de Ba (NO3)2. ¿Cuántos gramos de Ba2(PO4)2 podrán formarse?

Solución

Análisis: se da una reacción química y las cantidades de dos reactivos [3.50 g de Na3PO4 y 6.40 g de Ba (NO3)2]. Se pide calcular el número de gramos de Ba3(PO4)2 (uno de los productos).

Estrategia: Se pide calcular la cantidad de producto dadas las cantidades de dos reactivos, así que se trata de un problema de reactivo limitante. Por tanto, primero se debe identificar el reactivo limitante. Para hacerlo, es preciso calcular el número de moles de cada reactivo y comparar su proporción con la que requiere la ecuación balanceada. Luego, se usa la cantidad del reactivo limitante para calcular la masa de Ba3(PO4)2 que se forma.

Resolución: a partir de la ecuación balanceada, se tienen las relaciones estequiométricas siguientes:

2 mol Na3PO4 = 3 mol Ba (NO3)2 =1 mol Ba3(PO4)2

Utilizando la masa molar de cada sustancia, se puede calcular el número de moles de cada reactivo:

Estos cálculos muestran que el número de moles de Ba(NO3)2 es un poco mayor que el de Na3PO4. Sin embargo, los coeficientes de la ecuación balanceada indican que la reacción requiere 3 mol Ba(NO3)2 por cada 2 mol Na3PO4. [Es decir, se requieren 1.5 veces más moles de Ba (NO3)2 que de Na3PO4.]. Es decir, no hay suficiente Ba(NO3)2 para consumir totalmente el Na3PO4. Esto implica que el Ba(NO3)2 es el reactivo limitante. Por tanto, se usa la cantidad de Ba(NO3)2 para calcular la cantidad de producto que se forma. Se podría iniciar el cálculo con los gramos de Ba(NO3)2, pero es posible ahorrarse un paso si se parte de los moles de Ba(NO3)2 que se calcularon previamente en él.

Ejercicio:

Comprobación:

La magnitud de la respuesta parece razonable: partiendo de los números en los dos factores de la derecha, se tiene:

600/3 = 200; 200 X 0.025 =5.

Las unidades son correctas y el número de cifras significativas (3) corresponde a las que tiene la cantidad de Ba(NO3)2.

Comentario:

También es posible usar la cantidad del reactivo limitante, Ba(NO3)2, para determinar la cantidad de NaNO3 que se forma (4.16 g) y la cantidad de Na3PO4 consumida (2.67 g).

El número de gramos del reactivo en exceso, Na3PO4, que quedan al término de la reacción es igual a la cantidad inicial menos la cantidad consumida en la reacción:

3.50 g - 2.67 g = 0.82 g NaNO3

Xxxx xxxxxx

**Rendimientos teóricos**

La cantidad de producto que, según los cálculos, se forma cuando reacciona todo el reactivo limitante se llama rendimiento teórico. La cantidad de producto que realmente se obtiene en una reacción se denomina rendimiento real. El rendimiento real casi siempre es menor (y nunca puede ser mayor) que el rendimiento teórico.

Esta diferencia tiene muy diversas causas. Por ejemplo, es posible que una parte de los reactivos no reaccione, o que reaccione de una forma diferente de la deseada (reacciones secundarias). Además, no siempre es posible recuperar todo el producto de reacción de la mezcla de reacción. El porcentaje de rendimiento de una reacción relaciona el rendimiento real con el teórico (calculado):

**% Rendimiento= Rendimiento Real x 100 %**

**Rendimiento teórico**

El ácido adípico, H2C6H8O4, es un material empleado en la producción de nailon; se fabrica comercialmente por una reacción controlada entre ciclohexano (C6H12) y O2:

2C6H12(l) + 5O2(g) 2H2C6H8O4(l) + 2H2O(g)

1. Suponga que efectúa esta reacción partiendo de 25.0 g de ciclohexano, y que este es el reactivo limitante. Calcule el rendimiento teórico de ácido adípico.
2. Si obtiene 33.5 g de ácido adípico en la reacción, calcule el porcentaje de rendimiento de ácido adípico.

Solución

Análisis: Se da una ecuación química y la cantidad de uno de los reactivos (25.0 g de C6H12).

Se pide, primero, calcular el rendimiento teórico de un producto (H2C6H8O4) y luego calcular su porcentaje de rendimiento si sólo se obtienen, realmente, 33.5 g de la sustancia.

Estrategia:

(a) El rendimiento teórico es la cantidad calculada de ácido adípico que se forma en la reacción. Se realizan las siguientes conversiones:

g C6H12 mol C6H12 mol

H2C6H8O4 g H2C6H8O4.

(b) Una vez que se ha calculado el rendimiento teórico, se usa la ecuación para calcular el porcentaje de rendimiento.

Xxxx xxxxxx

Para redondear con dos decimales, se usa como base el tercer decimal; si este es mayor o igual a 5, se aumenta una unidad al segundo decimal, si es menor o igual a 4, se conservará la cifra del segundo decimal.

1. **Normativa de emisiones**

Xxxx xxxxxx

Conocer el marco normativo que regula la contaminación del aire en nuestro país es muy importante para establecer las acciones de prevención y control de los contaminantes que nos afectan en la actualidad. En esta sección, conocerá: las leyes, los decretos, las resoluciones, los protocolos y demás documentación vigente.

* 1. **Calidad del aire**

**Figura SEQ Figura \\* ARABIC 2**

*Calidad del aire en Colombia*

Las normas de calidad del aire en Colombia se convierten en la base para el seguimiento, así lo afirma El Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, donde “... *el monitoreo y control de la contaminación atmosférica ha tomado día a día mayor relevancia, debido a que, según cifras de la Organización Mundial para la Salud, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial es ocasionada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades**”.*

*Adicionalmente, los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia, durante los últimos años, se incrementaron, pasando de 1,1% del PIB de 2009 ($5,7 billones de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 ($12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 ($15.4 billones de pesos), lo cual pone en evidencia la necesidad de seguir implementando estrategias para controlar, evaluar y monitorear estas sustancias”*.

Xxxx xxxxxx

**Normas asociadas**

A continuación, encontrará un listado de normas colombianas que dan las pautas a nivel nacional en el tema del manejo de la contaminación del aire. Para profundizar en el tema, puede ir a la sección de materiales de apoyo.

* Resolución 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.
* Resolución 650 de 2010. Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire”.
* Resolución 2154 de 2010. Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.

Xxxx xxxxxx

**Protocolo asociado**

Un protocolo es una serie de datos detallados sobre un proceso de actuación científica o técnica, por lo que a continuación se mencionan dos que son claves para la conceptualización y aplicación de sus conocimientos en su vida laboral.

* Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

Nota: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ¨*Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*¨ (2008).

* + Manual de diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire.

Nota: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *¨Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire¨* (2010).

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para reforzar su aprendizaje, se invita a revisar los anteriores documentos en la sección de referencias, con el fin de leer los documentos completos. |

* 1. **Fuentes fijas**

**Figura SEQ Figura \\* ARABIC 3**

*Contaminación ambiental por el sector productivo.*

Las fuentes fijas puntuales, mejor conocidas como “chimeneas” o ductos, por donde se expulsan gases contaminantes ( *Mp,Sox,Nox, Co,.Cov´s, entre otros*) de las industrias que hacen parte del sector productivo que mueve la economía de nuestro país, aportan de manera importante al **continuo deterioro de la calidad del aire** que se respira, especialmente en la principales ciudades del país. Por esta razón, la normativa asociada a las fuentes fijas es fundamental para el seguimiento y control de las emisiones en Colombia. 

A continuación, se menciona la norma asociada relacionada con este tema.

**Normas asociadas**

Resolución 909 de 2008. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para complementar su aprendizaje, se invita a revisar la página web delMinisterio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial(2008), donde se toca el tema de la resolución 909 de 2008. Para esto debe ir a la sección de referencias |

**Métodos de medición y protocolos asociados**

* Resolución 0935 de 2011. Por la cual se establecen los métodos para la evaluación de emisiones contaminantes por fuentes fijas y se determina el número de pruebas o corridas para la medición de contaminantes en fuentes fijas. Nota: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2011).
* Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Nota: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ¨*Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*¨ (2008).

Xxxx xxxxxx

Los métodos de medición son:

**~~Figura 4~~**

*~~Métodos de medición~~*



1. **Interpretación de los resultados de emisiones**

Uno de los pasos más importantes para hacer control de la calidad del aire que hay en Colombia es hacer mediciones de manera periódica de las emisiones lanzadas al aire y luego realizar la interpretación de los datos obtenidos en ellas, con el fin de identificar si están acordes con los estándares internacionales definidos para el control de la concentración de estas sustancias que las empresas lanzan al medio ambiente, esto con el fin de diseñar políticas y dar pautas para su adecuado manejo, y de esa forma cumplir con la agenda 2030 definida por la UNESCO.

Xxxx xxxxxx

En Colombia, las normas relacionadas con la emisión e inmisión de contaminantes al aire establecen una serie de correcciones a los resultados que se registran en campo después de obtenidas las muestras de los contaminantes. A tales adaptaciones de presión y temperatura se les denominan correcciones de referencia, las cuales establecen a una temperatura 298.15 ºK y una presión atmosférica de 760 mmHg o 1 atmósfera. 

A continuación, verá cómo se realizan estas correcciones tanto en inmisión como en emisión.

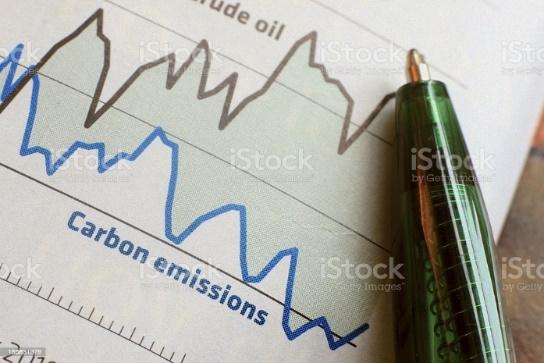
* 1. **Correcciones de resultados en inmisión o calidad del aire**

Las correcciones de resultados en emisión o calidad del aire son establecidas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, del año 2008.

A continuación, se presenta una metodología para el cálculo de las concentraciones a condiciones de referencia (Temperatura: 298.15 ºK y Presión: 760 mmHg ≈ 101325 Pa ≈ 101.325 kPa) a partir de los valores promedios horarios de concentración.

La Resolución 2254 de 2017 establece, en su Capítulo I, Artículo 2, los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio y los tiempos de exposición para cada contaminante.

Xxxx xxxxxx

Para comparar los datos de calidad de aire obtenidos de las mediciones con la norma, debe hacer un procedimiento básico. Se sugiere el procedimiento que a continuación se presenta:

**Figura SEQ Figura \\* ARABIC 3**

*Comparación de datos*

* Con los datos ya validados (e identificados con banderas) y organizados por orden cronológico, se calculará primeramente el valor promedio horario (*promedio de todos los datos recolectados y válidos obtenidos en una hora*).
* Una vez se tienen estimados los valores promedio de concentración horaria del contaminante, se procede con el cálculo de la media móvil.
* Debido a que las normas establecidas en la legislación colombiana se encuentran definidas a condiciones de referencia o condiciones estándar, es necesario expresar cada promedio de ocho (8) horas obtenido a estas mismas condiciones estándar. En ningún momento es correcto expresar la norma nacional (condiciones de referencia) a norma local (condiciones propias de cada ciudad), para realizar la comparación.
* Para expresar la media móvil (obtenida a partir de los datos promedios horarios de la estación) a condiciones de referencia o condiciones estándar y poder establecer la comparación con la norma, se parte de la ecuación de gas ideal y se establecen las correspondientes relaciones, esto es:

Donde:

P: presión.

V: volumen.

n: número de moles.

R: constante de los gases ideales (8.314 m3Pa/Kmol.K ≈ 0.082 l.atm/mol.K)

T: temperatura (siempre expresada en grados Kelvin, ºK).

A través de la ecuación del gas ideal, puede determinarse la concentración en función de la presión, la temperatura y el peso molecular de la sustancia de la que se desea cuantificar su presencia en el gas, de la siguiente forma:

P

; como = C

En esta serie de ecuaciones, se encuentran los siguientes términos:

m: masa de la sustancia que se quiere determinar en el gas (Kg)

PM: peso molecular de la sustancia a determinar (Kg/Kmol)

C: Concentración de la sustancia en el gas (Kg/m3 ó g/l)

Ahora bien, del tratamiento matemático anterior realizado a la ecuación del gas ideal, se llega a la conclusión que, dependiendo del contaminante (de sus propiedades físicas, como masa y peso molecular) y de las condiciones atmosféricas (presión y temperatura), se obtendrán determinados valores de concentración.

Por lo tanto, es válido afirmar que la concentración del contaminante i, a condiciones estándar, es igual al producto del peso molecular de dicho contaminante por la relación existente entre las condiciones estándar de presión y temperatura (Pst, Tst):

=

Como los datos promedio de concentración que se obtienen del monitoreo de calidad de aire corresponden a los valores de concentración de cada contaminante en particular obtenidos a las condiciones locales de presión y temperatura, y dichas condiciones son diferentes a las condiciones de referencia, entonces los datos que se obtienen, en realidad, de concentración corresponden a:

=

Donde:

: concentración del contaminante i en la región o ciudad j.

: presión en la región o ciudad j, es decir, la condición local de presión.

: temperatura en la región o ciudad j, es decir, la condición local de temperatura.

: peso molecular del contaminante medido.

R: constante de los gases ideales (8.314 m3. Pa/kmol.K ≈ 0.082 l.atm/mol.K).

Concluyendo, los datos obtenidos de valores promedio (media móvil para el periodo de tiempo que se va a evaluar) se tienen referenciados a las condiciones locales de la región o ciudad para los cuales se realizó la medición; pero estos, a su vez, deben ser comparados con la norma nacional, la cual se encuentra expresada a condiciones de referencia o condiciones estándar (760 mmHg de presión o 101325 Pa o 101.325 KPa y a una temperatura de 298.15 ºK).

Por ese motivo, es necesario expresar los datos promedios obtenidos de la medición a valores promedios de concentración expresados a condiciones estándar o de referencia. Esto se realiza de la siguiente forma: los datos promedios de ocho horas obtenidos a condiciones locales son expresados bajo condiciones de referencia.

Finalmente, tan pronto se hayan expresado los datos promedio de concentración a condiciones de referencia o condiciones estándar, se procede a compararlos con la norma nacional para el periodo de tiempo estipulado.

Xxxx xxxxxx

* 1. **Correcciones de resultados en emisión o fuentes fijas**

Según lo establecido en la Resolución 909 de 2008, en el Capítulo XXI disposiciones finales, Artículo 86, todos los resultados de las mediciones de los diferentes contaminantes deben ser corregidos a condiciones de referencia, por medio de la siguiente ecuación:

Donde:

: Concentración del contaminante a condiciones de referencia en mg/m3

: Concentración del contaminante a condiciones locales en mg/m3

: Temperatura de los gases a la salida del ducto en °K

: Presión a condiciones de referencia en mm Hg

: Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg

: Temperatura a condiciones de referencia en °K.

La misma resolución, en su Artículo 88, define adicionalmente que los resultados en los que se vean implicados los contaminantes derivados de una relación de combustión deben realizar adicionalmente la corrección de oxígeno, de acuerdo con la siguiente ecuación:

Donde:

: Concentración del contaminante a condiciones de referencia con la corrección de oxígeno, basado en el oxígeno de referencia, de conformidad con lo establecido en la presente resolución.

: Concentración del contaminante a condiciones de referencia.

: Oxígeno de referencia de la medición, de conformidad con lo establecido en la presente resolución, en porcentaje (%).

X%: Oxígeno medido a la salida de los gases, en porcentaje (%).

Dependiendo si la fuente de contaminación proviene de una actividad industrial más NO de una fuente de combustión externa, la resolución 909 de 2008, Artículo 87, establece que se debe calcular el flujo del contaminante. Para calcular el flujo de los contaminantes, se debe emplear la siguiente ecuación:

FC=

Donde:

FC: Flujo del contaminante en kg/h

: Concentración del contaminante a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) en mg/m3

: Caudal del contaminante a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) en m3/h

|  |
| --- |
| LLAMADO A LA ACCIÓN  Para profundizar en el tema, se invita a ingresar a la página web del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, donde aparece la *Resolución 909 de 2008. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.* (2008, p. 29). Esta información está ubicada en la sección de referencias. |

Una vez obtenidos los resultados, se comparan directamente con la norma. Dependiendo si la fuente corresponde a procesos relacionados a actividades industriales, se toma como base el Artículo 4, como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 10**

*Estándares de emisión admisible*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **CONTAMINANTE** | **FLUJO DEL CONTAMINANTE Kg/h** | **ESTÁNDARES DE EMISIÓN ADMISIBLES DE CONTAMINANTES mg/** | |
| Material Particulado (MP) |  | 250 | 150 |
|  | 150 | 50 |
| Dióxido de azufre | TODOS | 550 | 500 |
| Óxidos de nitrógeno | TODOS | 550 | 500 |
| Compuestos de flúor inorgánico (HF) | TODOS | 8 | |
| Compuestos de cloro inorgánico (HCI) | TODOS | 40 | |
| Hidrocarburos Totales | TODOS | 50 | |
| Dioxina y furanos | TODOS | 0,5\* | |
| Neblina ácida o trióxido de azufre, expresado como: | TODOS | 150 | |
| Plomo (Pb) | TODOS | 1 | |
| Cadmio (Cd) y sus compuestos | TODOS | 1 | |
| Cobre (Cu) y sus compuestos | TODOS | 8 | |

Las dioxinas y furanos se expresan en las siguientes unidades (ng-), EQT: Equivalencia de toxicidad.

Si, por el contrario, corresponde a una fuente de combustión externa, se tomarán como referentes los estándares contenidos en el Capítulo III, Artículos 7 y 8, y hacer la comparación directa.

**Tabla 11**

*Estándares de emisión admisibles en equipos de combustión externa*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Combustible** | **Estándares de emisión admisibles ()** | | |
| **MP** |  |  |
| Sólido | 200 | 500 | 350 |
| Líquido | 200 | 500 | 350 |
| Gaseoso | NO APLICA | NO APLICA | 350 |

**Tabla 12**

*Estándares de emisión admisibles en equipos de combustión externa nuevos*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Combustible** | **Estándares de emisión admisibles ()** | | |
| **MP** |  |  |
| Sólido | 50 | 500 | 350 |
| Líquido | 50 | 500 | 350 |
| Gaseoso | NO APLICA | NO APLICA | 350 |

Cuando se habla del concepto inmisión, se están relacionando los contaminantes presentes en el aire que el ser humano respira; a ello se le denomina calidad del aire y la normativa que en la actualidad la regula es la Resolución 2254 de 2017. Y cuando se refiere al concepto de emisión, se está hablando de los contaminantes que emiten las fuentes móviles y fuentes fijas desde sus ductos o chimeneas; las normas en Colombia que las regulan actualmente son las Resoluciones 910 y 909 de 2008.

Como conclusión, Colombia ha venido cumpliendo el pacto propuesto por la UNESCO con la Agenda 2030- Objetivos de Desarrollo Sostenible, puesto que tiene normatividad y resoluciones, se hace seguimiento al sector productivo y se definen pautas a seguir en el caso de que se encuentre que se está saliendo una empresa del límite de emisiones dañinas al medio ambiente.

Para profundizar en el tema, se invita a revisar la zona de referencias, con el fin de aclarar su conocimiento al leer directamente los contenidos que las entidades del Estado colombiano han diseñado para cuidar el medio ambiente y, de esa forma, poder cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible que la Agenda 2030 y la Unesco han desarrollado.

1. **SÍNTESIS**

El siguiente mapa integra los criterios y especificidades de los conocimientos expuestos en el presente componente formativo.

CF9\_Sintesis

1. **ACTIVIDADES DIDÁCTICAS (OPCIONALES SI SON SUGERIDAS)**

|  |  |
| --- | --- |
| Descripción de actividad didáctica | |
| Nombre de la actividad | *Leyes de gases ideales* |
| Objetivo de la actividad | *Identificar las leyes fisoquímicas del aire.* |
| Tipo de actividad sugerida |  |
| Archivo de la actividad  (anexo donde se describe la actividad propuesta) | Actividad\_1.docx |

1. **MATERIAL COMPLEMENTARIO**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tema | | Referencia APA del material | | Tipo de material  (video, capítulo de libro, artículo, otro) | | Enlace del recurso o  archivo del documento o material |
| Conversión de unidades | Puntaje Nacional Chile. (Abril 4, 2013). *Unidades de concentració*n [Video]. YouTube. | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=NGUytYmKAro> | |
| Ley de los gases | Education Journal. (Marzo 10, 2017). *Experimento densidad del aire* [Video]. YouTube. | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=VjGghz1JBVE> | |
| Ley de los gases | Danstein. (Octubre 15, 2019). *Leyes de los gases Parte 3-Ley general de los gases y ejemplos prácticos* [Video]. YouTube. | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=b-Dzm6hGPJ8> | |
| Diagramas de entrada y salida de la contaminación atmosférica | Ochoa, W. (Marzo 22, 2020). *Evaluación de impacto ambiental - Diagramas de proceso* [Video]. YouTube*.* | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=yqi372crXWY> | |
| Cálculo de emisiones | Corantioquiaoficial. (Abril 30, 2014). *Seguimiento y Control a Fuentes Fijas* [Video]. YouTube*.* | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=fNBy6k4EKHo> | |
| Instalaciones para equipos de toma de muestra y análisis | Fluoreciencia Didáctica, lenguaje y cultura*.* (Marzo 1, 2016*) Atmósfera-Muestreo Isocinético en chimenea* [Video]. YouTube. | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=rrXgBvkuJ4w&t=10s> | |
| ¿Qué es un factor de emisión? | Tecnológico de Monterrey | Innovación Educativa. (Septiembre 27, 2017*). ¿Qué es un factor de emisión*? [Video]. YouTube. | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=A0DKIGHVUsE> | |
|  | Páez, J. (Agosto 3, 2013). *Factores de Emisión EPA AP-42* [Video]. YouTube. | | Video | | <https://www.youtube.com/watch?v=kThVlN83V9g> | |

1. **GLOSARIO**

|  |  |
| --- | --- |
| Término | Significado |
| Balance de masas: | El balance de masas hace referencia a la cuantificación de emisiones por balance de materia y energía. En ocasiones, por las características del proceso industrial, es el único método para la cuantificación de emisiones que se puede emplear. Por ejemplo, en las actividades industriales que manufacturan o emplean en sus procesos compuestos orgánicos volátiles, especialmente cuando las emisiones se producen de manera fugitiva, este procedimiento de evaluación se convierte en la primera alternativa para cuantificar la emisión de contaminantes. (MAVDT, 2010a, p. 25). |
| Concentración de una sustancia en el aire: | Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida. (Resolución 909 de 2008, p. 33). |
| Condiciones de referencia: | Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 ºC y 760 mm de mercurio. (Resolución 909 de 2008, p. 33). |
| Contaminación atmosférica: | Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire. (Resolución 909 de 2008, p. 33). |
| Contaminantes: | Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas. (Resolución 909 de 2008, p. 33). |
| Emisión: | Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil. (Resolución 909 de 2008, p. 34). |
| Factores de emisión: | Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad o del proceso, tal como el consumo de energía, el consumo de materia prima, el consumo de combustible, las unidades de producción, el calendario de protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas en operación, el número de dispositivos o las características de estos, entre otros. (MAVDT, 2010a, p. 28). |
| Fuente de emisión: | Es toda actividad, proceso u operación realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire. (Resolución 909 de 2008, p. 34) |
| Fuente fija dispersa o difusa: | Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como, por ejemplo, en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales. (Resolución 909 de 2008, p. 34). |
| Fuente fija puntual: | Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas. (Resolución 909 de 2008, p. 34). |
| Fuente fija: | Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aún cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa. (Resolución 909 de 2008, p. 34). |
| Norma de emisión: | Es el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes establecido por la Autoridad ambiental competente, con el objeto de cumplir la norma de calidad del aire. (Resolución 909 de 2008, p. 35). |

1. **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA]. (2020). *Factores de emisiones atmosféricas y cuantificación*. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification#About%20Emissions%20Factors>

algoestadistica. (2011). *Notación científica*. Probabilidad y Estadística. <http://pedroprobabilidadyestadistica.blogspot.com/2011/04/notacion-cientifica.html>

Ambiente Bogotá. (2020). *Red de calidad del aire*.

<http://ambientebogota.gov.co/image/image_gallery?uuid=b459b6d1-003d-4333-9484-9d1efbb526e2&groupId=10157&t=1410817522951>

Arias, M. (s. f.). *Cifras Significativas - Física I. Laboratorio de Física I (FI-LUZ)*. Física I. Laboratorio de Física I (FI-LUZ). <https://sites.google.com/site/laboratoriodefisicaifiluz/practicas-de-laboratorio/practica-no-1/cifras-significativas>

Brown, T., LeMay, H., Bursten, B. y Burdge, J. (2004)*. Química. La ciencia central.* Pearson Educación. <https://academia.utp.edu.co/quimica2/files/2018/09/quc3admica-la-ciencia-central-brown.pdf>

Colegio Cristiano Jireth. (s. f.). *Leyes de los ga*ses. <https://www.webcolegios.com/file/bb95fd.pdf>

Comisión Nacional del Medio Ambiente Chile. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*. Gobierno de Chile. <http://www.declaracionemision.cl/docs/GUIA_CONAMA.pdf>

Educaplus.org. (s. f.-a). *Amedeo Avogadro (1776–1856)*. <http://www.educaplus.org/gases/bio_avogadro.html>

Educaplus.org. (s. f.-b). *Jacques Charles (1746–1823)*. <http://www.educaplus.org/gases/bio_charles.html>

Educaplus.org. (s. f.-c). *Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850)*. <http://www.educaplus.org/gases/bio_gay.html>

Educaplus.org. (s. f.-d). *Robert Boyle (1627–1691)*. <http://www.educaplus.org/gases/bio_boyle.html>

El Mundo de la Ciencia. (s. f.). *Balanceo de reacciones REDOX - El Mundo de la Ciencia*. <https://sites.google.com/site/elmundodelacienciaensm/reacciones-redox>

El Tiempo. (2019, Junio 4). *El 92 % de los habitantes del planeta no respiran un aire limpio*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/datos-sobre-la-contaminacion-del-aire-en-el-mundo-370632>

Gobierno de Estados Unidos. (s. f.). *Leyes y regulaciones federales*. USAGov en Español. <https://www.usa.gov/espanol/leyes-regulaciones-federales>

*Guía práctica para la gestión ambiental empresarial*. (2008). <https://docplayer.es/11257606-Guia-practica-para-la-gestion-ambiental-empresarial-2008-guia-practica-para-la-gestion-ambiental-empresarial.html>

IDEAM. (s. f.-a). *Calidad del aire*. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

IDEAM. (s. f.-b). *Emisiones por fuentes fijas*. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-fijas>

IDEAM. (s. f.-c). *Emisiones por fuentes móviles*. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles>

IDEAM. (2014). *Contaminación y calidad ambiental*. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental>

Junta de Andalucía. (s. f.). *Las reacciones químicas: tipos de reacciones químicas.*

<http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/30042010/10/es-an_2010043013_9115528/FQ1_U3_T3_Contenidos_v02.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.* <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas*. <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527666/Protocolo+fuentes+fijas.pdf/65780586-e70d-434a-9da7-264d3649b2ba>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010b). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.* (2010). <https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Dise%C3%B1o.pdf>

Naciones Unidas. (s. f.). *Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Pardo, K. (2018, Noviembre 24). *Contaminación del aire: un asesino anda suelto*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/contaminacion-del-aire-un-problema-para-la-salud-en-colombia-292226>

Peña, T. y Bautista, J. (2018). *Naturaleza de las reacciones químicas.* Explorer BioGen. <https://explorerbiogen.wordpress.com/2018/02/01/naturaleza-de-las-reacciones-quimicas/>

Profe Cerebrito. (2013a). *Información cuantitativa a partir de ecuaciones balanceadas teoría y ejercicios resueltos*. <http://quimica-a1.blogspot.com/2013/02/informacion-cuantitativa-partir-de.html>

Profe Cerebrito. (2013b). *Reactivos limitantes teoría y ejercicios resueltos*. <http://quimica-a1.blogspot.com/2013/02/reactivos-limitantes-teoria-y.html>

Resolución 909 de 2008. [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Junio 5 de 2008. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/f0-Resoluci%C3%B3n%20909%20de%202008%20%20-%20Normas%20y%20estandares%20de%20emisi%C3%B3n%20Fuentes%20fijas.pdf>

Resolución 910 de 2008. [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. Junio 5 de 2008. <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%20910%20DE%202008.pdf>

Resolución 650 de 2010. [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Marzo 29 de 2010. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/fb-Resolucion%20650%20de%202010%20-%20Adopci%C3%B3n%20protocolo%20calidad%20del%20aire.pdf>

Resolución 2154 de 2010. [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones. Noviembre 2 de 2010. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/79-Resoluci%C3%B3n%202154%20de%202010%20-%20Ajuste%20Protocolo%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

Resolución 0935 de 2011. [Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia]*.* Por la cual se establecen los métodos para la evaluación de emisiones contaminantes por fuentes fijas y se determina el número de pruebas o corridas para la medición de contaminantes en fuentes fijas. Abril 20 de 2011. DO. Nº 48.085. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=42971>

Resolución 2254 de 2017. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Noviembre 1 de 2017. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>

Revista Semana. (2020, septiembre 9). *Colombia tendría 190.000 vehículos eléctricos en 2030* <https://sostenibilidad.semana.com/actualidad/articulo/colombia-tendria-190000-vehiculos-electricos-en-2030--noticias-hoy/55167>

Sánchez, C. (2018). *Ley de los gases ideales*. Instituto Superior Paramédico. <https://machete2000.files.wordpress.com/2018/10/08-gases-ideales.pdf>

Tecnológico de Monterrey | Innovación Educativa. (Septiembre 27, 2017). *¿Qué es un factor de emisión?* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=A0DKIGHVUsE>

Troposfera. (s. f.). *Unidades de Medición Empleadas en Calidad del Aire*. <https://www.troposfera.org/conceptos/unidades-de-medicion-empleadas-en-calidad-del-aire/>

Universidad de Panamá. (s. f.). *El Sistema Internacional*. Universidad de Panamá. Cursos de Química Analítica. <https://alkemist.jimdofree.com/qm-112/sem-2-sistema-internacional/>

Universidad Iberoamericana. (s. f.). *2. Soluciones. Unidades de Concentración*. <https://ibero.mx/campus/publicaciones/quimanal/pdf/2soluciones.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. (s. f.). Ecuación química. <http://uapas2.bunam.unam.mx/ciencias/ecuacion_quimica/>

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. (2019). *Leyes generales de los gases: su aplicación en Fisiología.* <http://fisiologia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2019/11/3-leyes-de-los-gases.pdf>

Universidad Nacional de Lomas de Zamora. (s. f.). *Módulo: Respiración celular*. <http://agrarias.unlz.edu.ar/archivos_descargables/rvmaterialdebiologaparaelccf/Respiracion%20celular.pdf>

1. **CONTROL DEL DOCUMENTO**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Nombre | Cargo | Dependencia | Fecha |
| AUTOR (es) | Diana Carolina Triana Guarnizo | Instructor | Centro de Gestión Industrial | 12/10/2020 |
|  | Juan Carlos Cárdenas Sánchez | Instructor | Centro de Gestión Industrial | 12/10/2020 |
|  | Gloria Esperanza Ortiz Russi | Evaluador y diseñador instruccional | Centro de diseño y metrología | Noviembre de 2020 |
|  | Martha Isabel Martínez Vargas | Productora audiovisual | Centro Industrial del Diseño y la Manufactura | Diciembre 2020 |
|  | Ana Vela Rodríguez Velásquez | Diseño instruccional | Centro de Gestión Industrial | Mayo 2021 |
|  | Alix Cecilia Chinchilla Rueda | Evaluadora Instruccional | Centro de Gestión Industrial | Junio 2021 |
|  | Darío González | Corrección de estilo | Regional Tolima – Centro Agropecuario La Granja | Septiembre 2021 |

1. **CONTROL DE CAMBIOS**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Nombre | Cargo | Dependencia | Fecha | Razón del cambio |
| Autor (es) |  |  |  |  |  |