

Comportamiento de la contaminación atmosférica en las industrias y su afectación a la salud humana *Behavior of air pollution in industries and its impact on human health*

Lic. Airen Fernández-Cadete

airen@cterente.une.cu

CTE Antonio Maceo Grajales, Santiago de Cuba, Cuba

Ing. Kleydis Írsula-Marén

kleydis@refscu.cupet.cu

Refinería de Petróleo Hermanos Díaz, Santiago de Cuba, Cuba

Dr. Jorge Luis Santana-Romero

santana@instec.cu

Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Ciudad de la Habana, Cuba

Resumen

Limitar las emisiones de contaminantes atmosféricos es un indicador de gestión ambiental para las empresas, como resultado de sus procesos productivos. El dióxido de azufre es irritante, tóxico e intermediario en la producción de lluvia ácida. El benceno es un conocido cancerígeno humano. En el trabajo se evalúa la determinación de sus concentraciones en los gases de combustión de fuentes puntuales y se comparan con la normativa vigente. Para determinar los riesgos a la salud de los trabajadores se utilizó la prueba condicional CTM 034 (EPA) obteniendo valores medios de concentración de SO₂ (mg/Nm³) de 9615.94, 8456.10 y 8587.67 en las unidades 4, 5 y 6 respectivamente; y para el C₆H₆ (mg/Nm³) de 924,57 en la mañana y 835,3 en la tarde; permitiendo identificar sitios y condiciones de mejora para optimizar las condiciones laborales, ambientales y de vida de los trabajadores expuestos.

Palabras clave: contaminación, emisiones, SO₂, benceno, atmosféricos.

Abstract

Limiting emissions of atmospheric pollutants is an indicator of environmental management for companies, because of their production processes. Sulphur dioxide is irritating, toxic and an intermediary in the production of acid rain. Benzene is a known human carcinogen. The work evaluates the determination of its concentrations in the combustion gases from specific sources and compares them with current regulations. To determine the risks to workers' health, the conditional test CTM 034 (EPA) was used,

obtaining average SO₂ concentration values (mg/Nm³) of 9615.94, 8456.10 and 8587.67 in units 4, 5 and 6 respectively; and for C₆H₆ (mg/Nm³) of 924.57 in the morning and 835.3 in the afternoon; allowing the identification of sites and improvement conditions to optimize the working, environmental and life conditions of exposed workers.

Keywords: pollution, emissions, SO₂, benzene, atmospheric.

Introducción

La gestión ambiental empresarial es consistente con el desarrollo por las empresas de procedimientos que evidencien su compromiso social en la protección del medio y la salud de los trabajadores. Las instalaciones de producción de energía eléctrica y refinación de petróleo que utilizan combustibles con diferentes características se caracterizan por altas emisiones de contaminantes, fundamentalmente por las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y benceno (C₆H₆) al medio.

El presente caso de estudio expone la problemática referente a la contaminación ambiental de dos industrias fundamentales y de sus elementos; con el fin de dar a conocer e incentivar a los trabajadores y a la población de temas vinculados con la protección de la calidad del aire y de la vida de quienes están afectados por este tipo de actividades.

Estas empresas se encuentran enclavadas en la Península de Renté a 7 y 9 km al suroeste de la ciudad de Santiago de Cuba, en la zona industrial y al sudoeste de la bahía, colindando al Norte con la cuenca hidrográfica “Parada” y la carretera de Mar Verde. El combustible utilizado es el suministrado directamente de los buques y se envía con las condiciones requeridas de presión y temperatura para el proceso de refinación de combustible y producción de energía eléctrica.

Como parte de la reglamentación de protección medioambiental, los gases de combustión de las instalaciones industriales están sujetos a normas que establecen los límites máximos permitidos de emisiones y concentración en el aire:

- NC 1020:2014, Calidad del aire – Contaminantes – Máximas Admisibles y Valores Guías en zonas habitables y la norma en ambiente laboral,

- NC 803:2017, Calidad del aire – Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor,
- NC 872:2011 Sustancias nocivas en el aire de la zona de trabajo. Evaluación de la exposición laboral. Requisitos generales, y
- NC: 19 – 01 – 63:1991 Aire de la zona de trabajo. Niveles límites admisibles de las sustancias nocivas.

Si se toman en cuenta las condiciones de emisiones a la atmósfera de los contaminantes de interés en la producción energética y refinación de petróleo y la influencia que sobre las mismas presentan las condiciones meteorológicas, es posible estimar el riesgo a la salud que estos gases representan a partir del contacto con el ser humano.

Metodología

Teniendo en cuenta la caracterización de los gases contaminantes principales expulsados en los procesos productivos de la Termoeléctrica y la Refinería de la ciudad de Santiago de Cuba, se propone la evaluación de riesgos en salud (ERS) con la emisión de SO_2 y C_6H_6 en los gases expulsados, como la metodología para predecir la secuencia de eventos resultantes de los niveles de exposición de los trabajadores a determinados factores de riesgo, caracterizando a su vez la magnitud y gravedad de las consecuencias en salud resultantes de dicha exposición. (Olmedo y Ordóñez, 2016).

1.1. Expulsiones de contaminantes del aire en la zona de estudio.

Por la composición elemental de los combustibles líquidos y el lastre externo que contienen, los humos resultantes de las actividades con los combustibles se componen de nitrógeno, óxidos de carbono, vapor de agua, oxígeno, benceno, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otros productos (Collazo, 2017).

Relevante para nuestro tema de interés, por las consecuencias que generan, resultan el dióxido de azufre generado en la termoeléctrica y el benceno emitido en la refinería de Santiago de Cuba.

Caracterización de emisiones de dióxido de azufre.

El SO₂ es un gas contaminante incoloro y con un olor desagradable que se origina en la combustión del carbón y el petróleo, así como algunas actividades consideradas más ecológicas. (Bertomeu S. L. 2000). Durante el proceso de oxidación en la atmósfera, este gas forma sulfatos, y en presencia de humedad forma ácidos.

Son importantes las técnicas de reducción previas del azufre en el combustible (desulfuración), para disminuir estas emisiones en los gases contaminantes, pero, no son ejecutados por dificultades económicas. Las emisiones de SO₂ en la termoeléctrica dependen del contenido de azufre en el combustible, y su composición es variable en dependencia del estado tecnológico de las calderas y de la composición del combustible utilizado. (Cepeda, L. 1995).

Caracterización de emisiones de benceno.

El benceno es un líquido incoloro de aroma dulce. Se evapora al aire rápidamente y es poco soluble en agua. Es sumamente inflamable y se forma tanto de procesos naturales como de actividades humanas. Es un constituyente natural del petróleo crudo, gasolina, y otros.

Los procesos industriales constituyen la principal fuente de benceno en el medio ambiente, pudiendo pasar al aire desde el agua y el suelo. Reacciona en el aire con otros productos químicos y se degrada en unos pocos días, puede adherirse a lluvia o nieve y así ser transportado de nuevo al suelo (Asprilla, Córdoba. 2013).

Metodología de estudio

Para el correcto proceso de ejecución de la evaluación y la metodología empleada se distribuyeron las tareas divididas en las siguientes etapas:

Evaluación de la exposición.

Las mayores fuentes de las emisiones de SO₂ de la termoeléctrica procedentes de la combustión del petróleo en las unidades generadoras, salen a la atmósfera a través del sistema de gases y los expulsa por las chimeneas. Los conductos de gases sufren corrosión de forma paulatina y debido a las demoras en la ejecución de los mantenimientos, entre otras causas, constituyen fuentes de emisión de los gases contaminantes al nivel del suelo, que suelen ser perjudiciales para la salud.

En la Refinería Hermanos Díaz los puntos críticos emisores de contaminación por benceno se encuentran en los cargaderos de camiones (automotor) y ferrocarril (carros-tanques), en el laboratorio de combustible, en las plantas productivas (Combinadas 1 y 2), en el área de tanques (principalmente los tanques de gasolina) y en el muelle de descarga.

Recolección de datos.

Para las mediciones de gases contaminantes en el aire ambiente realizadas, se utilizaron el Analizador de gases de combustión *TESTO – 350* 2010 para la termoeléctrica y para la Refinería el equipo *Multiwarn II* de la firma alemana *Draeger*, que utiliza un sensor *Cat-Ex* que combina dos métodos de medición, lecho catalítico y conductividad térmica.

Las mediciones en la termoeléctrica se ejecutaron en la toma de muestra para gases dispuestos en la salida de los CAR; y en caso de tupición se realizaron las mediciones en la toma de muestras donde se sacan las cenizas. Para el caso de la refinería, los puntos de muestreos fueron tomados en las calderas 1 y 2, los cargaderos de automotor y ferrocarril, y el muelle; ya que los procesos de destilación y reformación se encontraban fuera de servicio.

Si comparamos los valores normalizados con los de referencias establecidos, se puede observar en las tablas 1. y 2. que el SO_2 en las fuentes contaminantes no supera el valor normado y el C_6H_6 supera los valores normados en las fuentes de emisión de los conductos de gases del área de caldera 1 y 2 y el cargadero de ferrocarril.

Tabla 1. Valores promedios del contenido de SO_2 presente en los gases emitidos por la Termoeléctrica Antonio Maceo

Fuente de emisión	Fecha de muestreo	Total de mediciones	SO_2 (mg/Nm^3)
Conducto de gases Unidad 4	10/01/2018	18	4891.56
Chimenea 2 (Salida unidad 4)	10/01/2018	12	9615.94
Chimenea 3 (Salida unidad 5)	26/10/2018	18	8456.10
Chimenea 3 (Salida unidad 6)	19/06/2018	14	8587.67
Valor de referencia			10000

Tabla 2. Valores promedios del contenido de C₆H₆ presente en los gases emitidos por la Refinería de Petróleo Hermanos Díaz.

Fuente de emisión	Fecha de muestreo	Total de mediciones	COV ppm C ₆ H ₆
Conducto de gases área de caldera 1	15/11/2018	20	348
Conducto de gases área de caldera 2	15/11/2018	12	367
Cargadero de camiones	24/11/2018	17	259
Cargadero por ferrocarril	15/11/2018	15	363
Muelle	20/11/2018	16	182
Valor de referencia			290

Metodología para el diseño. Descripción de la investigación.

Para el proyecto a desarrollar se realizan mediciones en cada fuente contaminante, así como en las áreas de mayor implicación de acuerdo con los vientos predominantes y se calcula la dosis de referencia que permita al final del proceso evaluar el riesgo del efecto del contaminante en la salud de los trabajadores.

Dióxido de azufre.

El SO₂ para el efecto sobre la salud presenta un nivel de exposición UMBRAL, equivalente a una dosis que administrada durante toda la vida es improbable, incluso en poblaciones sensibles, que produzca efectos adversos.

El UMBRAL puede recibir varios nombres en dependencia de la agencia que lo formule. En este caso se emplea el estándar de la U.S. EPA, dosis de referencia o RfD. (Olmedo y Ordóñez., 2016)³.

$$\text{Cociente de peligro (HQ)} = \frac{DEE}{UMB\text{RAL}} = \frac{DEE}{RfD * 1000 \frac{\mu g}{mg}}$$

donde: HQ = Cociente de peligro por inhalación (adim.), RfD = Concentración de referencia por inhalación (mg/m³), DEE = Concentración de exposición por inhalación (μg/kg PC-día)

$$DEE = \frac{C \times TC \times FE}{PC}$$

donde: C = Concentración del contaminante en el aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), TC = Inhalación promedio de aire ($\text{m}^3/\text{día}$), PC = Peso corporal (se estima para adultos peso promedio de 70 kg), FE = Factor de exposición (adimensional)

$$FE = \frac{F \times DR}{AT}$$

donde: F = Frecuencia de exposición (días/año), DR = Duración de exposición (años), AT = Tiempo promedio (días)

Cuando el cociente de peligro es menor que 1 puede decirse que no es probable que se produzcan efectos adversos, y el riesgo puede considerarse insignificante. De ser mayor que 1 se supera el umbral de exposición seguro.

Cada RfD se define para un efecto crítico concreto, una vía de exposición y un período de exposición, por lo que se calcula para cada área. (Olmedo y Ordóñez., 2016)³.

Benceno.

El método para el estudio de la exposición al benceno se realizó mediante una valoración de exposición de los trabajadores en contacto con el tóxico, por la metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados.

Un contaminante cuya concentración en el ambiente supere a la EMEG "Guía de evaluación para medios ambientales" en cualquiera de los medios deberá ser sujeto a un análisis toxicológico. Si no rebasa el contaminante a la guía de referencia en alguno de los medios analizados podría ser descartado (Díaz, 1999). (ASTDR: agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades) (MRL: dosis de riesgo mínimo)

Para poder evaluar los contaminantes hay que tener un valor de referencia. Para esto hay que realizar una comparación de la concentración de aire del benceno con la EMEG para el benceno.

$$EMEG = \frac{(MRL \text{ o } RfD \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{día}}{\text{día}} \right) \cdot PC (\text{kg}))}{TI \left(\text{kg} \cdot \frac{\text{L}}{\text{día}} \right)}$$

$$Dosis \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{c(\text{benceno}) \cdot TI}{PC} \cdot FE$$

donde: PC = Peso corporal (se estima para adultos peso promedio de 70 kg), TI = Tasa de ingestión diaria (mg/adulto), Dosis = dosis de exposición que está estimándose, TI= tasa de inhalación diaria de aire = 23 m³/hombre, PC= peso corporal= 70 kg/adulto, FE= factor de exposición

Los RfD son estimados de exposición humana diaria a un químico, no se asocian con riesgo a la salud. Puede obtenerse de bibliografías consultadas.

Resultados y discusión

Descripción y ubicación de la zona de estudio

La Bahía Santiaguera mide unos 9 km de largo por 3 km de ancho, su boca es extremadamente estrecha, de las llamadas de Bolsa. Sus costas son irregulares formando numerosas ensenadas. En sus márgenes se asienta una de las principales ciudades del país, se localiza uno de los principales puertos y una de las zonas industriales más importantes.

El clima se encuentra bajo un fuerte estrés urbano e industrial, que causa modificaciones en la temperatura, la radiación y la precipitación. La humedad relativa promedio no supera el 76 % en el período más húmedo en Santiago (Collazo, A., 2017). La rapidez media mensual del viento generalmente es superior a los 4,6 km/h y los valores más altos están cercanos a los 6,8 km.

Metodología de evaluación de riesgos empleada para la salud de los trabajadores.

Puntos de exposición (potencialmente contaminados).

Se organizó un programa de monitoreo en las fuentes de la zona de trabajo por 10 días en cada entidad, en puntos que permiten caracterizar la calidad del aire de las zonas de estudio, y determinar el comportamiento de las concentraciones de estos compuestos.

La fase experimental en la termoeléctrica abarcó cuatro puntos de medición: Casa de Bombas de Petróleo, Edificio administrativo de la CTE (exterior), Taller de Mantenimiento Constructivo y Brigadas del Taller de Mecánica, caracterizando la calidad del aire de la zona de estudio;

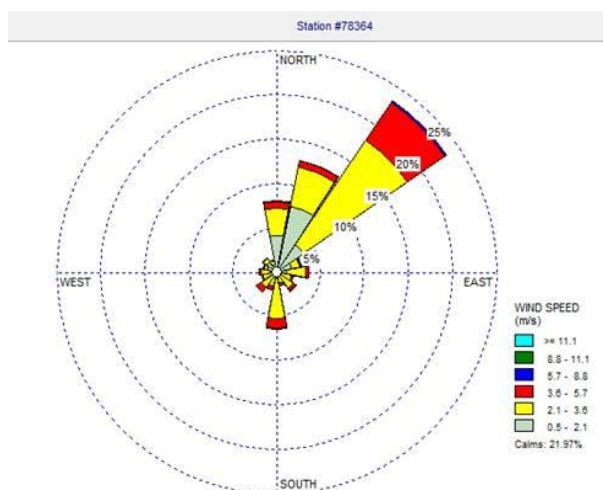
Para la refinería se seleccionaron seis puntos de medición que abarcan zonas críticas durante el mantenimiento y la estadía de personal de oficina, que fueron: Zona

separador API, Área de compresores (Combinada 2), Casa de bombas, cerca del laboratorio de combustible, frente a cargadero de camiones y edificio del despacho y la Estación edificio de metrología y edificio central.

Estudio climático de la zona de estudio.

Se utilizaron los datos de la estación meteorológica de la Universidad de Oriente, siendo ésta la más cercana a los sitios de estudio, en el período comprendido entre el 01/01/2018 y el 30/11/2018. Debido a su importancia en los resultados de la dispersión, en la figura. 1, se presentan la rosa de los vientos utilizada en los cálculos.

Figura. 1. Vector de flujo de los vientos en función de la dirección y velocidad del viento en la estación de la Universidad de Santiago de Cuba.



Como para Cuba no se dispone de datos de sondeo o de aire superior, se utilizó una versión del AERMET desarrollada en CUBAENERGÍA. En el estudio se refleja que durante las horas diurnas predomina el viento norte y durante la noche predomina el viento sur.

Determinación de las concentraciones en el aire de dióxido de azufre.

Las mediciones de gases contaminantes se realizaron por los especialistas de CUBAENERGÍA en la zona exterior de las áreas a monitorear. Para el caso de las áreas productivas se realizaron en tres horarios: sobre la mitad de la mañana y la mitad de la tarde, por encontrarse trabajando además de los operadores el personal de mantenimiento, y en la noche cuando solo se encuentran en el área los operadores. En el

resto de las áreas se midió tomando en cuenta los horarios de mayor concentración de personal.

En general el SO₂ presenta valores promedios inferiores a la concentración máxima admisible en todas las áreas monitoreadas, aunque en algunas ocasiones se presentaron valores instantáneos por encima de la norma, que se corresponden con regímenes críticos en las unidades generadoras durante la medición (desajustes en la combustión, arranques y paradas). Ver Tabla 3.

Tabla 3. Valores promedios medidos del contenido de SO₂ en muestras instantáneas (1 hora).

Área	Total de mediciones	Distancia (m)	Valor medio (µg/m ³)	Veces superada la Cma
Casa de Bombas de Petróleo	5	750	158,5	0,63
Edificio administrativo	12	150	90,5	0.36
Mantenimiento Constructivo	10	150	66,8	0.27
Brigadas del Taller de Mecánica	9	50	244,7	0.98

La zona más afectada se corresponde con las Brigadas del Taller de Mecánica, fundamentalmente por el mal estado tecnológico de los conductos de gases de la Unidad # 4 que se encuentra fuera de ciclo de mantenimiento capital y la proximidad al área de impacto.

Determinación de las concentraciones en el aire del benceno.

Las muestras de análisis fueron obtenidas por el Centro de investigación del petróleo (CEINPET). Los datos de velocidad y rumbo de viento, temperatura ambiente y presión barométrica se determinaron in situ con un flujómetro SKAWATCH.

Tabla 4. Valores promedios medidos del contenido de benceno en muestras instantáneas (1 hora).

Área	Total de mediciones	Distancia (m)	Valor medio (µg/m ³)	Veces superada la Cma
Zona separador API	7	50	507.5	1.75
Área de compresores (Combinada 2)	10	75	272.5	0.94
Casa de bombas	13	100	268	0.92
Cerca del laboratorio de combustible	8	50	358.5	1.24
Frente al cargadero de camiones y edificio del despacho	16	175	177.5	0.61
Estación edificios metrología y central	14	620	77.2	0.27

La Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), por sus siglas en inglés ha establecido un límite permisible máximo para aire de $0,029 \text{ mg/m}^3$, y requiere que se le notifique en casos de derrames o de liberación al medio ambiente de 10 libras o más de benceno.

El menor valor determinado corresponde al punto 6. Esta zona está distante de los puntos emisores, pero tiene una alta concentración de personas ocupacionalmente expuestas. El lugar para el cual se determinó la concentración promedio máxima de benceno correspondió al separador API, con menos influencia, por los vientos predominantes en el área de dirección este. Se define que el benceno es contaminante crítico del sitio y que debe estar sujeto a un análisis toxicológico.

Modelación de la dispersión local de los contaminantes

Para resolver la dispersión local de contaminantes se utilizó el Sistema AERMOD (AERMAP-AERMET-AERMOD). Para el Sistema AERMOD se utilizaron versiones liberadas por la EPA y algunas herramientas de cálculo complementarias desarrolladas por CUBAENERGÍA, haciendo las adecuaciones pertinentes para las condiciones del país.

Para la modelación de la dispersión se realizó una distribución del tiempo de trabajo entre los dos horarios picos establecidos en el país (al mediodía y pico del atardecer). Durante todo el período de medición en la termoeléctrica estuvieron en funcionamiento 3 de las cuatro unidades generadoras y en la refinería estuvieron en servicio todas las estaciones medidas.

Las mayores concentraciones coinciden con el horario de la tarde, generalmente asociado a los vientos débiles y las calmas, a las temperaturas altas y al aumento de la humedad relativa. El rumbo norte tiene una alta incidencia en el área de estudio, característica climática de la ciudad, pero los valores relacionados a las calmas y los sures son los vientos predominantes durante el período experimental.

Cálculo y determinación de los riesgos a la salud de los trabajadores de las entidades.

El SO_2 es higroscópico, por lo que en la atmósfera reacciona con la humedad y forma aerosoles de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y sulfuroso (H_2SO_3) que forman parte de la

llamada lluvia ácida. El tiempo medio de permanencia en la atmósfera es de unos 3-5 días, transportándose a grandes distancias.

La contaminación del aire por SO₂ causa entre otros, el opacamiento de la córnea (queratitis), dificultad para respirar, inflamación de las vías respiratorias, irritación ocular por formación de ácido sulfuroso sobre las mucosas húmedas, alteraciones psíquicas, edema pulmonar, paro cardíaco y colapso circulatorio. También se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños.

El benceno es una sustancia tóxica que tiene efectos negativos sobre la sangre principalmente. El contacto constante con este producto produce sangrado nasal y de las mucosas, desarrollándose, además, manchas púrpuras. Puede generar leucemia. Estos efectos pueden aparecer meses o años después de la exposición. A concentraciones bajas, el benceno irrita los ojos y las mucosas de nariz y tráquea. Los efectos por exposiciones prolongadas son sobre el sistema nervioso central, provocando cansancio, dolor de cabeza y posteriormente convulsiones, depresión y/o excitación e, incluso, la muerte por paro respiratorio. A concentraciones en el aire altas y exposición de 30 minutos, se produce narcosis y muerte. Por otra parte, la inhalación de pequeñas cantidades de líquido, provoca inmediatamente edema y hemorragia pulmonar. Si la exposición es constante a una concentración de 50 ppm, puede presentarse una disminución de células rojas y plaquetas.

Guías de calidad del aire

La legislación nacional e internacional relativa a la protección del medio ambiente y de la salud ha hecho de la evaluación de riesgos en salud (ERS) un elemento clave en la identificación de la mejor evidencia científica que permita definir y orientar al gestor en la elección de las opciones más adecuadas para reducir o minimizar el riesgo. (Castro y Prado, 2015). En la tabla 5. Se muestran los valores guías basados en efectos conocidos para la salud.

Tabla 5. Valores guía, basados en efectos conocidos para la salud.

	Valor guía (µg/m ³)	Tiempo de exposición
SO ₂ Grupo IARC ^b	250 (p 95) ²	1 hora

carcinógenos (Grupo 3: “No puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad para el ser humano” Actualmente no hay ninguna prueba de que cause cáncer a los humanos)	45 9p 98) ³	24 horas
	40	Media anual
C ₆ H ₆ Grupo IARC ^b carcinógenos (Grupo 1: Probablemente carcinógeno para el ser humano” Hay pruebas suficientes de que puede causar cáncer a los humanos, pero actualmente no son concluyentes)	5	24 horas
	3	Media anual

Caracterización del riesgo para efecto no cáncer.

El factor de exposición de los trabajadores se sabe es irregular o intermitente, incidiendo el tiempo de trabajo y los días de la semana que se labora: personal de producción: turnos de 12 horas, 4 días a la semana (88 días años); personal de mantenimiento y oficinas: regularmente 9 horas al día, 5 días a la semana (88 días años).

Tomado de la bibliografía consultada, la duración de exposición mantiene para todos los casos de estudio la estimación de 30 años de exposición; el peso corporal también tiene un valor normado de 70 kg para adultos en casos no cancerígenos, y la concentración de referencia por inhalación de dióxido de azufre igual a 0.52 mg/m³. En la tabla 6. se muestra el cálculo del cociente de peligro para las cuatro áreas de estudio en la Central Termoeléctrica Antonio Maceo Grajales “Renté”.

Tabla 6. Cálculo del cociente de peligro para las áreas de estudio.

Área	FE	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TC ($\text{m}^3/\text{día}$)	DEE ($\mu\text{g}/\text{kgPC-día}$)	HQ
Casa de Bombas de Petróleo	0,24	158,5	7,2	3,93	0.007559
Edificio administrativo	0,24	90,5	7,2	2,24	0.004316
Mantenimiento Constructivo	0,24	66,8	7,2	1,66	0.003186
Brigadas del Taller de Mecánica	0,24	244,7	7,2	6,07	0.01167

Combinación del riesgo de exposición a través de distintas rutas

Para evaluar el riesgo potencial de efectos no carcinógenos a través de distintas rutas por la misma sustancia, se calcula el índice de riesgo (IR), que es la suma de los HQ para las vías de exposición que se consideren relevantes en cada situación. El IR debe ser calculado para efectos críticos concretos, y periodos de exposición concretos. (Castro y Prado., 2015)³.

$$\text{IR} = \text{HQ (ruta1)} + \text{HQ (ruta2)} + \dots + \text{HQ (rutai)} = 0,02673.$$

Caracterización del riesgo para efecto cáncer.

Para el benceno se calcula el riesgo individual para cada trabajador y también para todos los trabajadores expuestos. Para ello se utiliza un factor denominado Factor de potencia carcinogénica (FPC una dosis ($\text{mg}/\text{kg}/\text{día}$)⁻¹) y otro factor denominado Unidad de riesgo (UR concentración (mg/l o mg/m^3)⁻¹). Estos factores pueden ser obtenidos del banco de datos IRIS o de la información bibliográfica distribuida por ATSDR.

Para determinar aproximadamente la dosis de benceno que está siendo absorbida por un individuo expuesto, se obtuvo con el muestreo analítico la concentración mínima, máxima y promedio del benceno, para los ambientes o puntos seleccionados. Se analizó además la vía de exposición para la ruta crítica solo para el caso de inhalación por aire contaminado teniendo en cuenta que el grupo de mayor riesgo en el sitio son los trabajadores de la refinería. (Ver tabla 7.)

Tabla 7. Cálculo de la dosis de exposición estimada para las áreas de estudio.

Área	FE	Valor medio (µg/m3)	Dosis (mg/kg día)
Zona separador API	0,32	507.5	53360
Área de compresores (Combinada 2)	0,32	272.5	28651
Casa de bombas	0,32	268	28178
Cerca del laboratorio de combustible	0,32	358.5	37694
Frente a cargadero de camiones y edificio del despacho	0,32	177.5	18662
Estación edificio metrología y edificio central	0,32	77.2	8117

La dosis estimada de exposición de la concentración de benceno en un año, para un hombre de 65 años con un tiempo de trabajo promedio de 30 años, con un peso corporal de 70 kg, en el punto de menor concentración analítica en un día de trabajo con relación a un año es de 8117 mg/kg/día.

Evaluación del riesgo

Existen factores que pueden alterar la exposición al contaminante o la toxicidad de este como la dirección del viento y su velocidad, disminuyendo la concentración del contaminante en los sitios emisores. También pueden influir factores poblacionales, geográficos y climáticos entre otros.

Al analizar el SO₂ como factor de riesgo no cancerígeno se estima que al resultar los valores del cociente de peligro (HQ) menor de 1, podemos decir que no es probable que se produzcan efectos adversos, y el riesgo puede considerarse insignificante, por lo que no deberían esperarse efectos adversos no cancerígenos como resultado de la exposición a estos compuestos.

Para el benceno a medida que se aleja de la fuente de emisión la concentración disminuye en un tiempo dado en el ambiente contaminado.

Queda argumentar que hay trabajadores con enfermedades respiratorias agudas o vulnerables que en ocasiones han experimentado afectaciones por la exposición instantánea a los contaminantes, teniendo en cuenta la variación de los vientos o el estado tecnológicos de las fuentes de emisión.

Conclusiones

Para el dióxido de azufre la cuantificación del riesgo, que se realiza para los efectos agudos y subcrónicos presentan niveles inferiores a 1 en todas las fuentes de exposición. Para la referencia, el área de mecánica es la más afectada, se encuentra al sur de las fuentes contaminantes y es la de mayor proximidad a las fuentes contaminantes.

El riesgo de efectos para la salud no cáncer por exposición al dióxido de azufre presente en la zona estudiada es descartable.

Mediante la estimación del riesgo a la salud que provoca el benceno en los trabajadores de la refinería según la metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados, se pudo determinar que el benceno es un contaminante crítico en el área de estudio, identificando que la principal vía de exposición del benceno al cuerpo del personal ocupacionalmente expuesto es por inhalación de aire contaminado y se determinó que el valor de la dosis exposición para un individuo que se encuentra expuesto 5 días a la semana, durante 50 semanas al año en un espacio de 30 años es de 8117 mg/kg/día.

Las entidades mantienen una constante vigilancia de los parámetros de operación de sus áreas productivas con la finalidad de cumplir las normativas existentes, mejorar sus parámetros y disminuir la contaminación.

Referencia bibliográfica

1. Asprilla, L., Córdoba, P.A. 2013. Leucemia por exposición a benceno en los trabajadores de las refinerías de petróleo. Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de salud pública. Medellín.
2. Bertomeu S. L. (2000). Método de cálculo del SO₂ teórico contenido en los gases de escape, en la combustión de Fuel – oil. Chile. 23 – 28.
3. Cepeda, L. (1995). Manual de caldera para unidades de 100 MW. Central termoeléctrica “Antonio Maceo”. 15 – 20.
4. Collazo, A. (2017). Caracterización de la calidad del aire. Santiago de Cuba, Cuba. 21- 23.

5. Díaz Barriga F. (2012). Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Lima, Perú. 32 – 36.
6. Mejía, J., Yáñez, L., Carrizales, L. y Díaz-Barriga, F. (2002). Evaluación integral del riesgo en sitios contaminados. San Luis Potosí, México. 12 – 13.
7. Molina Flores, A. (2016). Guía de evaluación de impacto ambiental. Riesgo para la salud de la población. Ciudad de México, México 10 – 11.
8. NC 1020: 2014, Calidad del aire – Contaminantes – Máximas Admisibles y Valores Guías en zonas habitables y la norma en ambiente laboral, NC: 19-01-63:1991, y la norma de emisiones.
9. NC 803: 2017, Calidad del aire – Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor.
10. Olmedo Martín Piedad., Carroquino Saltó MJ., Ordóñez Iriarte JM., Moya J. (2016). Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la metodología de la evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos. Andalucía, España. 59 – 83.
11. Pinedo Alonso J. (2014). Evaluación de riesgos en suelos afectados por hidrocarburos de petróleo. Cantabria. 42 – 58.
12. Prado Oeste J., Castro Sánchez M., Narciso Chávez J. (2015). Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados. Lima, Perú. 35 – 41.
13. Sánchez, M. (1990). Manual de combustibles y casa de bombas de petróleo. Central termoeléctrica “Antonio Maceo”. 10 – 13.