

Título: El Benceno. Tratamiento final de los residuos generados en las fábricas y por la población.

Autor: Ing. Arelys Alonso Díaz

RESUMEN

Este trabajo investigativo es un instrumento para la educación ambiental a la población, aquí se exponen las características y propiedades del benceno como compuesto orgánico volátil (COVs) que lo hacen convertirse en un residuo tóxico peligroso, se muestran los efectos que producen en la salud humana, el metabolismo para el consumo del mismo, el personal que se expone regularmente a él, los valores límites permisibles, el control ambiental de su exposición, así como las normativas para el tratamiento de los residuos de las fábricas, centros de trabajo y de la población y la importancia que reviste el control de dichos desechos para el cuidado del medio ambiente, donde el hombre es el principal eslabón y además se plantea la problemática ambiental que se genera por la disposición inadecuada de residuos sólidos que son fuentes de emanación del benceno.

INTRODUCCIÓN

El benceno fue descubierto en 1825 por el científico inglés Michael Faraday, pero hasta 1842 en que se descubrió la existencia del benceno en el alquitrán de hulla, no pudo disponerse de él en grandes cantidades. Una tonelada de carbón transformada en coque en un horno produce unos 7,6 litros de benceno. En la actualidad se obtienen del petróleo grandes cantidades de benceno, ya sea extrayéndolo directamente de ciertos tipos de petróleo en crudo o por tratamiento químico del mismo.

El benceno, que se obtiene por destilación del alquitrán de hulla y del petróleo, además de ser un producto químico de uso industrial, aunque limitado, es un componente de las gasolinas y en consecuencia, de las emisiones de los motores de combustión interna. También se asocia a otras combustiones, como por ejemplo el humo del tabaco, lo que determina su presencia en el ambiente a unas concentraciones que oscilan entre 5 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto en aire exterior como interior, dependiendo en este último caso de las actividades que se realicen en él. En ambientes laborales, es usual que la concentración de benceno se encuentre entre 100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Todo ello explica su presencia en el organismo tanto de los trabajadores expuestos profesionalmente, como del público en general.

Por otro lado, según conclusiones de un estudio realizado en la República Federal Alemana, la población general está expuesta a un nivel ambiental promedio de benceno que oscila entre 23 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (concentración de carga de segundo plano), por lo que propone un nivel de "intervención" de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En este trabajo también exponemos normativas para el tratamiento de los residuos de las fábricas, centros de trabajo y de la población, así como la importancia que reviste el control de dichos desechos para el cuidado del medio ambiente, donde el hombre es el principal eslabón.

DESARROLLO

El Benceno es un líquido incoloro de olor característico y sabor a quemado, de fórmula C_6H_6 . La molécula de benceno consiste en un anillo cerrado de seis átomos de carbono unidos por enlaces químicos que resuenan entre uniones simples y dobles. Cada átomo de carbono está a su vez unido a un átomo de hidrógeno.

Es uno de los disolventes más empleados en los laboratorios de química orgánica. El benceno tiene un punto de fusión de $5,5\text{ }^\circ\text{C}$, un punto de ebullición de $80,1\text{ }^\circ\text{C}$, y una densidad relativa de $0,88\text{ g/cm}^3$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Son conocidos sus efectos cancerígenos, y puede resultar venenoso si se inhala en grandes cantidades. Sus vapores son explosivos, y el líquido es violentamente inflamable. A partir del benceno se obtienen numerosos compuestos, como el nitrobenceno. También es empleado en la producción de medicinas y de otros derivados importantes como la anilina y el fenol. El benceno y sus derivados se encuentran incluidos en el grupo químico conocido como compuestos aromáticos. El benceno puro arde con una llama humeante debido a su alto contenido de carbono.

El benceno se usa ampliamente en la industria, en las pinturas para aviones, como disolvente de gomas, resinas, grasas y hule; en las mezclas de combustibles para motores, en la manufactura de colores de anilina, del cuerpo artificial y de los cementos de hule, en la extracción de aceites y grasas, en la industria de las pinturas y barnices, y para otros muchos propósitos.

En muchos de los usos del benceno, incluyendo su manufactura, la oportunidad de un escape como vapor sólo debe ser el resultado de un accidente, y en estos casos, cuando la exposición es severa, se puede producir una intoxicación aguda por benceno.

Cuando el benceno se emplea como disolvente, en líquidos para lavado en seco, o como vehículo para pinturas, se permite que este hidrocarburo se evapore en la atmósfera del local de trabajo.

Si es inadecuada la ventilación del local, la inhalación continua o repetida de los vapores de benceno puede conducir a una intoxicación crónica.

La exposición laboral a benceno ha quedado actualmente restringida a los procesos químicos en los que el benceno se utiliza como reactivo, a ciertas operaciones en refinerías y a los trabajadores de gasolineras en las que no se aplican medidas de protección a la exposición durante la carga del carburante. Sin embargo, la exposición ambiental al mismo se puede considerar como importante, dada su relativamente elevada presencia residual en el aire urbano, proveniente básicamente de las fuentes difusas.

Efectos Sobre la Salud

La intoxicación aguda, por inhalación de gran cantidad de vapores de benceno, es poco común salvo en caso de accidentes, especialmente desde la reducción en el uso del benceno asociada a su carácter cancerígeno. En los casos descritos se produce una afectación del sistema nervioso central, en forma de excitación, para

pasar rápidamente a una fase de depresión, con cefalea, fatiga, calambres en las manos y los pies, vértigos y dificultad para la articulación de las palabras.

La intoxicación crónica produce de modo selectivo una afectación de la médula ósea, de forma que se altera la hematopoyesis, admitiéndose la existencia de una relación causal entre altas exposiciones a benceno y el desarrollo de pancitopenia, anemia aplásica y leucemia. En consecuencia, el benceno está clasificado como carcinógeno de primera categoría: "sustancia que por inhalación, ingestión o penetración cutánea, se sabe (a partir de datos epidemiológicos), es carcinógena para el hombre.

Por ello, lleva asociada la frase de riesgo R 45, puede causar cáncer. También está clasificado como fácilmente inflamable, R 11, y tóxico, R 48/23/24/25, riesgo de efecto grave para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión (R.D. 363/1995). El R.D. 665/1995 sobre protección de la exposición a sustancias cancerígenas en el trabajo define las sustancias cancerígenas como aquellas de las que se dispone de elementos suficientes para establecer la existencia de una relación de causa/efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición del cáncer.

Metabolismo del Benceno:

El benceno penetra en el organismo principalmente por inhalación, aunque la absorción cutánea es también posible.

Después de su absorción, el benceno es eliminado inalterado en la orina (menos del 1%) y en el aire expirado (10 a 50% según la actividad física y la importancia del tejido adiposo); el resto es biotransformado. La mayor parte del benceno absorbido es metabolizado, básicamente en el hígado y la médula ósea, por oxidación a fenol, quinol y catecol, que se excretan en la orina en forma de sulfatos y glucuronatos. Como otros metabolitos, se citan el ácido S-fenilmercaptúrico y los ácidos transmucónicos.

La metabolización y eliminación del benceno es rápida. La excreción de los metabolitos se completa generalmente dentro de las 24-48 horas después de una exposición única, lo que representa una vida media biológica inferior a las 12 horas. Sin embargo, los tejidos adiposos pueden retener una pequeña cantidad de benceno durante varios días después del final de la exposición.

Personal expuesto:

Se hallan expuestos a benceno los trabajadores de petroquímicas, gasolineras, aparcamientos subterráneos, talleres mecánicos y los fumadores. Debido a que es un contaminante ambiental la población en general también padece exposición crónica a bajas concentraciones, siendo la más afectada la residente en las zonas de más emisión: cerca de gasolineras y de tanques de almacenamiento de combustibles y en zonas con mucho tráfico.

Valores Límites:

La Directiva 97/42/CE, modificación de la 90/394/CEE, que es la directiva transpuesta en el R.D. 665.1997 sobre cancerígenos, establece un valor límite de

exposición profesional (límite de la media ponderada de la concentración en el aire dentro de la zona de trabajo durante 8 horas) de 1 ppm adoptándose una medida transitoria de 3 ppm hasta el año 2000. Además cuando se evalúe el riesgo, habrá que tener en cuenta las demás vías de exposición como la absorción en la piel o a través de ella.

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, USA, 1998) tiene fijado un valor promedio máximo permisible en aire para 8h/día y 40 h/semana (TLVTWA) de 0,5 ppm (1,6 mg/m³); un valor para exposiciones de corta duración (TLVSTEL) de 2,5 ppm (8 mg/m³), y un índice biológico de exposición (BEI) de 25 mg/g de creatinina de ácido S-fenilmercaptúrico (SPMA) en orina al final del turno. Asimismo, lo clasifica como una substancia con un elevado poder de penetración a través de la piel.

Índices de exposición biológica propuestos anteriormente han sido descartados por perder su significación al fijarse valores límites ambientales más bajos, como ocurre con la determinación de fenol en orina. Por otro lado, marcadores como la concentración de benceno inalterado en aire exhalado y en orina van ganando terreno, aunque no existen por el momento valores de referencia establecidos de una manera formal. Estos procedimientos se basan en mejoras analíticas instrumentales que permiten la determinación de concentraciones muy bajas de benceno, ya que, como se ha comentado antes, la fracción no metabolizada del producto es muy pequeña.

Control Ambiental de la exposición:

Existen varios procedimientos descritos para la toma de muestras y análisis de benceno en aire que se resumen a continuación. Su captación puede llevarse a cabo mediante toma de muestras dinámica (tubo de carbón activo y bomba de aspiración) o bien utilizando muestreadores pasivos. El análisis se realiza en ambos casos por Cromatografía de Gases con detector F.I.D. ó P.I.D.

Control Biológico:

Dada la pequeña vida media biológica del benceno (12 horas), el tiempo al cual se debe tomar la muestra, en relación con la exposición, es muy importante. Cuando se trate de muestreo y análisis de orina y aire exhalado, es también importante la estandarización de los métodos de toma de muestras y, el caso de la orina, la forma de expresar los resultados.

Concentración de benceno en aire exhalado:

Las curvas de eliminación de benceno en aire exhalado tienen tres fases: una de caída muy rápida, entre 1 y 2 horas después de la exposición; otra de caída menos rápida, a las pocas horas siguientes y, por último, una situación de descenso hasta los niveles normales de fondo en un periodo de 70 horas. Para el control rutinario, se propone que las muestras se tomen al final del turno de trabajo, analizándose lo antes posible. Debe tenerse en cuenta también que la

inhalación o ingesta de alcohol etílico acelera la eliminación de benceno en el aire exhalado y que el tabaquismo puede alterar el resultado (el humo de cigarrillos contiene alrededor de 50-60 ppm de benceno). Se ha propuesto un límite de exposición biológico de 0.12 ppm, equivalente a una exposición de 8 horas a 10 ppm, detectados 16 horas después del final de la exposición. El análisis se realiza por Cromatografía de Gases según el procedimiento descrito a continuación.

Los valores límites permitidos de exposición a benceno son cada vez más bajos, lo que, en consecuencia, implica unos indicadores biológicos más sensibles y más específicos. El hecho de que la población general esté también expuesta al benceno presente en la atmósfera (los fumadores, además, al proveniente del humo del tabaco) y que en espacios interiores se halle también benceno, sugieren que los procedimientos para su control ambiental y biológico deben establecerse mediante métodos analíticos suficientemente sensibles y específicos que cubran, en el caso de los biológicos, la diferenciación entre fumadores y no fumadores.

Combustión de Compuestos Orgánicos Volátiles (Ejemplo: el Benceno)

Este tipo de contaminantes es generado por un sinnúmero de procesos que incluyen desde plantas de la industria química de alta producción a pequeñas empresas como tintorería, fábrica de muebles, etc. De los diferentes métodos de control (Absorción por líquidos, Absorción por sólidos, Lavado de gases, Filtrado, Condensación (Refrigeración y compresión), Combustión Térmica, Incineradores catalíticos, Membranas, Biodegradación) describiremos la Incineración Térmica.

Es una alternativa que ofrece una interesante relación costo/beneficio sobre todo cuando el poder calorífico de los COVs (compuestos orgánicos volátiles) es suficiente para mantener la temperatura de operación de los incineradores sin necesidad de recurrir a combustibles adicionales.

La temperatura de operación es el factor principal para una operación eficiente del incinerador de COVs. Una unidad adecuadamente diseñada opera alrededor de 900°C. Con una adecuada mezcla gas-aire y suficiente tiempo de residencia se pueden lograr factores DRE (Eficiencia de Destrucción y Remoción (DRE Values)) superiores al 99,99% para la mayoría de los residuos orgánicos. En algunos casos se requieren temperaturas superiores, por ejemplo, vapores de acetonitrilo requieren temperaturas de 970°C y para el caso de benceno y metiletilcetonas alrededor de 1000° C.

Cuando la corriente de COVs no es suficiente para mantener temperaturas de operación elevadas, se debe emplear un combustible auxiliar, siendo los más adecuados metano o propano.

Situación actual de la incineración de residuos:

Los procesos de incineración de residuos, aunque técnicamente válidos, tanto para su eliminación como para su valorización energética, obtienen un importante rechazo social, motivado principalmente por la contaminación ambiental provocada por sustancias como dioxinas, furanos y diferentes metales pesados que pueden ser emitidos por estas instalaciones. En respuesta a esta

contaminación, la normatividad vigente, cada vez más estricta, limita las emisiones de las incineradoras, que emiten gases tóxicos (entre ellos el benceno), de tal forma que las tecnologías existentes se han desarrollado para mejorar los sistemas de combustión y de depuración de gases. A pesar de esto, los sistemas de filtrado y los controles de emisiones, no consiguen el nivel cero de emisiones a la atmósfera, siendo esta una de las principales razones de los sectores contrarios a la incineración.

Un modelo ideal de gestión de residuos sería el que cumpliera con tres parámetros principales:

- Recuperación y reciclaje de toda aquella fracción aprovechable: compost, papel-cartón, plásticos, etc.
- Mediante plantas de reciclaje de residuos de envases, recolección selectiva, etc.
- Valorización energética de la fracción considerada rechazo en estos procesos.

Problemática Ambiental:

La desproporción entre el volumen creciente de residuos peligrosos y no peligrosos generados y las capacidades existentes de manejo, vigilancia y control, dan lugar a disposición clandestina de residuos en tiraderos y drenajes municipales, barrancas, en carreteras y hasta en cuerpos de agua. Esto origina contaminación crónica de los suelos y de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos que son fuente de abastecimiento de agua potable (expuestas de esta forma también al benceno).

Las tecnologías de Ingeniería Ambiental son indispensables para controlar la dispersión de contaminantes.

Postergar la atención a los suelos degradados por la acumulación de residuos sólidos, y en especial de residuos peligrosos, generó un problema en ocasiones más difícil y costoso de sanear, que la atmósfera de una ciudad o una corriente contaminada.

En el caso del suelo, los mecanismos naturales de auto corrección y limpieza son mucho más lentos. Por esta razón un suelo contaminado permanecerá en estas condiciones aun cuando se eliminen las causas que afectaron su calidad, y en ocasiones los efectos son irreversibles.

En la industria Petroquímica como en cualquier otra industria se generan residuos, estos pueden ser tanto peligrosos como no peligrosos y/o con valor comercial y sin valor comercial. Estos deben ser tratados, comercializados, efectuar los pagos correspondientes por una disposición adecuada mediante una compañía especializada y autorizada por la autoridad competente, tomando en cuenta que la legislación actual no permite el almacenamiento in situ por tiempo ilimitado de residuos dentro de las instalaciones industriales que los generó.

CONCLUSIONES:

En este trabajo investigativo hacemos un estudio de una sustancia altamente tóxica y un alto por ciento de la población está expuesta a sus efectos y lo desconoce, además que no se está realizando el control biológico del benceno ni los niveles de inhalación de las personas expuestas al mismo en los puestos de trabajo que directamente están afectados por su presencia constante.

También damos una breve exposición de los destinos finales de los residuos de las fábricas y de la población, así como proponemos cómo sería su mejor manejo para la protección del medio ambiente y del hombre como parte fundamental del mismo.

No hay duda que la legislación ambiental vigente, reconoce el proceso de incineración para residuos peligrosos como una práctica viable, siempre y cuando se realice de acuerdo a los parámetros y regulaciones ambientales y de seguridad que apliquen.

Por lo anterior en mi opinión, la incineración de residuos sólidos y semisólidos generados en la industria Petroquímica, es un proceso que se puede aplicar para aumentar el control de este tipo de residuos, siempre y cuando se realicen las actividades cumpliendo la normatividad ambiental aplicable, y en tanto no se disponga de una cultura y mecanismos que permitan dar a los residuos un mejor manejo.

Con el tratamiento térmico in situ de residuos sólidos y semisólidos se evitan riesgos ambientales y de seguridad como son:

1.- En el sitio de generación:

- Probables derrames al suelo y contaminación de las aguas de los drenajes.
- Por derrames, daños a los trabajadores por contacto con residuos al embarque de los mismos.
- Manejo inadecuado de residuos, uso incorrecto de equipo de seguridad, etc.

2.- En el transporte de los residuos:

- Posible contaminación de aire agua y suelo por volcadura.
- Descompostura, mala operación al conducir.
- Tomar rutas no adecuadas que permitan derrame y/o volatilización de componentes con alta presión de vapor.
- Agitación que dañen los contenedores de residuos, etc. de vehículos de transporte.

3.- En sitio de disposición final:

- Si es depósito de residuos en confinamientos controlados, conlleva riesgos latentes como es contaminación de mantos freáticos.
- Deterioro de los contenedores con el paso del tiempo.
- Probable contaminación de suelos.
- Dejar un pasivo ambiental para futuras generaciones, etc.

4.- Si se trata de destrucción térmica en otra parte que no sea el lugar donde se originó el residuo, el control de los parámetros de control de la combustión estaría a cargo de terceros que en base a su experiencia y conocimiento de los residuos pueden cumplir con la normatividad aplicable, pero quien mejor conoce

las características y componentes de los residuos es el que los originó, en este sentido: sería el mas indicado para incinerar los mismos.

Expusimos las características y propiedades del benceno como compuesto orgánico volátil (COVs) que lo hacen convertirse en un residuo tóxico peligroso, por sus conocidos efectos cancerígenos, puede resultar venenoso si se inhala en grandes cantidades, sus vapores son explosivos y el líquido es violentamente inflamable, de ahí la importancia del conocimiento del mismo ya que a diario nos vemos sometidos a su presencia: fundamentalmente por estar expuestos al humo de los fumadores, al cual debemos declararle la guerra y no permitir que en locales cerrados o donde se encuentren personas no fumadoras estos fumen; para ello hay que destinar un área específica.

No quiero terminar sin antes exponer las palabras que dijo nuestro Comandante Fidel Castro en la Cumbre de Río de Janeiro en 1992, refiriéndose a la importancia del cuidado de nuestro medio ambiente:

"Una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida: el hombre "

**Fidel Castro
Cumbre de Río, 1992 .**

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, Ma. Del consuelo. (1992). Química de hoy.
- McGraw – Hill Interamericana de México, S.A.
Sosa, Sergio. Caracas (1999).
- Química2000. Hill Interamericana de Venezuela, S.A.
- Griffin, Rodger W.; *et al* (1981).
- McMurry, John (2006).