

4.14

Fenol

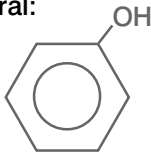
- 4.14.1 IDENTIDAD DE LA SUSTANCIA QUÍMICA
 - 4.14.1.1 SINONIMOS
 - 4.14.1.2 DESCRIPCION
 - 4.14.1.3 COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES
 - 4.14.1.4 PROPIEDADES FÍSICAS
 - 4.14.1.5 PROPIEDADES QUÍMICAS
 - 4.14.1.5.1 Incompatibilidades
- 4.14.2 PRODUCCIÓN, APLICACIONES Y USOS
 - 4.14.2.1 PRODUCCION
 - 4.14.2.1.1 Oxidación de Cumeno
 - 4.14.2.2 APLICACIONES Y USOS
- 4.14.3 EFECTOS SOBRE LA SALUD
 - 4.14.3.1 INHALACION
 - 4.14.3.2 CONTACTO CON PIEL / OJOS
 - 4.14.3.3 INGESTION
 - 4.14.3.4 EFECTOS CRÓNICOS
 - 4.14.3.5 EFECTOS SISTÉMICOS
- 4.14.4 INFORMACIÓN TOXICOLOGICA
 - 4.14.4.1 CANCER
 - 4.14.4.2 EFECTOS REPRODUCTIVOS Y DEL DESARROLLO
 - 4.14.4.3 EFECTOS GENOTOXICOS
- 4.14.5 RESPUESTA A ACCIDENTES
 - 4.14.5.1 PRIMEROS AUXILIOS
 - 4.14.5.1.1 Exposición en Ojos
 - 4.14.5.1.2 Exposición en la piel
 - 4.14.5.1.3 Inhalación
 - 4.14.5.1.4 Ingestión
 - 4.14.5.1.5 Rescate
 - 4.14.5.2 INCENDIOS
 - 4.14.5.3 PROCEDIMIENTOS EN CASO DE DERRAMES O FUGAS

- 4.14.6 NIVELES PERMISIBLES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL
- 4.14.7 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
 - 4.14.7.1 PROTECCIÓN RESPIRATORIA
- 4.14.8 CONDICIONES PARA MANEJO Y ALMACENAMIENTO SEGURO ORIENTADAS A DISMINUIR EL RIESGO A LA SALUD HUMANA
 - 4.14.8.1 FRASES DE SEGURIDAD
 - 4.14.8.2 ALMACENAMIENTO
- 4.14.9 USOS Y CONTROLES
- 4.14.10 COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE
 - 4.14.10.1 SUELO
 - 4.14.10.2 AIRE
 - 4.14.10.3 AGUA
- 4.14.11 ECOTOXICIDAD
- 4.14.12 LINEAMIENTOS DE GESTION AMBIENTAL PARA SU DISPOSICION
- 4.14.13 BIBLIOGRAFÍA

4.14.1 IDENTIDAD DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

Fórmula Molecular: C₆H₆O

Formula Estructural:



CAS: 108-95-2

Número UN:

1671 (Sólido)

2312 (Fundido)

2821 (solución).

Clase de Riesgo Principal UN: 6.1

4.14.1.1 SINÓNIMOS^(9, 16)

Ácido Carbólico, Ácido Fénico, Ácido Fenílico, Ácido Fenólico, Alcohol Fenílico, Alcohol Fenilo, Bencenol, BenzaFenol, Fenil Hidrato, HidroxiBenceno, Hidróxido Fenilo, Izal, MonoFenol, MonohidroxiBenceno, OxiBenceno, Phenol (Inglés), Venzénol (Francés), Steinkohlenkreosot (Alemán).

4.14.1.2 DESCRIPCIÓN^(1, 4, 2)

Cuando el Fenol se encuentra puro, se trata de un sólido cristalino entre incoloro y blanco, que posee un olor característico dulce y alquitranado; a temperatura ambiente se encuentra también como un polvo blanco; en contacto con el aire, sus cristales son altamente higroscópicos y toman una coloración entre rosada y rojiza⁽²⁾. El producto comercial es una solución de Fenol en agua, densa y almibarada.

El contenido mínimo de Fenol en el aire y en el agua, detectable por el olfato humano (40 ppb en aire y 1ppm en agua)^(1, 4), es inferior al contenido peligroso para la salud, lo que ayuda a prevenir el riesgo de exposición severa. El Fenol es un reactivo inflamable, altamente corrosivo.

El Fenol es moderadamente volátil a temperatura ambiente (se evapora con mayor lentitud que el agua). Es soluble en Alcohol, Glicerol, petróleo y una cantidad moderada del mismo puede solubilizarse con agua; a temperaturas por encima de 68°C, el Fenol es completamente soluble en agua.

4.14.1.3 COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

Se comercializa en forma sólida, con una pureza del 99% en peso; en este caso, el Fenol contiene como impurezas: Cloro (<0.001%), Sulfatos (<0.005%), metales pesados (<0.001%), y sustancias relacionadas (<0.05%)⁽¹⁰⁾.

C₆H₆O

Fenol

4.14.1.4 PROPIEDADES FÍSICAS^(4, 2, 16, 10)

Tabla 45. Propiedades físicas para el Fenol

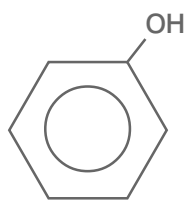
PROPIEDAD	VALOR
Peso Molecular (g/mol)	94,1
Estado Físico	Sólido
Punto de Ebullición (°C))(760 mmHg)	181,75
Punto de Fusión (°C)	43
	40,9 (material ultrapuro)

Tabla 45. Propiedades físicas para el Fenol (continuación)

PROPIEDAD	VALOR
Presión de Vapor (mmHg)	0,357 a 20°C 2,48 a 50°C 41,3 a 100°C
Gravedad Específica (Agua = 1)	1,0545 a 45°C, agua 4°C
Densidad del Vapor (Aire = 1)	3,24
Velocidad de Evaporación (Acetato de Butilo = 1)	No Reportado
Solubilidad en Agua (g/ml)	0,067 a 16°C
Koc	2900 dm³/kg
Límites de Inflamabilidad (% vol)	1,7 - 8,6
Temperatura de Auto ignición (°C)	715
Punto de Inflamación (°C)	79 copa cerrada
pH	4,8 – 6,0 al 5% en agua

4.14.1.5 PROPIEDADES QUÍMICAS⁽¹⁶⁾

El Fenol posee en su estructura un anillo bencénico, y tiene un grupo Hidroxilo en lugar de uno de los átomos de Hidrógeno propio del Benceno(C₆H₆), tal y como lo muestra la siguiente estructura:



Gracias a la presencia del anillo bencénico dentro de su estructura, el Fenol posee la capacidad de estabilizarse. Esta posibilidad de estabilización del Fenol hace que pueda perder con relativa facilidad el Hidrógeno de su grupo Hidroxilo, haciendo que se comporte como un ácido débil. En presencia de grupos electrofílicos (orientadores–meta) se enfatizan las propiedades ácidas del Fenol.

El Fenol es sensible a agentes oxidantes. La escisión del átomo de Hidrógeno perteneciente al grupo Hidroxilo del Fenol, es sucedida por la estabilización por resonancia del radical feniloxilo resultante. El radical así formado puede continuar oxidándose con facilidad; el manejo de las condiciones de oxidación y del tipo de agente oxidante empleado, puede conllevar a la formación de productos tales como dihidroxiBenceno, trioxiBenceno y/o quinonas. Las propiedades químicas mencionadas, hacen del Fenol un buen antioxidante, que actúa como un agente de captura de radicales.

El Fenol sufre múltiples reacciones de sustitución electrofílica, tales como halogenación y sulfonación. También reacciona con compuestos carbonílicos, tanto en medio ácido como básico. En presencia del Formaldehído (CHOH), el Fenol es hidroximetilado con subsecuente condensación, dando como resultado la formación de resinas.

El Fenol es un material combustible en sí mismo, que se quema en presencia de Oxígeno, y puede producir Monóxido de Carbono (CO) como producto de combustión incompleta, el cual es un gas tóxico.

4.14.1.5.1 Incompatibilidades^(2, 12)

El calor contribuye a la inestabilidad del Fenol. Su contacto con oxidantes fuertes, especialmente con Hipoclorito de Calcio (CaClO), puede causar explosiones e incendios. El Fenol líquido ataca algunos tipos de plásticos, cauchos y recubrimientos. El Fenol líquido caliente puede atacar Aluminio (Al), Magnesio (Mg), Plomo (Pb), y Zinc (Zn) metálicos.

4.14.2 PRODUCCIÓN, APLICACIONES Y USOS

4.14.2.1 PRODUCCIÓN ^(2, 4, 16, 5)

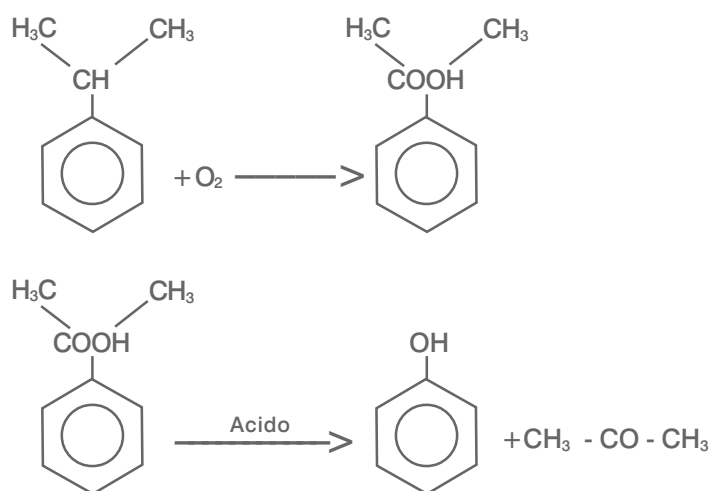
Las rutas de obtención de Fenol que se emplean comercialmente son:

- Proceso de separación física del Fenol mediante destilación fraccionada del alquitrán de hulla ⁽²⁾ o del petróleo ⁽⁴⁾.
- Síntesis química por oxidación parcial de Cumeno ($C_6H_5(CH_3)_2$) o Tolueno (C_7H_8) ⁽⁴⁾ o por hidrólisis de CloroBenceno (C_6H_5Cl) en fase vapor ⁽¹⁶⁾.

De las rutas mencionadas, solamente tienen importancia comercial la oxidación de Cumeno y La oxidación de Tolueno ⁽⁵⁾. La oxidación parcial de Cumeno es el proceso más ampliamente empleado en la fabricación del Fenol (En 1995 el 95% del Fenol producido en EE.UU. se obtuvo por esta ruta) ⁽⁴⁾, y es el proceso de producción que se explica a continuación.

4.14.2.1.1 Oxidación de Cumeno ⁽⁵⁾

El proceso de producción de Fenol mediante la oxidación de Cumeno consta de dos etapas, en la primera de ellas se da la formación de un hidroperóxido de Cumeno por oxidación del Cumeno, y la segunda consiste en el rompimiento del hidroperóxido con formación de Fenol y Acetona. Las dos reacciones implicadas en este proceso se muestran a continuación.



- **Oxidación.** La oxidación de Cumeno con aire o una mezcla de aire y Oxígeno (O_2), se hace sobre el principio de columna de burbuja, en un reactor de acero inoxidable. Los reactores que pueden tener una altura superior a los 20 m, se conectan en cascada en serie para alcanzar una distribución de tiempos de residencia óptimos. En la industria son comunes las series de entre 2 y 4 reactores. La oxidación se lleva a cabo a temperatura entre 90 y 120°C y a presiones de entre 0.5 y 0.7 Mpa. La reacción se realiza en un sistema alcalino estabilizado a pH 7-8, o en un sistema inestable a pH entre 3 y 6.

La reacción de oxidación es auto-catalítica, esto significa que la velocidad de reacción incrementa a medida que aumenta la concentración de hidroperóxido. La reacción es exotérmica, se liberan 800 kJ por kilogramo de hidroperóxido de Cumeno formado, que se retiran mediante refrigeración.

El contenido de Oxígeno en el gas de salida del reactor es de 1-6% en volumen. La concentración crítica de Oxígeno para que se presente la ignición de una mezcla de Cumeno – Nitrógeno y Oxígeno es de 8.5% en volumen a la presión de reacción de 0.5 – 0.6 Mpa. La mezcla de oxidación contiene un 20 a 30% de hidroperóxido de Cumeno. Si la oxidación se hace en sistemas alcalinos estabilizados, la mezcla de oxidación se lava con agua para retirar sales inorgánicas; luego de ello, se retira el Cumeno que quedó sin reaccionar, del effluente del reactor, mediante destilación al vacío que permita lograr un contenido de hidroperóxido de 65 a 90%, antes del rompimiento.

C_6H_6O

Fenol

- **Rompimiento.** El rompimiento del hidroperóxido de Cumeno a Fenol y Acetona, catalizado por ácido, sigue un mecanismo iónico. El ácido sulfúrico se emplea casi en forma exclusiva como el catalizador en esta industria.

El rompimiento catalizado por ácido se realiza de dos maneras: en proceso homogéneo y en proceso heterogéneo. El proceso homogéneo emplea un exceso de Acetona y 0.1 a 2% de ácido sulfúrico; se realiza a la temperatura de ebullición de la mezcla hidroperóxido de Cumeno – Acetona, que depende del contenido de ésta última; esta reacción es muy exotérmica (1680 kJ por kg de hidroperóxido de Cumeno), la remoción de calor se hace en este caso mediante la evaporación de Acetona de la mezcla reaccionante. El proceso heterogéneo se hace empleando ácido sulfúrico al 40 - 45%, en una relación concentrado: ácido de 1:5; estos compuestos se mezclan en una bomba centrífuga, y se llevan a un recipiente en que ocurre la reacción y se mantiene a temperatura a 50 - 60°C gracias a un sistema de enfriamiento.

- **Purificación.** El ácido sulfúrico se retira o se neutraliza para evitar la corrosión de los equipos posteriores y para impedir la catálisis ácida de la condensación de los productos de la ruptura. La neutralización del ácido se puede hacer con solución de hidróxido de Sodio o de ion Fenolato. Luego de la neutralización se procede a hacer una destilación de la mezcla, cuyo primer producto es la Acetona cruda. El Fenol crudo destilado se purifica por destilación extractiva con agua o pasándolo por una resina acídica de intercambio iónico. Las destilaciones subsiguientes del Fenol permiten llevarlo hasta una concentración superior al 99.9%.

4.14.2.2 APLICACIONES Y USOS ^(1, 2, 3, 4)

El Fenol se utiliza en modo directo como componente de productos medicinales y de aseo, pero principalmente constituye la materia prima para la fabricación de otros reactivos y de productos finales.

Algunas de las industrias en que se utiliza el Fenol son las de explosivos, fertilizantes, pinturas, plásticos, caucho, textiles, adhesivos, drogas, papel, jabones, reveladores fotográficos, inmunizantes para madera, quitaesmaltes, lacas, caucho, tinta, perfumes y juguetes ⁽¹⁶⁾.

El mayor uso que se da al Fenol es como intermediario en la fabricación de resinas fenólicas ^(1, 2, 3, 4). Sin embargo, también se utiliza en la fabricación de Caprolactama ($C_6H_{11}NO$) y BisFenol A (2,2-bis-1-hidroxifenilpropano). La Caprolactama se emplea en la fabricación de nylon 6 y otras fibras sintéticas, mientras que el BisFenol A se emplea en la producción de resinas epóxicas y otro tipo de resinas. Otros reactivos en cuya producción el Fenol hace las veces de precursor son: Anilina, alquilFenoles, xilenoles y otros ⁽⁴⁾.

El Fenol fue ampliamente utilizado durante el siglo XIX en el tratamiento de heridas, y como un antiséptico y anestésico local, actualmente se utiliza también como antiprurítico, agente cauterizante, anestésico tópico, y como repelente químico para la piel ⁽²⁾. Los usos medicinales actuales del Fenol incluyen su incorporación en desinfectantes, antisépticos, lociones, pomadas, ungüentos, gotas para los oídos y la nariz, lociones para heridas, lavados bucales, gotas para el dolor de muelas, analgésicos tópicos, y lociones antisépticas ⁽⁴⁾. Otra aplicación medicinal del Fenol es como agente neurológico, aplicado para aliviar espasmos y dolores crónicos.

4.14.3 EFECTOS SOBRE LA SALUD ^(2,16)

Frases de Riesgo ⁽¹⁵⁾

R24/25: Tóxico en contacto con la piel y por ingestión

R34: Provoca quemaduras

El Fenol es una sustancia corrosiva que produce quemaduras químicas en el sitio de contacto ⁽²⁾. El contacto de cualquier tejido con el Fenol puro provoca quemaduras profundas y de difícil sanado, sin embargo existe evidencia que

indica que el Fenol no es un alérgeno⁽¹⁶⁾. La inhalación del vapor del Fenol puede causar irritación del tracto respiratorio. Las soluciones de Fenol también son corrosivas, a la piel y los ojos. Su carácter inflamable hace posible la ocurrencia de incendios.

El Fenol se absorbe fácilmente por todas las rutas de exposición, y puede ocasionar efectos sistémicos bajo cualquiera de tales rutas. Los síntomas del envenenamiento sistémico involucran frecuentemente una estimulación inicial transitoria del sistema nervioso central (CNS), seguida por depresión rápida del mismo. Los efectos del Fenol tales como convulsiones y coma, pueden presentarse pocos minutos después de la exposición, o inclusive pueden retardarse hasta por 18 horas después de la misma. Otros síntomas incluyen náusea, vómito, diarrea, anemia por precipitación y ruptura de los glóbulos rojos, hipotensión, transpiración abundante, arritmia, edema pulmonar, y taquicardia⁽²⁾.

Los síntomas clínicos después de la exposición crítica son hiper-exitabilidad muscular y convulsiones severas, necrosis de la piel y de las membranas mucosas de la garganta, efectos en los pulmones, en las fibras nerviosas, los riñones, el hígado y sensibilidad de la pupila a la luz⁽¹⁶⁾. Se han reportado casos fatales luego de la intoxicación oral y dérmica al Fenol, pero no se han reportado muertes por inhalación de éste⁽¹⁶⁾.

La exposición ocupacional al Fenol puede ocurrir durante la producción de Fenol y derivados del mismo, durante la fabricación de resinas fenólicas y otros productos derivados, durante el procesamiento de estos últimos materiales y durante otras actividades⁽¹⁶⁾.

No se han reportado estudios adecuados de los efectos reproductivos del Fenol en humanos, pero sí se han identificado efectos sobre el desarrollo en estudios con ratas y ratones. Existe evidencia de que el Fenol es genotóxico para células de mamíferos in vitro. Los ensayos de cancerogenicidad por exposición oral (solución acuosa) no dieron evidencia de potencial cancerígeno del Fenol⁽¹⁶⁾.

4.14.3.1 INHALACIÓN^(2, 4, 3, 16)

Gracias a la baja volatilidad del Fenol, no es común que se alcancen niveles de alta peligrosidad en ambientes diferentes a las plantas de transformación y producción del mismo. Además, su olor característico lo hace detectable por el olfato humano a una concentración 100 veces menor al nivel peligroso⁽²⁾, por el cual el hombre posee un mecanismo de aviso lo suficientemente oportuno como para evitar la exposición severa por inhalación.

En vista de su uso como desinfectante y analgésico, otro de los lugares donde se puede presentar mayor exposición por inhalación es en hospitales y otro tipo de entidades que lo empleen para tal fin.

No se cuenta con datos precisos de los niveles de Fenol en el aire al interior de residencias; sin embargo, se estima que la fuente potencial más grande de Fenol al interior de las viviendas lo constituye el humo del cigarrillo; así, en una habitación cerrada de 50m³, el humo de un cigarrillo puede resultar en una concentración de Fenol de 6 a 8 µg/m³⁽¹⁶⁾.

El potencial de envenenamiento mediante inhalación de vapores de Fenol ha sido ampliamente reconocido, pero no se conocen casos de muerte luego de exposición por esta ruta. Los síntomas asociados con la inhalación de Fenol incluyen anorexia, pérdida de peso, dolor de cabeza, vértigo, salivación y orina oscura. El umbral de detección de Fenol mediante el olfato humano es de entre 0.021 y 20 mg/m³ en el aire, y de 7.9 mg/l en el agua⁽¹⁶⁾.

En animales, la inhalación de aire con altos niveles de Fenol resulta en irritación de los pulmones. La exposición



repetida conlleva a temblor en los músculos y pérdida de coordinación. La exposición a niveles elevados de Fenol durante varias semanas causa parálisis y daños severos del corazón, el hígado, los riñones y los pulmones, y en algunos casos, la muerte⁽³⁾. Estudios de mortalidad en conejillos de indias, conejos y ratas expuestos a aire con vapores de Fenol permitieron concluir que el nivel inferior de Fenol en el aire con el que se observan efectos adversos, LOAEL (lowest observed adverse effect levels), es de 26 ppm⁽⁴⁾.

4.14.3.2 CONTACTO PIEL / OJOS^(2, 4, 16)

La exposición aguda al Fenol por vía ocular o cutánea puede ocurrir comúnmente en personas que trabajan en plantas de producción y transformación de Fenol. En laboratorios e industrias donde se maneja esta sustancia, pueden ocurrir casos de exposición significativa por esta vía gracias a malos manejos y derrames en circunstancias de transporte y almacenamiento.

Todas las formas de Fenol producen irritación, pero los efectos tóxicos agudos del Fenol ocurren más frecuentemente por contacto con la piel que por inhalación. La intoxicación sistémica puede ocurrir por exposición de la piel o de los ojos. El Fenol como vapor o como líquido penetra en la piel con una eficiencia igual a la de absorción por inhalación. Debido a su mayor relación de área superficial a peso corporal, los niños son más vulnerables que los adultos a la intoxicación por absorción a través de la piel⁽²⁾.

Los efectos locales que siguen a la exposición de la piel con Fenol, van desde blanqueado de la piel sin dolor o eritema, hasta corrosión y necrosis¹ profunda; incluso las soluciones diluidas (1 a 2%) pueden causar quemaduras severas si el contacto es prolongado⁽²⁾. Por su parte, la exposición de los ojos puede causar conjuntivitis y opacidad de la córnea; el Fenol se considera un irritante severo en ojos sin irrigación y un irritante moderado en ojos con irrigación posterior a la exposición⁽⁴⁾. Pese a su acción corrosiva sobre la piel, el Fenol no es un agente alérgeno⁽¹⁶⁾.

El uso de soluciones con concentraciones de Fenol de entre 5 y 10%, con propósitos antisépticos, fue causante de muchos casos de exposición que conllevaron a necrosis de la piel y de los tejidos contiguos a ésta. En algunas circunstancias particulares de exposición severa de la piel, en que se vieron involucrados los dedos, fue necesaria la amputación de los mismos. Este tipo de sucesos ha hecho que se deje de usar soluciones de Fenol como agentes desinfectantes.

El tratamiento químico de la piel con Fenol ha sido utilizado durante los últimos 30 años como una técnica de tratamiento cosmético para reducción de la pigmentación. La mezcla utilizada clásicamente contiene 3ml de Fenol al 50%. El uso de ésta mezcla, en éste tipo de tratamiento tópico se asocia con arritmias cardíacas, comunes al 30% de los adultos sometidos a este tratamiento⁽¹⁶⁾.

La intoxicación sistémica puede ocurrir muy rápidamente luego de la absorción de Fenol a través de la piel. El más significativo de los efectos sistémicos es la posibilidad de un shock cardiovascular y de una acidosis metabólica severa. Se han reportado arritmias cardíacas en 10 de 42 pacientes, 10 minutos después de la aplicación de la solución de Fenol al 5% en media cara, para tratamiento cosmético. La hiperventilación, el daño de los riñones y la anemia por precipitación de glóbulos rojos, se han observado en varios casos de exposición al Fenol⁽¹⁶⁾.

La letalidad asociada con la exposición dérmica a Fenol guarda una gran relación con el área de la superficie expuesta, y la concentración de la solución aplicada. La aplicación de una determinada dosis de Fenol por vía dérmica, puede producir un mayor nivel de toxicidad al encontrarse diluido; en un estudio en que se aplicó una dosis de Fenol de 53.5 mg/kg en la espalda de ratas, la solución al 100% de Fenol causó la muerte de 1 de 5 ratas, mientras que una solución de Fenol al 33% causó la muerte a 3 de 5 ratas. La dosis dérmica letal de ratas DL₅₀ es de 669.4 mg/kg para el Fenol puro⁽⁴⁾.

1 Muerte de tejido orgánico

4.14.3.3 INGESTIÓN⁽²⁾

Esta es una de las formas menos comunes de exposición aguda con el Fenol. Se puede dar de forma accidental o en casos de intento de suicidio⁽²⁾. Como el Fenol se encuentra presente en la naturaleza, y específicamente en varios tipos de peces, y en productos comestibles ahumados, esta puede ser otra forma de ingestión de Fenol; sin embargo, el olor y sabor característico de éste compuesto⁽¹⁶⁾ lo hace detectable por el gusto humano en concentraciones de 0.3 mg/l en agua⁽¹⁶⁾, hecho que permite prevenir la exposición severa.

El Fenol y sus metabolitos conjugados se presentan naturalmente en tejidos animales y humanos, y se puede detectar en la orina, las heces, la saliva y el sudor. La producción de Fenol en el cuerpo depende del tipo de dieta, su formación se favorece en dietas ricas en proteína⁽¹⁶⁾.

La ingestión de Fenol produce tanto efectos locales como sistémicos, y produce síntomas similares a los que se presentan por intoxicación a través de la piel. Se ha reportado que dosis orales de 50 a 500 mg de Fenol han sido fatales en niños, mientras que la muerte de adultos se ha presentado con dosis de entre 1 y 32 g⁽²⁾.

Los efectos más importantes, a corto plazo, que se reportan en estudios con animales son: neurotoxicidad, daño del hígado y los riñones, efectos respiratorios y retardo del crecimiento. Los efectos tóxicos en riñones de ratas han ocurrido con dosis de 40 mg/kg por día o más. Los efectos tóxicos sobre el hígado se dieron con dosis de por lo menos 100 mg/kg por día. En un estudio de 14 días con ratas, se reportó un NOAEL (Mayor nivel de exposición a una sustancia para el que no se observaron efectos adversos) oral de 12 mg/kg por día. En este experimento, la respuesta de la pupila a la luz (miosis) se inhibió con una dosis de 40 mg/kg por día o más⁽¹⁶⁾. Un estudio de toxicidad para el desarrollo mostró un NOAEL de 60 mg/kg por día⁽⁸⁾.

4.14.3.4 EFECTOS CRÓNICOS⁽²⁾

La exposición repetida a Fenol en el lugar de trabajo puede causar daño renal incluyendo hinchazón de conductos y células renales. También se han reportado daños en el hígado y cambios de coloración de la piel en algunos trabajadores. La exposición crónica también se ha relacionado con incremento del riesgo de problemas en las arterias coronarias e insuficiencia de suministro de sangre al corazón en trabajadores⁽²⁾. La exposición crónica de niños puede ser aún más grave que la de los adultos.

4.14.3.5 EFECTOS SISTÉMICOS⁽¹⁶⁾

Los efectos sistémicos de la exposición al Fenol incluyen arritmias cardíacas, acidosis metabólica, hiperventilación, afección respiratoria, fallo renal agudo, daño renal, orina oscura, anemia por precipitación de glóbulos rojos, efectos neurológicos (incluidas convulsiones), choque cardiovascular, coma y muerte⁽¹⁶⁾.

4.14.3.5.1 Efectos Respiratorios^(2, 4)

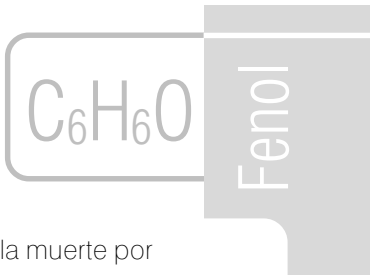
La exposición de ratas a 5 ppm de Fenol en aire durante 90 días no produjo anomalías en sus pulmones⁽⁴⁾. La exposición suave a Fenol produce irritación del tracto respiratorio. Con exposiciones más serias, se presenta inflamación y ulceración de la tráquea, y acumulación de fluido en los pulmones. La ingestión de Fenol puede conducir a la muerte por falla respiratoria⁽²⁾.

4.14.3.5.2 Efectos Cardiovasculares^(2,4)

La exposición al Fenol produce inicialmente una elevación de la presión sanguínea, progresivamente una disminución severa en ella y finalmente shock. La exposición dérmica produce también arritmia cardíaca⁽²⁾. La inhalación de Fenol se ha relacionado con enfermedad cardiovascular⁽⁴⁾.

4.14.3.5.3 Efectos Gastrointestinales⁽⁴⁾

Algunos síntomas comunes luego de la exposición al Fenol por cualquier ruta, involucran al sistema gastrointestinal, ellos son: náusea, vómito, dolor abdominal y diarrea. La ingestión de Fenol puede también producir daños



severos corrosivos a la boca, la garganta, el esófago, y el estómago, con sangrado, perforación, formación de cicatrices y constricción como secuelas potenciales⁽⁴⁾.

Se tiene información histórica que indica que la exposición al Fenol tanto por inhalación como por contacto con la piel, genera un desorden ocupacional que entre otros efectos produce anorexia, conduciendo a la pérdida progresiva de peso y a la salivación excesiva⁽⁴⁾.

4.14.3.5.4 Efectos hematológicos⁽²⁾

Los componentes de la sangre, y los órganos que se ven involucrados en su producción, pueden ser dañados por el Fenol. La mayoría de los cambios hematológicos (hemólisis, metemoglobinemia, supresión de las funciones de la médula ósea y anemia) pueden ser detectados por exámenes de sangre o por la apariencia de su color. La anemia por precipitación de glóbulos rojos se da en infantes mayores a un año de edad. Los niños son más vulnerables a la pérdida de actividad de la hemoglobina, debido a su anemia natural relativa en comparación con los adultos.

4.14.3.5.5 Efectos musculares⁽⁴⁾

La exposición a vapores y soluciones de Fenol conlleva a dolor, espasmos y debilidad muscular, pero no se han observado efectos permanentes sobre este tipo de tejidos⁽⁴⁾ por lo cual se atribuyen estos síntomas a problemas neurológicos antes que musculares. No se han realizado estudios acerca de los efectos de ingestión de Fenol sobre los músculos.

4.14.3.5.6 Efectos Hepáticos⁽⁴⁾

Luego de la exposición diaria crónica a Fenol, se han observado lesiones en el hígado. Estudios hechos en conejillos de indias demostraron deformación del lóbulo central (centrilobular) y necrosis del hígado por exposición a vapores de Fenol⁽⁴⁾.

4.14.3.5.7 Efectos Renales⁽⁴⁾

En caso de envenenamiento crónico con Fenol por inhalación o por contacto con la piel, se presenta orina oscura, que perdura durante varios meses luego de la exposición al Fenol⁽⁴⁾.

Se han reportado fallos renales bajo exposición aguda⁽²⁾.

4.14.3.5.8 Efectos dérmicos^(2,4)

Cuando el Fenol se aplica directamente sobre la piel, se forma una cobertura blanca de proteína precipitada, que se torna roja, y luego sana dejando la superficie ligeramente café. Si el Fenol se deja sobre la piel, penetra rápidamente y puede conducir a muerte de las células y gangrena. Si se expone a contacto con Fenol un área de piel superior a 390 cm², existe el riesgo de muerte inminente. El Fenol tiene propiedades de anestésico local, por lo cual puede ocurrir un daño extensivo antes de que se sienta dolor⁽²⁾. La exposición repetida de la piel a soluciones de Fenol puede producir dermatitis. Se han reportado casos en los que la exposición a Fenol por inhalación ha conducido a pigmentación de los ojos, la nariz y los pómulos⁽⁴⁾.

4.14.3.5.9 Efectos Inmunológicos⁽⁴⁾

No se reportan estudios en humanos acerca de los efectos causados sobre el sistema inmunológico por la exposición oral a Fenol. Se ha observado disminución de la concentración de células productoras de anticuerpos en ratas sometidas a exposición oral, mediante soluciones de Fenol⁽⁴⁾.

4.14.3.5.10 Efectos Endocrinos⁽⁴⁾

No existen estudios acerca de los efectos causados sobre el sistema endocrino por la exposición oral a Fenol⁽⁴⁾.

4.14.3.5.11 Efectos Neurológicos⁽⁴⁾

Se han hecho reportes de que la exposición aguda al Fenol puede conducir a convulsiones, cuando la exposición ocurre a través de la piel o por inhalación de vapores⁽⁴⁾. En estudios hechos con ratas se ha observado la pérdida de coordinación y la ocurrencia de espasmos musculares luego de la exposición a Fenol mediante inhalación⁽⁴⁾.

4.14.4 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

DL₅₀ (oral, ratas): 300-600 mg/kg⁽¹⁶⁾
DL₅₀ (piel, ratas): 670 mg/kg⁽¹⁶⁾
CL₅₀ (inhalación, ratas): < 900 mg/m³⁽¹⁶⁾

4.14.4.1 CÁNCER^(2, 14, 16)

A pesar de que se han realizado estudios sobre animales, que han demostrado la posibilidad de generación de cáncer por exposición repetida a través de la piel⁽¹⁶⁾, no existe información acerca de la generación de cáncer en humanos a causa del contacto con Fenol, aunque sí se reconoce como un promotor de tumores⁽²⁾. En vista de ello, organismos de vigilancia de la salud de la población en otros países no lo clasifican como cancerígeno por si solo. De este modo, no se reporta dentro del listado de la IARC (Agencia Internacional para la Investigación Sobre el Cáncer) para sustancias cancerígenas⁽¹⁴⁾.

4.14.4.2 EFECTOS REPRODUCTIVOS Y DEL DESARROLLO^(2, 3)

No existen estudios apropiados de la toxicidad reproductiva del Fenol en humanos. Sin embargo, el Fenol ha sido identificado como un tóxico para el desarrollo (estudios realizados sobre ratas y ratones). Estudios en animales condujeron al nacimiento de crías con bajo peso y defectos de nacimiento menores⁽³⁾. Se ha identificado embriotoxicidad y fetotoxicidad del Fenol en animales, pero no se observó teratotoxicidad por exposición al Fenol⁽²⁾.

4.14.4.3 EFECTOS GENOTOXICOS⁽¹⁶⁾

La mayoría de los estudios de mutagénesis en bacterias, por efecto del Fenol, han dado resultados negativos. Sin embargo, se han observado mutaciones, daño de cromosomas y efectos sobre el ADN en células de mamíferos in-vitro. El Fenol no presenta efectos sobre la comunicación intercelular en células de mamíferos cultivadas⁽¹⁶⁾.

4.14.5 RESPUESTA A ACCIDENTES

Toda persona que entre en contacto con un material químico peligroso no solo debe estar atento a realizar medidas preventivas sino también debe conocer acerca de procedimientos de emergencia, que pueden ayudar a evitar que un incidente menor se transforme en una catástrofe.

4.14.5.1 PRIMEROS AUXILIOS⁽²⁾

La exposición aguda al Fenol puede requerir una descontaminación de la víctima. Para casos en que los pacientes muestren síntomas de intoxicación sistémica, bajo cualquier ruta de exposición, es necesario que la víctima sea remitida a un centro hospitalario⁽²⁾ para tratamiento posterior. En vista de que el edema pulmonar o los efectos cardiovasculares (CNS) se pueden presentar tiempo después de la exposición, los pacientes en que se sospeche exposición seria, se deben reexaminar periódicamente a lo largo de las 18 y 24 horas posteriores a la exposición. Los pacientes que permanezcan sin síntomas durante las 2 a 4 primeras horas posteriores a la exposición, pueden ser dadas de alta, bajo la advertencia de buscar atención médica en cuanto sientan algún síntoma.

4.14.5.1.1 Exposición en los Ojos^(2, 12)

La persona se debe retirar del peligro lo más rápidamente posible. Los ojos se deben lavar inmediatamente con abundante agua o solución salina durante por lo menos 15 minutos. Si existen lentes de contacto, se deben retirar cuando sean fácilmente removibles sin trauma adicional del ojo; las personas que trabajen con Fenol no deben utilizar lentes de contacto. Si se sospecha corrosión o si hay daño evidente, se debe continuar la irrigación mientras se traslada a la víctima a una zona de soporte⁽²⁾. Brindar atención médica inmediata⁽¹²⁾. Si hay daño de la cornea se debe consultar inmediatamente a un oftalmólogo.



4.14.5.1.2 Exposición en la Piel ⁽²⁾

La víctima se debe retirar del peligro de forma segura. La persona que se encuentra prestando la asistencia debe evitar entrar en contacto directo con el Fenol. La descontaminación del paciente se debe hacer tan pronto como sea posible para minimizar la absorción de Fenol.

La ropa contaminada se debe retirar inmediatamente y se debe lavar la piel con Polietilenglicol de bajo peso molecular (PEG 300 o 400), que se puede emplear en solución al 50% para facilitar su aplicación; el Polietilenglicol se puede sustituir por una solución de Glicerina ($C_3H_8O_3$). Se debe continuar el lavado hasta que no se detecte olor a Fenol. En caso de que no se cuente con ninguno de estos dos reactivos, se puede hacer un lavado con una solución de alta densidad; el lavado con agua puede dispersar el Fenol, conduciendo a un aumento del área afectada. Después del retiro del Fenol, la zona afectada se debe lavar con jabón durante por lo menos 15 minutos.

Si existe contacto de la piel con Fenol líquido, se pueden presentar quemaduras químicas, cuyo tratamiento es análogo al de quemaduras por calor.

Se debe prevenir la hipotermia, especialmente cuando la víctima sea un niño; se recomienda emplear mantas o calentadores cuando sea necesario.

Una vez se hayan administrado los procedimientos de primeros auxilios, la persona afectada se debe remitir a evaluación médica ⁽²⁾.

4.14.5.1.3 Inhalación ^(10, 12)

La víctima se debe ubicar rápidamente en lugares donde se pueda tener acceso al aire fresco. El personal de atención de primeros auxilios debe evitar entrar en contacto con la sustancia cuando se lleve a cabo el procedimiento de primeros auxilios. Si la víctima presenta dificultades respiratorias se debe administrar Oxígeno suplementario con máscara, y en caso de que cese la respiración, se debe dar a la víctima respiración artificial. La víctima siempre debe recibir atención médica inmediata ⁽¹⁰⁾ y se debe mantener caliente y en reposo ⁽¹²⁾.

4.14.5.1.4 Ingestión ⁽¹²⁾

No se debe inducir vómito a las víctimas que han ingerido esta sustancia. A las víctimas que estén concientes y en condición de tragar, se les debe suministrar entre 1 y 2 tazas de leche o solución de gelatina. No se debe administrar ninguna bebida o alimento a una víctima que se encuentre en estado de inconsciencia. La víctima debe recibir atención médica inmediata ⁽¹²⁾.

4.14.5.1.5 Rescate ⁽²⁾

La persona afectada se debe retirar de la zona de peligro. Para mejor desempeño en momentos de emergencia, se deben seguir los procedimientos de emergencia de la instalación y conocer la ubicación del equipo de rescate antes que se presente la necesidad.

Para situaciones de emergencia, se deben usar máscaras anti gas de presión positiva o equipo de respiración autocontenida y que posean cubrimiento completo de la cara. Se debe utilizar también un traje totalmente hermético resistente al ataque químico fabricado en caucho de butilo, otros cauchos diferentes a este son penetrados por el Fenol con gran facilidad ⁽²⁾.

4.14.5.2 INCENDIOS

Los incendios que involucren pequeñas cantidades de combustible se pueden sofocar con polvo químico seco, espuma o dióxido de carbono. Si se presenta fuego de gran magnitud, y el único método de extinción disponible es agua, se debe atacar el fuego desde una distancia segura con una manguera de alta presión y con chorros atomizados. Si el fuego involucra los tanques de almacenamiento del Fenol,

éstos se deben retirar del área de incendio si no representa riesgo o se deben mantener fríos con chorros de agua ⁽¹⁵⁾.

4.14.5.3 PROCEDIMIENTOS EN CASO DE DERRAMES O FUGAS ^(2, 10)

Siempre que existan derrames o fugas de Fenol, se deben efectuar los siguientes pasos:

- Ventilar el área de fuga o derrame
- Recolectar el material derramado en la manera más conveniente para su reciclaje o para su disposición en un relleno de seguridad. Cuando el Fenol se encuentra sólido y se derrama una pequeña cantidad, se puede recoger en papel o algún otro material apropiado, para luego ser quemado en un lugar seguro. Si se derrama una cantidad considerable de Fenol sólido, se puede recoger para ser reutilizado, o se puede disolver en Alcohol para luego ser atomizado en una cámara de combustión apropiada. Cuando el Fenol se encuentra como líquido, las cantidades pequeñas se recogen con un papel absorbente, y las cantidades mayores se recogen y se atomizan en una cámara de combustión.

Las personas que no tengan puesto equipo de seguridad y ropa protectora se deben retirar de las áreas en que haya derrames o fugas hasta que la limpieza termine.

4.14.6 NIVELES PERMISIBLES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL ^(1, 2, 3, 11)

TLV (TWA; 8 horas; ACGIH): 5 ppm mg/m³ (1992) ⁽¹¹⁾

PEL (8 horas; OSHA para la industria general): 19 mg/m³ (1992) ⁽¹¹⁾

PEL (TWA; 8 horas; OSHA para la industria de la construcción): 19 mg/m³ (1992) ⁽¹¹⁾

IDLH (NIOSH): 250 ppm (2003) ⁽²⁾

STEL (TWA; 15 minutos; ACGIH): 16 ppm (2001) ^(1, 3)

TLV: Threshold Limit Value (Valor Límite Umbral).

PEL: Permissible Exposure Limit (Límite Permissible de Exposición).

IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health (Peligroso Inmediatamente para la vida y la Salud).

STEL: Short Time Exposure Limit (Límite de Exposición en Periodos Cortos)

4.14.7 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL ⁽¹²⁾

- Los empleados deben estar provistos y obligados a usar ropas impermeables, guantes, caretas y otros materiales de protección apropiados necesarios para prevenir cualquier posibilidad de contacto de la piel con Fenol sólido o líquido, o con líquidos que contengan Fenol.
- Si la ropa de los empleados se contamina con Fenol sólido o líquido, o con líquidos que contengan Fenol, los empleados deben cambiarla inmediatamente por ropa limpia antes de dejar el sitio de trabajo.
- La ropa que se contamine con Fenol sólido o líquido, o con líquidos que contengan Fenol, se debe guardar en un contenedor cerrado, para almacenamiento hasta que se pueda remover el Fenol de la ropa por procedimientos de lavado. Si la ropa va a ser enviada a lavado para remoción del Fenol, se le debe advertir a quien se encargue de lavarla acerca de los peligros potenciales de la manipulación del Fenol.
- Donde exista alguna posibilidad de exposición del cuerpo de un empleado a Fenol sólido o líquido, o con líquidos que contengan Fenol, se deben proveer instalaciones para el rápido lavado del cuerpo en el área inmediata de trabajo para uso en emergencias.
- Los empleados deben estar provistos y obligados a usar gafas de seguridad a prueba de salpicaduras donde exista alguna posibilidad de que Fenol sólido o líquido, o líquidos que contengan Fenol entren en contacto con los ojos.
- Donde exista alguna posibilidad de que Fenol sólido o líquido, o líquidos que contengan Fenol entren en contacto con los ojos de los trabajadores, se debe proveer una ducha lava ojos en las cercanías inmediatas al área de trabajo.



4.14.7.1 PROTECCIÓN RESPIRATORIA ⁽¹²⁾

Se debe usar equipo de protección respiratoria (máscaras de respiración) cuando las prácticas de control de ingeniería y de operación no son técnicamente alcanzables, cuando tales controles están en proceso de instalación o cuando fallan y necesitan ser reemplazados. Los equipos de respiración pueden ser también usados para operaciones donde se requiere ingresar en tanques o recipientes cerrados y en situaciones de emergencia. Además del uso de respiradores y equipos de respiración, se debe instituir un programa completo de seguridad respiratoria que debe incluir entrenamiento, mantenimiento, inspección, limpieza y evaluación.

Tabla 46. Protección respiratoria mínima para Fenol en el aire

Condición	Protección Respiratoria Mínima Arriba de 19 mg/m ³ (OSHA)
Concentración de hasta 50 mg/m ³	Una máscara de gases de tipo mentón o cilindro para gases orgánicos con un filtro para polvo y niebla. Un respirador con suministro de aire. Cualquier aparato de respiración autocontenido con pieza facial completa.
Concentración de hasta 100 mg/m ³	Un respirador con cartuchos químicos y pieza facial completa, los cartuchos deben ser adecuados para vapores químicos; el respirador debe poseer un filtro para polvo y niebla. Una máscara de gas de tipo mentón con cilindro para vapores orgánicos y filtro para polvo y niebla. Un respirado con suministro de aire, con pieza facial completa, yelmo o capucha. Cualquier aparato de respiración autocontenido con pieza facial completa.
Concentración de más de 100 ppm o concentraciones desconocidas	Aparatos de respiración autocontenidos con pieza facial completa operados en demanda de presión o algún otro modo de presión positiva. Una combinación de respirador que incluya respirador con pieza facial completa operado en demanda de presión o algún otro modo de presión positiva o de flujo continuo y un aparato auxiliar de respiración autocontenido operado en modo de demanda de presión u otro modo de presión positiva. Aparato de respiración autocontenido con pieza facial completa operado en modo de demanda de presión u otro modo de presión positiva.
En caso de lucha contra fuego	Cualquier máscara que provea protección contra vapores orgánicos y partículas.
Evacuación	Cualquier aparato de evacuación de respiración autocontenido.

Tomado de "OSHA;Occupational Safety and Health Guideline for Phenol "(12)

4.14.8 CONDICIONES PARA MANEJO Y ALMACENAMIENTO SEGURO ORIENTADAS A DISMINUIR EL RIESGO A LA SALUD HUMANA

Antes de trabajar con Fenol, el personal implicado en su manipulación se deben entrenar en su manejo y almacenamiento. Además deben estar entrenados en el uso del equipo de protección personal.

Debido al carácter inflamable del Fenol, se debe prohibir fumar en zonas de almacenamiento, manejo o

procesamiento de esta sustancia. En las mismas zonas, se deben revisar las líneas de conducción eléctrica para garantizar ausencia de cortos que puedan ocasionar chispas y posteriores explosiones e incendio^(L-4).

Se debe contar con polietilenglicol de bajo peso molecular (PEG 300 o 400), en solución al 50%, o en su defecto con Glicerina, en las proximidades de la zona de trabajo, para brindar atención oportuna en caso de exposición de la piel.

4.14.8.1 FRASES DE SEGURIDAD^(15, 13)

- S1/2:** Consérvese bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños
- S28:** En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con... (productos a especificar por el fabricante)
- S45:** En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible muéstrele la etiqueta)

4.14.8.2 ALMACENAMIENTO^(5, 10, 12, 15)

Durante el almacenamiento se deben mantener alejadas todas las posibles fuentes de ignición en el almacén donde se tenga esta sustancia debido a su carácter inflamable. Se debe almacenar apartado de oxidantes fuertes, especialmente lejos de Hipoclorito de Calcio, así como de compuestos ácidos. El almacenamiento se debe realizar en recipientes irrompibles y/o en contenedores de acero inoxidable. La bodega de almacenamiento debe estar provista con piso de concreto sellado para evitar filtraciones. En el transporte de esta sustancia no se deben llevar comida o alimentos en el mismo vehículo, ya que se absorbe fácilmente y puede ser causante de intoxicaciones posteriores.

4.14.9 USOS, GENERACIÓN Y CONTROLES⁽¹⁰⁾

Tabla 47. Usos, generación y control de emisiones de Fenol

Uso / Generación	Control
Aplicación y curado de resinas para la fabricación de madera contrachapada.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Aplicación y curado de resinas para moldes, para la manufactura de artículos moldeados tales como aparatos eléctricos, partes de automóviles, y utensilios de mano; manufactura de materiales de fricción, tablas de aglomerados de madera y materiales aislantes.	
Aplicación en recubrimientos para: revestimiento de tambores y latas, equipo de procesamiento de leche y cerveza, tanques de agua y equipos de acondicionamiento de aire, láminas decorativas y textiles.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Síntesis de resinas: fenólicas termoestables, epóxicas, de policarbonato, fenólicas y polisulfona. Síntesis de caprolactama para la fabricación fibras, plásticos y películas de nylon 6.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Manufactura de agroquímicos e intermediarios. Síntesis de productos farmacéuticos, cauchos, plastificantes, antioxidantes, agentes de curado e intermediarios.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Manufactura de estabilizantes y preservativos para tintes, perfumes y fungicidas.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.

Tabla 47. Usos, generación y control de emisiones de Fenol (continuación)

Uso / Generación	Control
Refinación de solventes de ceras y aceites lubricantes; síntesis de aditivos para la gasolina y fluidos lubricantes e intermedios.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Síntesis de precursores en la fabricación de poliéster; producción de poliéster resistente a la corrosión, y polioles de poliéster.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Síntesis de agentes de actividad superficial, precursores de detergentes, y explosivos.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Manufactura de agentes desinfectantes y productos de uso doméstico e industrial.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.
Síntesis de cresoles y xilenoles.	Aislamiento del proceso; ventilación local; equipo de protección personal.

4.14.10 COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE ^(1, 4, 16)

El Fenol se encuentra en la naturaleza formando parte de algunos alimentos, es un constituyente del alquitrán de hulla, se presenta en desperdicios animales y humanos. Se forma de manera natural por la descomposición de materia orgánica ⁽¹⁶⁾. El incremento de los niveles ambientales de Fenol se puede presentar por la quema de bosques ⁽¹⁶⁾; sin embargo, la mayor cantidad de Fenol que se libera al medio ambiente es fruto de la actividad industrial y de la comercialización de productos finales que lo contienen ^(16, 4, 1). El gas de combustión que sale de los automóviles también entrega Fenol a la atmósfera.

Desde el aire, el Fenol pasa al agua y los suelos por deposición húmeda. El Fenol depositado en el suelo, se mueve por lixiviación a través de éste, gracias a la acción de la lluvia, llegando a las aguas subterráneas; en vista de ello, la contaminación del suelo se presenta en territorios de baja pluviosidad. La evaporación de Fenol desde el agua es lenta ⁽¹⁶⁾.

El Fenol no permanece ni en el aire, ni en el suelo o el agua superficial, ya que reacciona fotoquímicamente en el aire y en el agua superficial, y es biodegradado aeróbica y anaeróbicamente tanto en el agua como en el suelo.

4.14.10.1 SUELO ^(3, 16)

El Fenol se puede liberar en el suelo durante su proceso de manufactura, almacenamiento, transporte, cuando ocurren derrames y cuando se lixivia desde rellenos dedicados a la deposición de residuos tóxicos.

El Fenol se remueve del suelo por lixiviación con agua, y por degradación tanto biótica como abiótica. La movilidad del Fenol en el suelo se encuentra influenciada por el pH. La proporción de Fenol que se degrada por acción biológica está determinada por muchos factores, tales como la concentración, el clima, la temperatura y la presencia de otros compuestos ⁽¹⁶⁾.

La degradación biológica sucede en condiciones aeróbicas y anaeróbicas; en el primer caso, el principal producto es dióxido de carbono (CO₂), mientras que en el segundo caso no solo se produce dióxido de carbono sino también Metano (CH₄) en cantidad considerable. El tiempo de vida media del Fenol bajo degradación biológica en condiciones aeróbicas es de entre varias horas a varios días. Bajo degradación biológica anaeróbica, el Fenol tiene un tiempo de vida mayor. Si la velocidad de remoción de Fenol es baja, puede haber acumulación de Fenol con subsiguiente inhibición de las poblaciones microbianas ⁽¹⁶⁾.

4.14.10.2 AIRE ^(3, 4, 16)

El Fenol se libera a la atmósfera durante su manufactura, principalmente desde los tanques de almacenamiento y

durante su manejo y transporte. Otras fuentes mayores de liberación de Fenol en la atmósfera son quemas residenciales de madera y gases de combustión de los automóviles. La volatilización del Fenol desde suelos y aguas es muy lenta, y no se espera que se trate de fuentes significativas de Fenol atmosférico. El Fenol también se encuentra en el humo del cigarrillo y en plásticos ⁽⁴⁾.

Luego de pequeñas emisiones de Fenol, éste no permanece en el aire por mucho tiempo (generalmente la mitad es removido del aire en menos de un día) ⁽³⁾.

La mayor parte del Fenol en la atmósfera es degradado por reacciones fotoquímicas. Una parte menor desaparece del aire por deposición húmeda (lluvia) ⁽¹⁶⁾.

El Fenol puede reaccionar en aire con radicales Hidroxilo y nitrato, sufriendo reacciones fotoquímicas para formar dihidroxi-Bencenos, nitroFenoles, y productos del rompimiento de anillos. El tiempo de vida media del Fenol en aire, bajo condiciones de reacción fotoquímica es de 4 a 5 horas; si la reacción del Fenol se diera únicamente con radicales Hidroxilo, su tiempo de vida media sería de 15 horas. La reacción del Fenol con radicales nitrato puede ser significativa para la remoción nocturna del primero, se ha estimado un tiempo de vida medio del Fenol de 15 min a una concentración de radicales nitrato de 2×10^8 radicales/cm³ ⁽¹⁶⁾.

4.14.10.3 AGUA ^(3, 4, 16)

Las fuentes más comunes de Fenol antropogénico en el agua natural incluyen alquitrán de hulla y aguas residuales de industrias manufactureras de resinas, plásticos, fibras, adhesivos, hierro, acero, aluminio, caucho y efluentes de manufactura sintética de combustible. Otros desechos de Fenol resultan del uso de productos comerciales que contienen Fenol, incluyendo medicamentos, lociones, desinfectantes y otros ⁽⁴⁾.

Se han detectado contenidos de Fenol de 1 ppb en aguas subterráneas sin contaminar, y de 0.01 a 1 ppb en ríos sin contaminar ⁽⁴⁾. Los mayores niveles de Fenol se han encontrado en aguas que sirven como depósito de aguas provenientes de actividad industrial y aguas de uso sanitario.

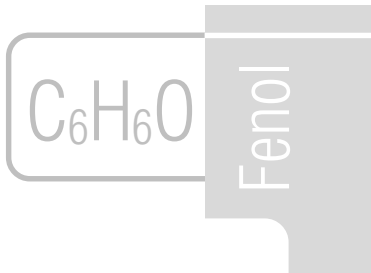
Teniendo en cuenta la alta solubilidad relativa del Fenol en agua con respecto al aire, y su baja volatilidad a temperatura ambiente, se espera que el Fenol se distribuya mayoritariamente en el agua ⁽¹⁶⁾.

El tiempo de vida media por biodegradación varía desde menos de 1 día en muestras de agua de lagos, hasta 9 días en agua de estuario. Un tiempo típico de vida media para foto-oxidación por radicales peroxilo producidos fotoquímicamente, es de 19 horas. Los tiempos de vida medios de los radicales Hidroxilo y peroxilo son, respectivamente, de 100 y 19.2 horas. Se encontró que el Fenol se oxida en agua a Dióxido de Carbono en presencia de Oxígeno y luz solar, a una tasa de 11% cada 24 horas. Además, el Fenol reacciona con iones nitrato en solución acuosa diluida, para formar dihidroxiBencenos, nitroFenoles, nitrosoFenol, y nitroquinona, presumiblemente mediante un mecanismo de radicales involucrando los radicales Hidroxilo y peroxilo. El Fenol también reacciona con ácido nitroso en aguas residuales, formando cianuros ⁽¹⁶⁾.

La biodegradación de Fenol en agua o suelo se puede retardar por la presencia de concentraciones muy altas del mismo, por la presencia de otros compuestos o por otros factores tales como la falta de nutrientes para los microorganismos capaces de degradar Fenol. Si la biodegradación es lo suficientemente lenta, el Fenol en agua iluminada por el sol puede sufrir una foto-oxidación con radicales peroxilo producidos fotoquímicamente, y el Fenol del suelo pasa al agua subterránea ⁽⁴⁾.

4.14.11 ECOTOXICIDAD ⁽¹⁶⁾

De acuerdo con datos de bioacumulación hallados para organismos acuáticos, no se espera que el Fenol se bioacumule significativamente ⁽¹⁶⁾.



La toxicidad del Fenol ha sido ampliamente estudiada en microorganismos (bacterias, hongos, protozoarios, y algas) y en numerosos vertebrados e invertebrados acuáticos⁽¹⁶⁾. Se ha podido demostrar que el Fenol es tóxico para los organismos acuáticos, pero faltan datos adecuados del efecto del Fenol sobre organismos terrestres y plantas⁽¹⁶⁾.

Toxicidad para Peces⁽¹⁶⁾

NOEC, (No Observed Effect Concentration): 0,2 µg/l (8-días LC₁ para *Salmo gairdneri*)⁽¹⁶⁾.

El Fenol es tóxico para los organismos superiores del agua dulce. Los valores mínimos de LC₅₀ o EC₅₀ para crustáceos y peces están entre 3 y 7 mg/l. Los datos de toxicidad aguda para organismos marinos son comparables con los encontrado en organismos de agua dulce⁽¹⁶⁾.

Los efectos agudos medianamente letales más importante observados en especies de agua dulce después de la exposición a Fenol incluyen velocidad reducida del corazón y daño del epitelio de las branquias, el hígado, los riñones y los intestinos. Un estudio reportó la ocurrencia de contracciones severas mediadas por el sistema nervioso central, en salmón después de la exposición a Fenol. En invertebrados se observó usualmente la inhibición del crecimiento⁽¹⁶⁾.

Toxicidad para Plantas Acuáticas

Fitoplancton NOEC (No Observed Effect Concentration): 0,13 mg/l⁽¹¹⁾

Toxicidad para Microorganismos^(1, 16)

En estudios de especies simples de bacterias, el EC50 para inhibición del crecimiento varía entre 244 y 1600 mg/l⁽¹⁶⁾.

4.14.12 LINEAMIENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA SU DISPOSICION

El Fenol presente en corrientes gaseosas se elimina del gas a través de un proceso de absorción en torres de absorción, en que el líquido es una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 3 – 20 % en agua. La absorción del Fenol sobre carbón activado es otra alternativa para el tratamiento de los gases de desecho⁽⁵⁾.

Las aguas residuales provenientes de la producción de Fenol por oxidación de Cumeno, contienen entre un 1% y un 3% de Fenol, y pueden ser tratadas mediante extracción con Cumeno, Acetofenona (C₈H₈O), Acetato de Butilo (C₈H₁₂O₂), Benceno (C₆H₆), Éter diisopropílico (C₆H₁₄O) o Metil Isobutil Cetona (C₆H₁₂O). De esta manera el contenido de Fenol en las aguas residuales se disminuye hasta una concentración de 20 a 500 mg/l. El Fenol remanente se elimina en una planta de tratamiento mediante acción biológica⁽⁵⁾. Este tipo de tratamiento es válido para las aguas residuales de otro tipo de industria diferentes a la de producción de Fenol.

El Fenol sólido o líquido puede ser eliminado por combustión controlada⁽¹²⁾, o por tratamiento con microorganismos, previo acondicionamiento de la corriente a tratar⁽¹⁶⁾ para que el nivel de Fenol permita la acción de éstos.

El tratamiento de las aguas residuales también se puede hacer por alguna de las siguientes rutas⁽⁵⁾:

- Destilación del vapor, basado en la volatilidad del vapor del Fenol.
- Adsorción sobre materiales sólidos con superficie activa, tales como carbón activado y resinas de intercambio iónico.
- Oxidación controlada con agentes oxidantes como Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂).

4.14.13 BIBLIOGRAFÍA

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Statement for Phenol [en línea]. Diciembre de 1998 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/phshome.html>
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Managing Hazardous Material Incidents, Phenol [en línea]. Fecha de publicación desconocida, actualizado julio de 2003 [citado Julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mmg115.html>
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ToxFaq's for Phenol [en línea]. Junio de 1999 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts115.html>
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile [en línea]. Marzo de 2001 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp115.pdf>
5. Editores: Elvers B, Hawkins S y otros; Ullman 's Encyclopedia of Industrial Chemistry; Volumen 24; Quinta edición completamente revisada; Editorial VCH; New York, U.S.A.; 1989.
6. Environmental Protection Agency (EPA). Alphabetical Order list of Extremely Hazardous Substances, Phenol Chemical Profile [en línea]. Marzo de 2001 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.epa.gov/tri/chemical/chemlist2001.pdf>
7. Environmental Protection Agency (EPA). Alphabetical Order list of Extremely Hazardous Substances, Phenol Emergency First Aid treatment Guide [en línea]. Marzo de 2001 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://yosemite.epa.gov/oswer/CeppoEHS.nsf/firstaid/108-95-2?OpenDocument>
8. Environmental Protection Agency (EPA). Lists of IRIS substances, Phenol [en línea]. Marzo de 2001 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en: <http://www.epa.gov/iris/subst/0088.htm>
9. Environmental Protection Agency (EPA). Lists of IRIS substances, Phenol Overview [en línea]. Marzo de 2001 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.epa.gov/iris/subst/0088.htm>
10. Merck Catalogue. ChemDAT - The Merck Chemical Database. 2000.
11. Occupational Safety & Health Administration (OSHA) U. S. Department of Labor Chemical Sampling Information, Phenol [en línea]. Fecha de publicación desconocida, revisado Agosto de 1992 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_261100.html
12. Occupational Safety & Health Administration (OSHA). Safety and Health Guideline for Phenol [en línea]. Septiembre de 1978 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_261100.html
13. Organización Internacional del Trabajo (OIT). Chemical Safety Training Modules, Annex 4. List of Classified Chemicals [en línea]. Fecha de publicación desconocida, actualizado Septiembre de 1999 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/safetytm/clasann4.htm>



Fenol

14. Organización Internacional del Trabajo (OIT). *Chemical Safety Training Modules, Annex 5. List of Classified Carcinogens* [en línea]. Fecha de publicación desconocida, actualizado Septiembre de 1999 [citado Julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/safetytm/iarclist.htm>
15. Organización Internacional del Trabajo (OIT). *International Chemical Safety Cards, Phenol* [en línea]. Octubre de 2001 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/_icsc00/icsc0070.htm
16. Organización Mundial de la Salud (OMS). *Environmental Health Criteria 161, Phenol* [en línea]. 1994 [citado julio 25 de 2003]. Disponible en <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc161.htm>.

Fenol