

Universidad de Huelva

Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública



Caracterización de la exposición a benceno, tolueno y xileno (BTX's) en trabajadores de tres refinerías sudamericanas

Memoria para optar al grado de doctor
presentada por:

José Antonio Garrido Roldán

Fecha de lectura: 3 de diciembre de 2015

Bajo la dirección del doctor:

Carlos Ruiz Frutos

Huelva, 2015



Universidad de Huelva

Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública



**CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A BENCENO, TOLUENO
Y XILENO (BTX's) EN TRABAJADORES DE TRES REFINERIAS
SUDAMERICANAS.**

Memoria para optar al grado de doctor presentado por:

José Garrido Roldán

Fecha de lectura: Noviembre de 2015

Bajo la dirección del doctor:

Carlos Ruiz Frutos

Huelva, Octubre 2015

Universidad de Huelva

Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública



**Universidad
de Huelva**

Memoria para optar al grado de doctor presentada por:

José Antonio Garrido Roldán

Fecha de lectura: Noviembre de 2015

Director: **Dr. Carlos Ruiz Frutos**

Huelva, 2015

DEDICATORIA

“Gobierna tu casa y sabrás cuánto cuesta la leña y el arroz; cría a tus hijos, y sabrás cuánto debes a tus padres”

Por la deuda que tengo con ellos, quiero dedicar esta tesis doctoral a mi familia y especialmente a mis padres: José y Julia, por tener la paciencia infinita para conseguir hacer de un niño díscolo, un muchacho travieso y un adolescente rebelde, un hombre de bien.

A mi madre, que anda escasa de vista pero sobrada de corazón y cariño para repartir entre todos nosotros. A mi padre, cuya ocupación más importante es preocuparse no solo por sus pequeños problemas cotidianos, sino por los de toda la familia. Concluida esta meta académica, espero poderme dedicar a finalizar el árbol genealógico de la familia. En estos últimos meses mi padre nunca me preguntaba por la Tesis, pero siempre me pregunta que cuándo pensaba terminar el árbol familiar.

A mis hijos, José A. y María del Mar, que han padecido tantas y tan dilatadas ausencias de su padre y a pesar de ello siempre se sintieron orgullosos de mí. A ellos sólo les pido que no renuncien nunca a conseguir ninguno de sus sueños por inalcanzables que puedan parecer.

A mi hermana Mary Luz, mi maestra de ética y de moral. Ella es mi crítica más implacable, después de mi conciencia y por intachable que sea mi conducta o mi actitud ante la vida, ella siempre espera algo más de mí. A ella debo mi amor por la lectura, a través de la cual he podido aprender tantas cosas. Ella me regalo mi primer libro cuando yo contaba 16 años y nunca lo olvidaré, (Por cierto, ¡aún lo conservo!).

A mi hermano Paco, por creer en mí, más que yo mismo. Quiero pedirle perdón por tanto como le hice sufrir cuando estudiábamos juntos en el internado del Instituto Aguilar y Eslava de Cabra. Cuando él era un alumno ejemplar, querido y respetado por profesores y compañeros, yo presumía cada mes del dudoso honor de ser el peor alumno de primer curso de bachillerato. Uno de aquellos meses conseguí mi récord con pleno de suspensos en todas las asignaturas. Estoy seguro de que de no habernos dejado, hoy estaría muy orgulloso de mí.

En cualquier caso, nadie muere totalmente mientras permanece en nuestro recuerdo y tú sigues conmigo, en mis recuerdos y en mi corazón.

A mi hermana Soledad, que siempre me atribuye más conocimientos de los que poseo, más valor del que aparento y mucho más dinero del que realmente tengo. Ella lo magnifica todo, pero tiene a gala sentirse orgullosa de su familia y siempre utiliza el posesivo seguido del nombre propio cuando se refiere a cualquiera de nosotros.

A Enma, mi mujer, que posee el don de administrar adecuadamente las conversaciones y los silencios. A ella, que siempre sabe hacerse notar cuando la necesito y pasar inadvertida cuando algún asunto me absorbe por completo. Ella ha sido la última de la familia en llegar a mi vida, pero probablemente sea la que mejor me conoce. Gracias por enseñarme con humildad y sencillez los pequeños placeres de la vida.

No quiero olvidarme de mi abuelo Antonio Garrido, el que más huella dejó en mi carácter y en mi actitud ante la vida, él me educó en valores, me enseñó el significado de palabras importantes tales como honor, dignidad, honradez, humildad, generosidad, orgullo, esfuerzo y valentía. Mi abuelo fue mi primer maestro y a él le debo haberme conducido en la vida como lo he hecho.

He concluido esta tesis a la edad de 59 años y por insensato que parezca, aun me siento joven. Tuve un instructor de parapente que siempre me decía, *“¡Pepe, hay que llenar los años de vida y no la vida de años!”*. Trato de seguir este consejo hasta el día de hoy; tanto es así, que a partir de la fecha de defensa de esta tesis, pienso dedicar mucho más tiempo a cultivar mi “Vitae”, que a engrosar mi “Curriculum”.

AGRADECIMIENTOS

En este momento de culminación académica, quiero agradecer este logro personal a las personas que me educaron, a mis maestros. A todos mis maestros, desde los que me enseñaron a descifrar los códigos de la lectura y la escritura, hasta los que me inculcaron el respeto por el rigor científico y me iniciaron en el manejo de herramientas de investigación; entre los primeros cabría destacar a Dña. Pepita (mi primera maestra), a mis maestros de enseñanza secundaria, D. Julián, D. José Antonio, D. Manuel y D. Herminio, algunos de ellos ya fallecidos. A mis profesores de primero de bachillerato, que pusieron tanto empeño en que yo aprendiese algo, como yo en no hacer otra cosa que no fuese jugar a fútbol. A los profesores salesianos que se tuvieron que emplear a fondo para que yo consiguiese centrar mi atención en los estudios. Ellos me enseñaron la importancia de la disciplina y de las normas.

A mis profesores universitarios, que me enseñaron la manera de aplicar a la práctica profesional, los conocimientos teóricos, a extraer conclusiones de todo lo que aprendía y a tener criterio propio frente a los grandes dilemas de la ciencia y de la vida.

No creo que ninguno de mis maestros y maestras de primaria haya sido menos importante que el más célebre de los catedráticos de mi Universidad, cada uno de ellos tuvo un importante papel en mi formación, en cada etapa de mi vida.

Los avatares de la vida me han llevado a ejercer la docencia y hoy puedo entender a mis maestros y la gran responsabilidad y el valor que hay que tener para dedicarse a la noble tarea de educar.

Debo agradecer también a mis maestros en materia de Seguridad y Salud Laboral, Médicos del Trabajo como Juan Pablo Sánchez Ribagorda, el me inculcó la importancia de la argumentación y el respeto por el método científico, a los Higienistas Maria Luisa Díaz, José Joaquín Moreno y Juan Guash Ferrat; a los técnicos de Seguridad Juan Flores, Pedro Pelegrin, Carlos Fernández, Joaquín Rodríguez, Paco Escaño y Pepe Cantó y a tantos profesores del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, que me enseñaron

todo lo que sé en materia de Seguridad y Salud Laboral; no quisiera dejar de nombrar a algunos con los que he continuado colaborando, como son: Manuel Bestraten, Emilio Castejón, Pedro Delgado, Álvaro Fernández de Castro, Jaime LLacuna , Francisco Márquez, Antonio Rodríguez de Prada y Juan Viguera, entre otros .

A mis compañeros del Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública que en los cursos de doctorado me enseñaron las bases de la investigación científica. Entre ellos me gustaría destacar a Francisco Córdoba, Rafael Torronteras, Francisco Navarro y a los compañeros de Área por su apoyo, Pepa Borrero, Carlos Caballero y Juan Alguacil, con el que he colaborado en algunas publicaciones, a él debo agradecerle la confianza que depositó en mí al encargarme tareas de investigación, como experto en higiene industrial.

He dejado para el final a mi Director de Tesis, el Profesor Carlos Ruiz Frutos, compañero y amigo, con el que llevo trabajando más de 20 años. De Carlos he aprendido muchas cosas, pero sobre todo yo destacaría una: la importancia de poner en valor nuestras fortalezas y enterrar en el rincón más recóndito de nuestra memoria, nuestras debilidades. “Sabernos vender”, que diría él. Gracias Carlos por tu magisterio.

Y a todos mis maestros y maestras, de corazón, gracias.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Distribución de refinerías Sudamericanas según tamaño.	28
Tabla 2	Gravedad API y Niveles de Azufre de algunos tipos de petróleo.	30
Tabla 3	Promedio de rendimiento de un barril de crudo.	39
Tabla 4	Tipos de Neurotoxicidad por disolventes orgánicos.	52
Tabla 5	Datos relativos a los efectos Carcinogénicos, Genotóxicos y Mutagénicos de algunos HAP's (Mastandrea C. et al, 2005).	54
Tabla 6	Trabajadores Expuestos a Benceno, Tolueno y Xileno y Respuesta Inmune	57
Tabla 7	Caracterización de exposición ocupacional a benceno	60
Tabla 8	GESTIS Benzene International Limit Values -2015	63
Tabla 9	Método NIOSH 1501–Método INSHT. MTA/MA- 30/A92	66
Tabla 10	Condiciones del método analítico NIOSH 8301	72
Tabla 11	Información aportada por los diferentes biomarcadores de exposición a los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) y sus derivados	74
Tabla 12	Valores Límites Ambientales para BTX's, según Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2015	85
Tabla 13	Valores Límites Ambientales en el año 2010 de los contaminantes más frecuentes en una Refinería de petróleo	87
Tabla 14	Valores Límite Biológicos (VLB's) para BTX's según tabla de Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, (INSHT) para el año 2015.	91
Tabla 15	Grupos Homogéneos de Exposición Laboral en la Refinería 1	101
Tabla 16	Grupos Homogéneos de Exposición Laboral en la Refinería 2	102
Tabla 17	Grupos Homogéneos de Exposición Laboral en la Refinería 3	102
Tabla 18	Puestos de trabajo por Planta, Área o Servicio en la Refinería 1	103
Tabla 19	Puestos de trabajo por Planta, Área o Servicio en la Refinería 2	105
Tabla 20	Puestos de trabajo por Planta, Área o Servicio en la Refinería 3	106
Tabla 21	Puestos de Trabajo por Refinería.	106
Tabla 22	Afijación proporcional de la muestra por Grupos Homogéneos, de Exposición (GHE), en la Refinería 1	108
Tabla 23	Afijación proporcional de la muestra por Grupos Homogéneos, de Exposición (GHE), en la Refinería 2	108
Tabla 24	Afijación proporcional de la muestra por Grupos Homogéneos, de Exposición (GHE), en la Refinería 3	109
Tabla 25	Rangos de medición de equipo para los distintos agentes químicos	112
Tabla 26	Programa de muestreo inicial de cribado (screening). Refinería 1	119
Tabla 27	Programa de muestreo inicial de cribado (screening). Refinería 2	120
Tabla 28	Programa de muestreo inicial de cribado (screening). Refinería 3	121
Tabla 29	Tipos de muestreo de una Jornada de Trabajo.	126
Tabla 30	Número de trabajadores a muestrear pertenecientes a un GHE	136
Tabla 31	Método del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (INSHT). MTA/MA- 30/A92	137
Tabla 32	Límites de detección de los métodos de toma de muestras.	138
Tabla 33	Gradiente de elusión de los analitos.	140

Tabla 34	Valores de excitación y emisión.	141
Tabla 35	Tiempos de retención	141
Tabla 36	Límites de detección para el método de determinación de los BTX's	143
Tabla 37	Programa de Temperaturas del Horno	144
Tabla 38	Distribución por género en la Población (N) y en la muestra (n)	163
Tabla 39	Distribución por grupos de edad en la Población (N) y en la muestra (n)	164
Tabla 40	Distribución de la población y de la muestra, por Refinerías	165
Tabla 41	Distribución por antigüedad en el Puesto de Trabajo.	165
Tabla 42	Hidrocarburos aromáticos Policíclicos (HAP's)	169
Tabla 43	Resultado de las Mediciones del screening inicial en la Refinería 1	170
Tabla 44	Resultado de las Mediciones del screening inicial en la Refinería 2	175
Tabla 45	Resultado de las Mediciones del screening inicial en la Refinería 3	178
Tabla 46	Categorización de los Índices de Exposición	180
Tabla 47	Exposición a Benceno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 1	180
Tabla 48	Exposición a Benceno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 2	181
Tabla 49	Exposición a Benceno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 3	182
Tabla 50	Exposición a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 1	183
Tabla 51	Exposición a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 2	183
Tabla 52	Exposición a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 3	184
Tabla 53	Exposición a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición GHE de la Refinería 1	184
Tabla 54	Exposición a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 2	185
Tabla 55	Exposición a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 3	185
Tabla 56	Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 1	186
Tabla 57	Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 2	188
Tabla 58	Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 3.	189
Tabla 59	Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 1	190
Tabla 60	Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 2	191
Tabla 61	Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 3	191
Tabla 62	Exposición Diaria (ED) a Benceno, en los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 1 (GHE-1)	194

Tabla 63	Exposición diaria a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 2, (GHE-2)	194
Tabla 64	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 3, (GHE-3)	195
Tabla 65	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 4 (GHE-4).	196
Tabla 66	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 5, (GHE-5).	196
Tabla 67	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 6, (GHE-6).	197
Tabla 68	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 7, (GHE-7).	197
Tabla 69	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 8, (GHE-8).	198
Tabla 70	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 9, (GHE-9).	199
Tabla 71	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 10, (GHE-10).	200
Tabla 72	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 11, (GHE-11)	201
Tabla 73	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 12, (GHE-12).	201
Tabla 74	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 13, (GHE-13)	202
Tabla 75	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 14, (GHE-14).	203
Tabla 76	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 15, (GHE-15).	203
Tabla 77	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 16, (GHE-16).	204
Tabla 78	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 17, (GHE-17).	204
Tabla 79	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 19, (GHE-19)	205
Tabla 80	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 20, (GHE-20).	205
Tabla 81	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 21, (GHE-21).	206
Tabla 82	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 23, (GHE-23).	207
Tabla 83	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 26, (GHE-26).	208
Tabla 84	Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 27, (GHE-27).	208
Tabla 85	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 1, (GHE-1).	209

Tabla 86	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 3, (GHE-3)	210
Tabla 87	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 4, (GHE-4).	211
Tabla 88	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 5, (GHE-5).	211
Tabla 89	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 6, (GH -6).	212
Tabla 90	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 7, (GHE-7).	212
Tabla 91	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 8, (GHE-8).	213
Tabla 92	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 10, (GHE-10).	213
Tabla 93	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 11, (GHE-11).	214
Tabla 94	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 13, (GHE-13).	215
Tabla 95	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 15, (GHE-15).	215
Tabla 96	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 17, (GHE-17).	216
Tabla 97	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 18, (GHE-18).	217
Tabla 98	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 19, (GHE-19).	217
Tabla 99	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 20, (GHE-20).	218
Tabla 100	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 23, (GHE- 23).	218
Tabla 101	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 24, (GHE-24).	219
Tabla 102	Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 26, (GHE-26).	220
Tabla 103	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 1, (GHE-1).	221
Tabla 104	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 2, (GHE-2).	222
Tabla 105	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 3, (GHE-3).	222
Tabla 106	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 4, (GHE-4).	223
Tabla 107	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 7, (GHE-7).	224
Tabla 108	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 8, (GHE-8).	224
Tabla 109	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 9, (GHE-9).	225

Tabla 110	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 11, (GHE-11)	226
Tabla 111	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 12, (GHE-12)	226
Tabla 112	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 13, (GHE-13).	227
Tabla 113	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 15, (GHE-15).	228
Tabla 114	Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 20, (GHE-20).	229
Tabla 115	Correlación entre Exposición Ambiental y Biológica a Benceno	230
Tabla 116	Correlación entre Exposición Ambiental y Biológica a Tolueno	231
Tabla 117	Correlación entre Exposición Ambiental y Biológica a Xileno	231

INDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
<i>Figura 1 Torre de destilación y subproductos que se obtienen del crudo</i>	31
<i>Figura 2 Esquema de una Unidad de destilación Atmosférica</i>	34
<i>Figura 3 Esquema de una Unidad de Vacío</i>	35
<i>Figura 4 Unidad de Hidrotratamiento de Naftas</i>	36
<i>Figura 5 Esquema del proceso de Craqueo Catalítico (FCC)</i>	38
<i>Figura 6 Activación metabólica del 1-nitropireno y formación de aductos de ADN</i>	74
<i>Figura 7 Estructura química del ácido trans,trans-mucónico.</i>	78
<i>Figura 8 Metabolismo del Tolueno</i>	79
<i>Figura 9 Excreción del tolueno como ácido benzoico y ácido hipúrico</i>	80
<i>Figura 10 Rutas de biotransformación del xileno en el organismo</i>	81
<i>Figura 11 Detector simultáneo de gases Dräger X-am 7000.</i>	110
<i>Figura 12 Analizador de gases Dräger CMS, (para CO2 y Mercaptanos).</i>	111
<i>Figura 13 Monitor de gases MX 6 iBrid</i>	112
<i>Figura 14 Bomba de aspiración, muestreador Gillian 5000</i>	113
<i>Figura 15 Muestreador personal APEX- I.S.</i>	113
<i>Figura 16 Patrón primario de calibración "Defender"</i>	114
<i>Figura 17 Calibrador de campo TSI mod.4146</i>	114
<i>Figura 18 Calibrador de campo TSI, conectado una bomba para su calibrado.</i>	115
<i>Figura 19 Adaptador de bajo caudal, conexión a bomba Gillian 5000.</i>	116
<i>Figura 20 Portatubos para soporte del elemento de captación de la muestra.</i>	117
<i>Figura 21 Fotos del tren de muestreo utilizado en el monitoreo ambiental.</i>	117
<i>Figura 22 Tipos de muestreo de una jornada de trabajo.</i>	125
<i>Figura 23 Cromatogramas obtenidos para calibración y de una muestra.</i>	142
<i>Figura 24 Cromatogramas correspondientes al calibrado y a una muestra.</i>	144
<i>Figura 25 Sistema de bomba y detector</i>	147
<i>Figura 26 Inyector manual</i>	147
<i>Figura 27 Cuba para baño termoestable y programable.</i>	147
<i>Figura 28 Precolumna.</i>	148
<i>Figura 29 Columna para determinación de ácidos hipúricos.</i>	148
<i>Figura 30 Columna para determinación del ácido t,t-mucónico</i>	148
<i>Figura 31 Descongelación y homogeneizado de muestra de orina y toma de una parte alícuota para su filtrado.</i>	150
<i>Figura 32 Proceso de carga de la columna cromatográfica</i>	151

<i>Figura 33</i>	<i>Paso de la muestra por columna cromatográfica</i>	<i>151</i>
<i>Figura 34</i>	<i>Recogida de muestra y enrasado del matraz</i>	<i>152</i>
<i>Figura 35</i>	<i>Muestra lista para análisis cromatográfico</i>	<i>152</i>
<i>Figura 36</i>	<i>Trasvase de la muestra a un criotubo</i>	<i>154</i>
<i>Figura 37</i>	<i>Llenado de la jeringa</i>	<i>154</i>
<i>Figura 38</i>	<i>Eliminación de residuos</i>	<i>154</i>
<i>Figura 39</i>	<i>Manipulación de las muestras</i>	<i>155</i>
<i>Figura 40</i>	<i>Ubicación de eppendorf en la micrófuga y cerrado de la cubierta</i>	<i>155</i>
<i>Figura 41</i>	<i>Microfuga y detalle de su panel de mandos</i>	<i>156</i>
<i>Figura 42</i>	<i>Cargado de la jeringa y de la muestra en el inyector del HPLC</i>	<i>156</i>
<i>Figura 43</i>	<i>Baño seco</i>	<i>160</i>
<i>Figura 44</i>	<i>Espectrofotómetro</i>	<i>160</i>
<i>Figura 45</i>	<i>Distribución por género en la Población (N) y en la muestra</i>	<i>163</i>
<i>Figura 46</i>	<i>Distribución por grupos de edad en la Población y en la muestra.</i>	<i>164</i>
<i>Figura 47</i>	<i>Distribución por antigüedad en el puesto de trabajo, en la Población (N) y en la muestra (n).</i>	<i>166</i>
<i>Figura 48</i>	<i>Proporción de fumadores en la Población (N) y en la muestra (n)</i>	<i>166</i>
<i>Figura 49</i>	<i>Distribución porcentual del tamaño de los grupos en la población (N) y en la muestra (n) de la Refinería 1</i>	<i>167</i>
<i>Figura 50</i>	<i>Distribución porcentual del tamaño de los grupos en la población (N) y en la muestra (n) de la Refinería 2</i>	<i>168</i>
<i>Figura 51</i>	<i>Distribución porcentual del tamaño de los grupos en la población (N) y en la muestra (n) de la Refinería 3</i>	<i>168</i>
<i>Figura 52</i>	<i>Exposición a Benceno por GHE en la Refinería 1</i>	<i>181</i>
<i>Figura 53</i>	<i>Exposición a Benceno por GHE en la Refinería 2</i>	<i>182</i>
<i>Figura 54</i>	<i>Exposición a Xileno por GHE en la Refinería 1</i>	<i>185</i>
<i>Figura 55</i>	<i>Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería</i>	<i>187</i>
<i>Figura 56</i>	<i>Puntos de toma de muestras, en las que se libera el contaminante</i>	<i>187</i>
<i>Figura 57</i>	<i>Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 2</i>	<i>188</i>
<i>Figura 58</i>	<i>Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 3</i>	<i>189</i>
<i>Figura 59</i>	<i>Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 1</i>	<i>190</i>
<i>Figura 60</i>	<i>Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), la Refinería 3</i>	<i>192</i>

RESUMEN

El objetivo general del presente estudio plantea la caracterización de la exposición laboral diaria (ED) a Benceno, Tolueno y Xileno, de los distintos puestos de trabajo, en tres refinerías de la industria petroquímica de América del Sur. Para alcanzar el objetivo planteado, hemos realizado en primer lugar un programa de mediciones de cribado (screening) orientado a la identificación de los contaminantes presentes en la atmosfera del lugar de trabajo, a conocer el orden de magnitud de las concentraciones de dichos contaminantes y a localizar los focos de emisión (emisiones fugitivas).

Una vez conocidos los datos de las mediciones iniciales de screening, se procedió a diseñar una estrategia de monitoreo apropiada, para representar la exposición diaria de los trabajadores al Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's).

Para representar la exposición diaria de los trabajadores a estos tres contaminantes se utilizó la metodología que propone la Norma UNE-EN-689, *“Atmosferas en el Lugar de Trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos, para la comparación con los valores límite y estrategia de medición”*, que se basa en la selección de Grupos Homogéneos respecto de la exposición, tomando como unidad de estudio y análisis el grupo homogéneo, en lugar del puesto de trabajo.

En la fase de campo se realizó un monitoreo ambiental, mediante muestreadores activos (bombas de aspiración) para determinar la exposición diaria (ED), a benceno, tolueno y xileno, por puestos de trabajo y grupos homogéneos de exposición. Por otra parte, se determinaron los indicadores biológicos de exposición (IBE's), mediante controles biológicos, para el benceno, tolueno y xileno, tomando una muestra de fluido biológico (orina) a los trabajadores de la muestra (n= 403), al final del turno. Entre los objetivos planteados se contaba el de establecer si existía correlación entre las mediciones ambientales y los controles biológicos.

Entre los resultados encontrados, cabe destacar que en una de las tres refinerías, se superan los valores límite de exposición ambiental a Benceno en 5 de los puestos de trabajo; así mismo, se supera el valor límite biológico (VLB) establecido para el benceno en los índices biológicos obtenidos para las muestras en orina los trabajadores que ocupaban estos puestos de trabajo. Sin embargo, las exposiciones diarias a Tolueno y Xileno halladas en las tres refinerías presentaban niveles de concentración bajos o muy bajos, lo que fue ratificado por los indicadores biológicos de exposición, para estos dos contaminantes.

Las exposiciones de corta duración (como EC, o como TLV-STEEL) a Tolueno y Xileno, sin embargo, superan el valor límite establecido (VLA-EC = 100 ppm) en algunos Grupos Homogéneos (GHE), en las tres refinerías en estudio.

En algunos de los puestos de trabajo del área administrativa o técnica que no se encuentran dentro de las áreas o los grupos de exposición a benceno, se han encontrado resultados positivos en los biomarcadores de orina analizados (Índices biológicos de exposición a Benceno), si bien estos casos coinciden siempre con trabajadores fumadores activos.

Los valores de concentración ambiental de exposición diaria a benceno halladas en nuestro estudio (n= 403) se encuentran en el rango de 0,020-3,85 ppm, con una media de 0,43 ppm y una SD = 0,41; que son valores algo más elevados, aunque similares a los encontrados en otros estudios.

Este estudio confirma la correlación hallada por otros autores, entre las mediciones ambientales de exposición laboral a Benceno y las mediciones biológicas obtenidas de los índices biológicos de exposición obtenidos de las muestras de orina tomados a los trabajadores al final del turno.

Coincidimos con otros investigadores, como Mariella Carrieri, en su conclusión de que el monitoreo ambiental parece ser el mejor método de evaluar la exposición individual en condiciones de bajos niveles de concentración de benceno; aunque el monitoreo biológico sigue siendo un complemento útil, como medida de la evaluación de la exposición.

Palabras clave: *Carcterización de la exposición laboral, Evalaucion de la exposición, Exposición laboral a benceno, Monitoreo ambiental, Indices biológicos de exposición,*

ABSTRACT

The major purpose of this study raises the characterization of occupational exposure to benzene, toluene and xylene of different workplaces, in three refineries in the petrochemical industry in South America.

To achieve this objective, we made first a measurement program of screening aimed at the identification of contaminants in the atmosphere of the workplace, to know the order of magnitude of the concentrations of these pollutants and to locate emission sources (fugitive emissions).

Once we determined the data on initial screening measurements, we proceeded to design an appropriate monitoring strategy, to represent the daily exposure of workers to benzene, toluene and xylene (BTX's).

To represent the daily exposure of workers to these three pollutants, we used a methodology proposed by the UNE-EN-689, "*Workplace atmospheres. Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy*", which is based on the selection of homogeneous groups with respect to the exposure, taking as unit of study and analysis the homogeneous group instead of the workplace.

During the field phase, an environmental monitoring was conducted using active samplers (suction pumps) to determine the daily exposure (DE) to benzene, toluene and xylene, for workplaces and homogeneous exposure groups. Moreover, the biological indicators of exposure (BIE's) were determined by biological controls for benzene, toluene and xylene, taking a sample of workers biological fluid (urine) of the population sample (n = 403) at the end of shift. One of the objective was to establish whether there was a correlation between environmental measurements and biological controls.

Among the results, it must be underlined that in one of the three refineries, the limit values of environmental exposure to benzene are exceeded for 5 of the workplaces; likewise, the biological limit value (BLV) set for benzene in biological indexes obtained for urine samples of workers occupying these workplace is exceeded. However the daily exposure to toluene and xylene

found in the three refineries had levels of low or very low concentration, which was confirmed by the biological indicators of exposure for these two pollutants.

However, short-term exposures to toluene and xylene exceeds the limit value (VLA-EC = 100 ppm) in some Exposure Homogeneous Groups (EHG) in the three refineries in the study.

In some of the workplaces in the administrative area that are not located within the areas or benzene exposure groups, were found positive results for biomarkers in the analyzed urine (biological indexes of benzene exposure), still these cases always matched with active smoking workers.

The environmental concentration values for benzene exposure found in our study (n = 403) are in the range of 0.020 to 3.85 ppm, with an average of 0.43 ppm and an SD = 0.41; they are somewhat higher, although similar to those found in other studies.

This study confirms the correlation found by other authors, between environmental measurements of occupational exposure to benzene and biological measurements obtained from biological exposure indexes obtained from urine samples taken at the end of shift.

We agree with other researchers, in that the environmental monitoring seems to be the best method of assessing personal exposure in conditions of low concentration levels of benzene; although the biological monitoring remains a useful addition, as a measure of exposure assessment.

Keywords:

Exposure assessment, Benzene occupational exposure, Environmental monitoring, Biological exposure indexes, Occupational exposure characterization.

INDICE

	Página
1. Introducción, contexto, antecedentes y marco teórico	27
1.1. El proceso de refinado de petróleo	27
Características del petróleo crudo.	28
Variedades de crudo.	32
Destilación atmosférica y al vacío.	33
Hidrotratamiento.	36
Reformación de Nafta	37
Isomerización.	37
Desintegración Catalítica Fluida (FCC)	38
Endulzamiento y Recuperación de Azufre	39
1.2. Condiciones de trabajo en Refinerías de petróleo.	40
1.3. Agentes químicos presentes durante el refinado del petróleo	42
Emisiones al aire.	44
1.4. Fuentes de exposición a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's).	47
1.5. Efectos del Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) en la salud.	49
Efectos en el Sistema Nervioso.	50
Efectos neurotóxicos por exposición crónica.	52
Efectos cancerígenos, mutagénicos y genotóxicos de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	53
Manifestaciones hemato-inmunológicas por exposición laboral a Benceno, Tolueno y Xilenos (BTX's)	55
1.6. Estudios sobre caracterización de la exposición a Benceno, Tolueno y Xileno, en refinerías de petróleo.	59
1.7. La evaluación cuantitativa de la exposición laboral a Benceno, Tolueno y Xilenos, (BTX's).	61
a) Ambiental	61
Método MTA/MA030/A92	67
Método NIOSH 3700	67
Método NIOSH 1500	67
Método 3M Monitores pasivos	68

b) Biológica	68
METABOLITOS URINARIOS.	75
Evaluación	77
Valores Límite de Exposición Ambiental Americanos y Españoles.	82
Valores Límite de Exposición a BTX's.	83
VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS (VLB).	88
Interpretación de los resultados de los indicadores biológicos	90
Niveles de referencia en la exposición ocupacional a HAP's.	91
1.8. Exposición dérmica a Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's).	93
1.9 JUSTIFICACIÓN	97
2. OBJETIVOS.	99
2.1 Objetivo general.	99
2.2 Objetivos Específicos	99
3. METODOLOGÍA (Material y método).	101
3.1 Población y Muestra.	101
Determinación del tamaño muestral de la población para la toma de muestras de indicadores biológicos de exposición.	107
3.2 Criterios de inclusión y exclusión.	109
3.3 Material y Equipos de medición utilizados.	110
A) Equipos para el muestreo ambiental de screening.	110
3.3.1 Detector simultaneo de gases Dräger X-am 7000.	110
3.3.2 Analizador de gases Dräger CMS, (CO2 y Mercaptanos).	110
3.3.3 Monitor de gases MX 6 iBrid de Industrial Scientific	112
B) Equipos para el muestreo personal y determinación de las exposiciones diarias.	113
3.3.4 Bomba de aspiración Gilian 5000 para muestreo personal	113
3.3.5 Bomba de aspiración, muestreador personal APEX-I.S	113
3.3.6 Calibrador Primario, modelo Defender	114
3.3.7 Calibrador Primario de campo, modelo TSI 4146	114
3.3.8 Adaptador de bajo caudal PN 801961	116
3.3.9 Porta-tubos para captadores de muestras de carbón activo.	117

3.4	Estudio de screening y determinación cualitativa de contaminantes.	118
3.5	Medida y valoración del riesgo higiénico por exposición a Agentes Químicos. Evaluación detallada.	122
3.5.1	Evaluación de la Exposición Diaria (ED)	124
3.5.2	Determinación de la ED de una jornada	125
3.5.3	Evaluación de la Exposición de Corta Duración (EC)	129
3.5.4	Mediciones periódicas de la exposición.	132
3.6	ESTRATEGIA DE MUESTREO.	134
3.6.1	Número de trabajadores a muestrear por puesto de trabajo. Grupos Homogéneos de exposición (GHE).	134
3.6.2	Métodos cuantitativos para la evaluación ambiental a BTX's.	136
3.7	Determinación HAP`s. Método de captación en tubo adsorbente y análisis por cromatografía líquida de alta resolución con detección fluorimétrica (HPLC-F).	138
	Procedimiento de extracción	139
	La curva de calibración	139
	Condiciones cromatográficas	140
3.8	Determinación de BTX's. Método de captación en tubo adsorbente de carbón activo y análisis mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID)	143
	Procedimiento de extracción	143
	La curva de calibración	143
	Condiciones cromatográficas	144
3.9	Determinación de metabolitos del benceno.	145
3.10	Determinación de los metabolitos del Xileno y Tolueno.	146
	Productos químicos, solventes y disoluciones.	146
	Equipo cromatográfico	146
	Muestras de orina	149
3.11	Determinación de ácido t,t-mucónico en orina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).	150
	Condiciones cromatográficas	153
3.12	Determinación de ácido hipúrico y orto-metil-hipúrico en orina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)	153
	Condiciones cromatográficas	157

Determinación de creatinina en orina	157
Procedimiento	159
Análisis estadístico	160
3.13 Estimación de la correlación entre las mediciones ambientales y los indicadores biológicos.	160
4 RESULTADOS.	163
4.1 Características de la Población y de la muestra.	163
4.2 Resultados screening inicial.	169
4.3 Resultados de las mediciones ambientales, por Grupos Homogéneos de Exposición.	180
4.3.1 Contraste de la Exposición diaria (ED) con el valor Límite	180
4.3.2 Contraste de las Exposiciones de Corta Duración (EC) con el Valor Límite de referencia VLA-EC para el Tolueno y el Xileno.	186
4.4 Resultados de las mediciones ambientales y de los controles biológicos, por puestos de trabajo.	193
4.4.1 Resultados de las mediciones ambientales y controles biológicos para determinación de la Exposición Diaria (ED) a Benceno, por puestos de trabajo y Grupos Homogéneos de Exposición (GHE),	193
4.4.2 Resultados de las mediciones ambientales y controles biológicos para determinación de la Exposición Diaria (ED) a Tolueno, por puestos de trabajo y Grupos Homogéneos de Exposición GHE).	209
4.4.3 Resultados de las mediciones ambientales y controles biológicos para determinación de la Exposición Diaria (ED) a XILENO, por puestos de trabajo y Grupos Homogéneos de Exposición GHE).	221
4.5 Análisis de correlación entre los resultados de la medición ambiental y los resultados de las mediciones biológicas	230
5 DISCUSIÓN	233
5.1 Principales resultados obtenidos.	233
5.2 Resultados obtenidos en la fase inicial de screening.	233
5.3 Principales resultados obtenidos en la estimación de la Exposición Diaria (ED) y de corta duración (EC) por Grupos Homogéneos de exposición (GHE).	235

5.4	Principales resultados obtenidos en la estimación de la Exposición Diaria (ED) y de los Índices Biológicos (IBE), por Puestos de Trabajo.	236
5.5	Comparación con otros estudios	237
5.6	Ventajas.	237
5.7	Limitaciones	238
5.8	Recomendaciones	238
5.9	Líneas futuras de investigación	239
6	CONCLUSIONES	241
7	BIBLIOGRAFIA	243
8	ANEXOS	249
8.1.	Anexo 1.- Puestos de trabajo sin exposición a Benceno	251
8.2.	Anexo 2.- Puestos de trabajo sin exposición a Tolueno	253
8.3.	Anexo 3.- Puestos de trabajo sin exposición a Xileno.	257

1. INTRODUCCIÓN, CONTEXTO, ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

1.1. El proceso de refinado de petróleo.

Las refinerías son grandes plantas de producción, con sistemas de procesamiento complejos. En ellas se convierte el petróleo crudo y otros flujos de entrada en decenas de productos refinados, por ejemplo:

- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Gasolina
- Combustible pesado
- Queroseno (para iluminación y calefacción)
- Combustible diésel
- Aceites lubricantes y ceras
- Gasóleo de calefacción.
- Aceite combustible (para generación de energía eléctrica, combustible marino, calefacción industrial y urbana)
- Asfalto (para pavimentación y techado), etc.

Entre los subproductos mencionados, los combustibles para transporte son los de mayor valor, mientras que los aceites combustibles y el asfalto son los de menor valor.

Muchos productos refinados, como la gasolina, se producen en diferentes grados, para cumplir con diferentes especificaciones y estándares (por ejemplo, índices de octano o contenido de azufre).

En la actualidad, existen más de 660 refinerías en 116 países, que producen más de 85 millones de barriles de productos refinados por día; de las cuales, Sudamérica cuenta con un total de 80 refinerías, como podemos ver en la tabla 1. Cada refinería tiene una estructura física particular, así como determinadas características operativas singulares.

Tabla 1.-Distribución de refinerías Sudamericanas según tamaño

Categoría	Capacidad (1.000 b / d)	Numero de Refinerías	TOTAL (%)
1	> 200	7	9%
2	150 - 200	7	9%
3	100 - 150	8	10%
4	50 - 100	13	16%
5	< 50	45	56%
	TOTAL	80	100%

Elaboración propia

En nuestro estudio se han incluido tres refinerías del área andina, una de categoría 3, (de 35 años de antigüedad), y dos de categoría 5.

En las refinerías del mundo, se procesan, en mayor o menor volumen, cientos de tipos diferentes de crudos (identificados generalmente por su origen geográfico).

Cada tipo de crudo es único y es una mezcla compleja de miles de componentes. La mayoría de los componentes presentes en el petróleo crudo son hidrocarburos (componentes orgánicos compuestos por átomos de hidrógeno y carbono). Asimismo, se pueden encontrar no sólo carbono e hidrógeno, sino también pequeñas (pero importantes) cantidades de otros elementos, en particular azufre, nitrógeno y ciertos metales (por ejemplo, níquel, vanadio, etc.). El petróleo crudo está compuesto por la molécula de hidrocarburo más pequeña y simple – CH₄ (metano) – hasta las moléculas más grandes y complejas que contienen 50 o más átomos de carbono (además de hidrógeno y hetero-elementos).

Características del petróleo crudo: La valoración de los costos de refinación del petróleo crudo requiere una descripción completa del crudo y sus componentes, incluida la calificación de sus propiedades. Sin embargo, existen dos propiedades que son especialmente útiles para clasificar y comparar rápidamente los petróleos crudos: la gravedad API (medida de densidad) y el contenido de azufre.

La densidad de un crudo indica qué tan liviano o pesado es en su totalidad.

En la industria de refinación, la densidad de un crudo se expresa generalmente en términos de gravedad API, un parámetro de medición de unidades en grados ($^{\circ}$ API), por ejemplo, 35° API. La gravedad API varía en forma inversa a la densidad (es decir, cuánto más liviano es el material, más alta es la gravedad API). Por definición, el agua tiene una gravedad API de 10° .

Entre los hetero-elementos presentes en el petróleo crudo, el azufre es el que más afecta el proceso de refinación.

- Los niveles suficientemente altos de azufre en el flujo de refinación pueden desactivar ("contaminar") los catalizadores que aceleran las reacciones químicas deseadas en ciertos procesos de refinación, provocar la corrosión en el equipo de refinería, y generar la emisión a la atmósfera de compuestos de azufre, que no son agradables y pueden estar sujetos a estrictos controles reglamentarios.
- El azufre de los combustibles para vehículos automotores ocasiona la emisión de compuestos de azufre indeseables e interfiere con los sistemas de control de emisiones de este tipo que están destinados a regular las emisiones perjudiciales, como los compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y particulados.

Consecuentemente, las refinerías deben tener la capacidad de extraer el azufre del crudo y los flujos de refinación en la medida que sea necesario para atenuar estos efectos no deseados. Cuánto más alto sea el contenido de azufre del crudo, más alto es el grado de control de azufre que se necesita y el costo que insume este procedimiento.

El petróleo crudo no es directamente utilizable, salvo a veces como combustible. Para obtener sus diversos subproductos es necesario refinarlo, de donde resultan, por centenares, los productos acabados y las materias químicas más diversas. El petróleo crudo es una mezcla de diversas sustancias, las cuales tienen diferentes puntos de ebullición. Su separación se logra mediante el proceso llamado "destilación fraccionada". Esta función está destinada a las "refinerías", factorías de transformación y sector clave por definición de la industria petrolífera, bisagra que articula la actividad primaria y extractiva con la actividad terciaria.

Tabla 2.- Gravedad °API y Niveles de Azufre de algunos tipos de petróleo crudo.

Petróleo Crudo	Lugar de origen	Clase de crudo	Propiedades	
			Gravedad (°API)	Azufre (%en peso)
Brent	Inglaterra (U.K.)	Light Sweet (ligero dulce)	40,0	0,5
West Texas Intermediate	U.S.A.		39,8	0,3
Arabian Extra Lt. Export	Arabia Saudí	Light Sour (ligero agrio)	38,1	1,1
Daqing	China	Medium	33,0	0,1
Forcados Export	Nigeria	Medium Sour	29,5	0,2
Arabian Light Export	Arabia Saudí	Medium Sour (medio agrio)	34,0	1,9
Kuwait Export Blend	Kuwait		30,9	2,5
Marlim Export	Brasil	Heavy Sweet (pesado dulce)	20,1	0,7
Cano Limón	Colombia		25,2	0,9
Oriente Export	Ecuador	Heavy Sour (pesado agrio)	25,0	1,4
Maya Heavy export	México		21,3	3,4

Tomado del "International Council on Clean Transportation", disponible en: http://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf

El término de refino, nos fue heredado en el siglo XIX, cuando se contentaban con refinar el petróleo para lámparas, se reviste hoy de tres operaciones:

1. La separación de los productos petrolíferos unos de otros, y sobre la destilación del crudo ("topping").
2. La depuración de los productos petrolíferos unos de otros, sobretodo su desulfuración.
3. La síntesis de hidrocarburos nobles mediante combinaciones nuevas de átomos de carbono y de hidrógeno, su deshidrogenación, su isomerización o su ciclado, obtenidos bajo el efecto conjugado de la temperatura, la presión y catalizadores apropiados.

En un principio, el refino se practicaba directamente en los lugares de producción del petróleo, pero pronto se advirtió que era más económico transportar masivamente el crudo hasta las zonas de gran consumo y construir refinerías en los países industrializados, adaptando su concepción y su programa a las necesidades de cada país.

El petróleo crudo es depositado en los tanques de almacenamiento, en donde permanece por varios días para sedimentar y drenar el agua que normalmente contiene. Posteriormente es mezclado con otros crudos sin agua y es bombeado hacia la planta para su refinación.

Una refinería comprende una central termoeléctrica, torres de fraccionamiento, plantas de craqueo catalítico, plantas de desulfuración, de recuperación de azufre, un parque de reservas para almacenamiento, bombas para expedición por tubería, un parque para vagones cisterna, una estación para vehículos de carretera para la carga de camiones cisterna. Es, por tanto, una fábrica compleja que funciona 24 horas diarias con equipos de técnicos que controlan por turno todos los datos.



Figura 1.- Torre de destilación y subproductos que se obtienen del crudo
Fuente: www.cepsa.com

En la industria de transformación del petróleo, la destilación es un proceso fundamental, pues permite hacer una separación de los hidrocarburos aprovechando sus diferentes puntos de ebullición, que es la temperatura a la cual hierve una sustancia.

El petróleo crudo, una vez en la refinería, es almacenado en depósitos de gran tamaño, separando generalmente los crudos en función de su contenido en azufre, al igual que en los procesos de tratamiento. En función de la demanda del mercado en un momento dado se trata primero el crudo de bajo contenido en azufre, antes de pasar a tratar el crudo de alto contenido en azufre para evitar la contaminación de los productos salidos de cada tipo de crudo. En el caso inverso, los productos provenientes del tratamiento del crudo de bajo

contenido en azufre son dirigidos en caso necesario hacia depósitos de almacenamiento de productos de alto contenido en azufre durante algunas horas, para ser tratados de nuevo más tarde.

Variedades de crudo.

Cada yacimiento de petróleo está constituido por una mezcla de hidrocarburos diferentes, formados por la asociación de átomos de carbono e hidrógeno, cuyo origen todavía no está claramente establecido; a esta mezcla se agregan cantidades variables de sustancias que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno: de los más de 1.500 campos petrolíferos conocidos, no se han encontrado aún dos crudos exactamente iguales.

Según la predominación de uno de los compuestos característicos, se pueden clasificar los petróleos en:

- Crudos parafínicos, presentan una proporción elevada de hidrocarburos tipo C_nH_{n+2} particularmente parafinas y ceras naturales (Pennsylvania, Libia);
- Crudos nafténicos, con una cantidad más grande de naftenos, hidrocarburos de la serie anulares o cíclicos (Venezuela);
- Crudos aromáticos, en los que se encuentran hidrocarburos bencénicos C_nH_{2n-6} (Borneo);
- Crudos sulfurados, que contienen sulfuro de hidrógeno y mercaptanos formados por la fijación de azufre sobre un hidrocarburo (Oriente Medio);
- Crudos particulares, como los crudos bituminosos, que son los crudos de muy bajo contenido en azufre, y los crudos polucionados por ácidos, metales (vanadio, níquel, arsénico), sales, agua salada, etc.

Fuente: Portal Averroes de Educación. Junta de Andalucía. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~41602326/proyectos/ENERGIA/PETR%D3LEO.htm>

Clasificación del petróleo según su gravedad API

Relacionándolo con su gravedad API el *American Petroleum Institute* clasifica el petróleo en "liviano", "mediano", "pesado" y "extrapesado":

- Crudo liviano o ligero: tiene gravedades API mayores a 31,1 °API
- Crudo medio o mediano: tiene gravedades API entre 22,3 y 31,1 °API.
- Crudo pesado: tiene gravedades API entre 10 y 22,3 °API.
- Crudo extra pesado: gravedades API menores a 10 °API.

Fuente: American Petroleum Institute

Tomado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Petr%C3%B3leo>

Destilación Atmosférica y al Vacío

Este es el primer proceso que aparece en una refinería. El petróleo que se recibe por ductos desde las instalaciones de producción, se almacena en tanques cilíndricos de gran tamaño, de donde se bombea a las instalaciones de este proceso. El petróleo se calienta en equipos especiales y pasa a una columna de destilación que opera a presión atmosférica en la que, aprovechando la diferente volatilidad de los componentes, se logra una separación en diversas fracciones que incluyen gas de refinería, gas licuado de petróleo (LPG), nafta, queroseno (kerosene), gasóleo, y un residuo que corresponde a los compuestos más pesados que no llegaron a evaporarse.

Básicamente el proceso consiste en vaporizar los hidrocarburos del crudo y luego condensarlos en cortes definidos, modificando fundamentalmente la temperatura, a lo largo de la columna fraccionadora.

La vaporización o fase vapor se produce en el horno y zona de carga de la columna fraccionadora. En el Horno se transfiere la energía térmica necesaria para producir el cambio de fase y en la Zona de Carga se disminuye la presión del sistema, produciéndose el flash de la carga, obteniéndose la vaporización definitiva

UNIDAD DE DESTILACION ATMOSFERICA - TOPPING

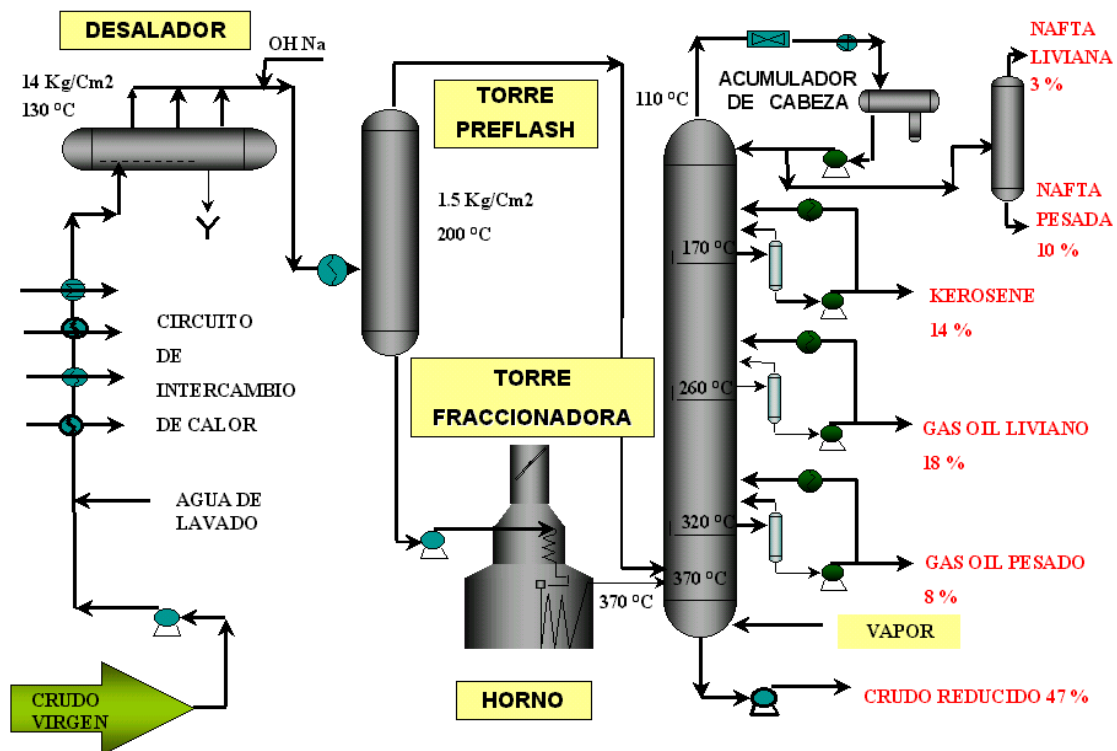


Figura 2.- Esquema de una Unidad de destilación Atmosférica

Fuente: Repsol YPF. Tomado de <http://gustato.com/petroleo/destilacion.html>

En una segunda columna de destilación que opera a condiciones de vacío, se logra la vaporización adicional de un producto que se denomina gasóleo de vacío, y se utiliza como materia prima en otros procesos que forman parte de las refinerías para lograr la conversión de este producto pesado en otros ligeros de mayor valor. En este proceso, el petróleo se separa en fracciones que después de procesamientos adicionales, darán origen a los productos principales que se venden en el mercado: el gas LP (comúnmente utilizado en las estufas domésticas), gasolina para los automóviles, turbosina para los aviones jet, diésel para los vehículos pesados y combustóleo para el calentamiento en las operaciones industriales. Pero estos productos tienen que cumplir con una serie de especificaciones que aseguren su comportamiento satisfactorio.

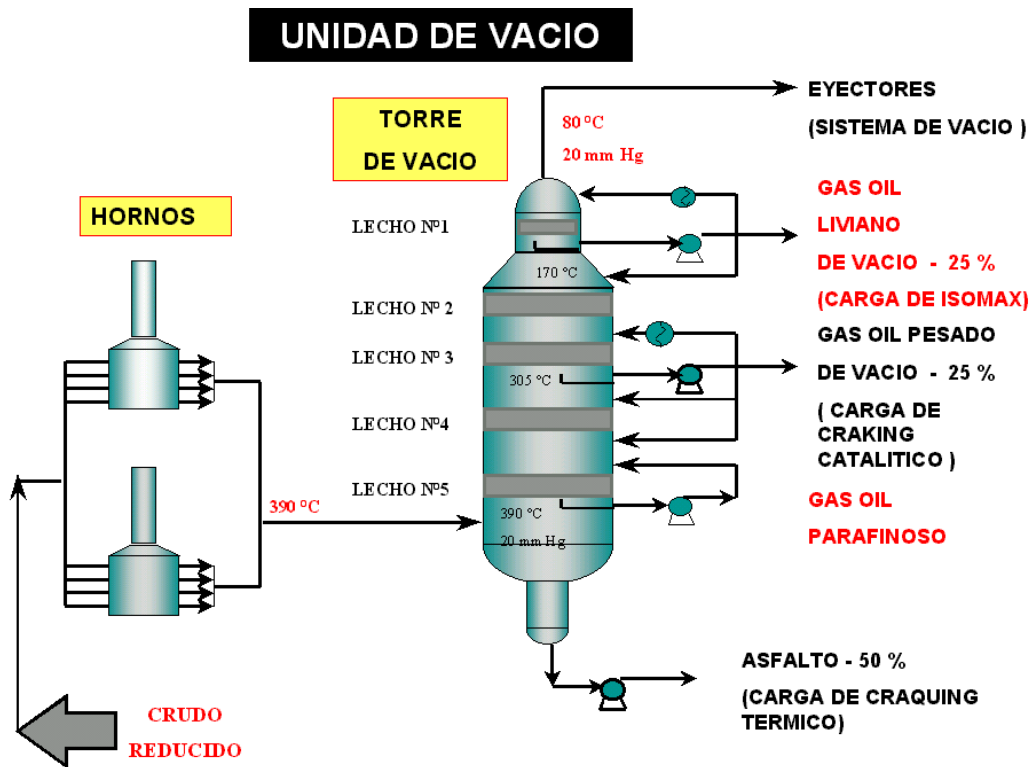


Figura 3.- esquema de una Unidad de Vacío

Fuente: Repsol YPF. Tomado de <http://gustato.com/petroleo/destilacion.html>

Originalmente, las especificaciones tuvieron un enfoque eminentemente técnico, como el número de octano de la gasolina, o el de cetano del diésel, o el punto de humo del queroseno, o la viscosidad del combustóleo; actualmente, las consideraciones de protección ambiental han incorporado muchos más requerimientos, limitándose, por ejemplo en la gasolina, el contenido del azufre (este compuesto al quemarse, produce dióxido de azufre que al pasar a la atmósfera se oxida, y con el agua da origen a la lluvia ácida), el benceno (que es un hidrocarburo que tiene carácter cancerígeno), las olefinas y los aromáticos (que son familias de hidrocarburos altamente reactivas en la atmósfera, promotoras de la formación de ozono); la presión de vapor (que debe limitarse para reducir las emisiones evaporativas en los automóviles y gasolineras), e inclusive se requiere la presencia de compuestos oxigenados que no ocurren naturalmente en el petróleo (estos compuestos favorecen la combustión completa en los motores automotrices).

Además de la destilación atmosférica y al vacío, los procesos de refinación más importantes son los siguientes:

Hidrotratamiento.

En forma generalizada, en los combustibles de hoy día se reducen los compuestos de azufre, para evitar daños ambientales por lluvia ácida. Al proceso que se utiliza para este propósito y al cual se someten las diferentes fracciones que se obtienen en la destilación atmosférica y al vacío se le denomina hidrotratamiento o hidrosulfuración, por estar basado en el uso de hidrógeno que reacciona con los compuestos de azufre presentes en los hidrocarburos para formar ácido sulfhídrico; en un procesamiento posterior, este compuesto se convierte en azufre elemental sólido que tiene una importante aplicación industrial. En el proceso ocurren reacciones adicionales que permiten complementar el tratamiento al eliminar también compuestos nitrogenados, convertir las olefinas en compuestos saturados y reducir el contenido de aromáticos. El hidrotratamiento requiere de altas presiones y temperaturas, y la conversión se realiza en un reactor químico con catalizador sólido constituido por γ -alúmina impregnada con molibdeno, níquel y cobalto.

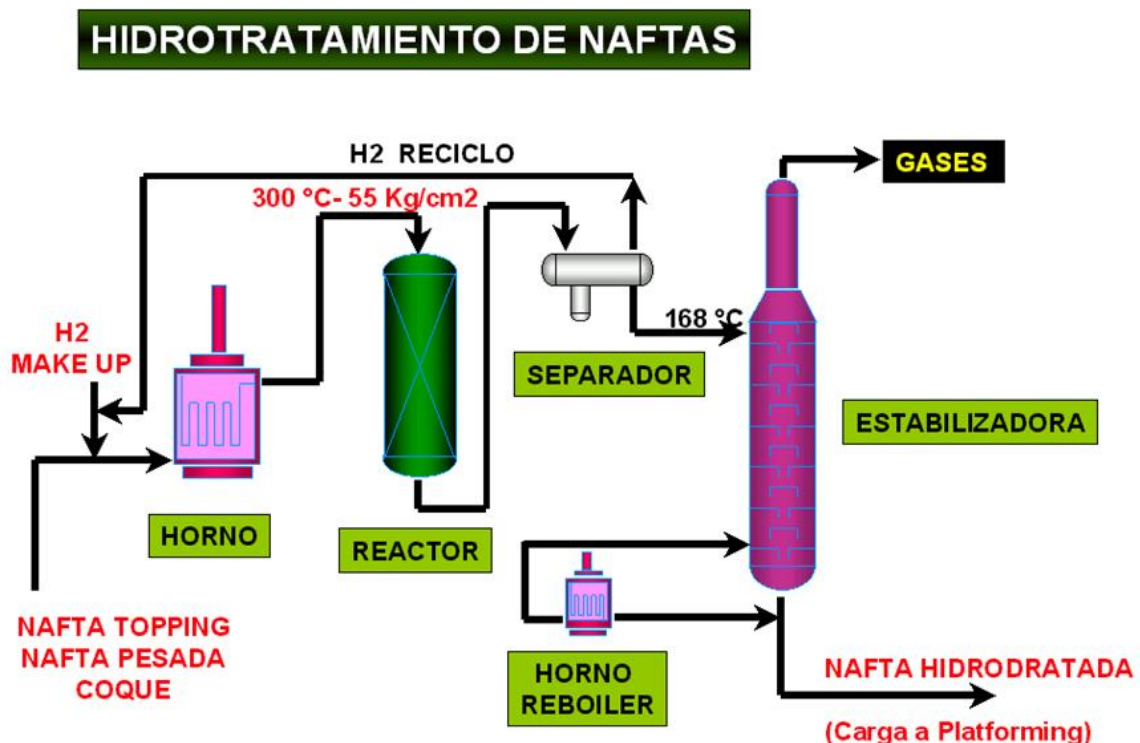


Figura 4.- Unidad de Hidrotratamiento de Naftas

Fuente Repsol YPF. Tomado de: <http://gustato.com/petroleo/hidrotratamiento.html>

Reformación de Nafta

Los cortes de nafta que se obtienen por destilación directa de cualquier tipo de petróleo presentan un número de octano muy bajo (45 a 55), y serían inaplicables para la gasolina que requieren los automóviles modernos (octanajes de 80 a 100). Es necesario entonces modificar la estructura química de los compuestos que integran las naftas, y para ello se utiliza el proceso de reformación en el que a condiciones de presión moderada y alta temperatura, se promueven reacciones catalíticas conducentes a la generación de compuestos de mayor octano como son los aromáticos y las isoparafinas. Simultáneamente, en las reacciones se produce hidrógeno, que se utiliza en la misma refinería en los procesos de hidrotreatmento. Las reacciones son promovidas por catalizadores basados en γ -alúmina como soporte de metales activos (platino-renio o platino-estaño).

Isomerización

Los isómeros son moléculas que tienen el mismo tipo y cantidad de átomos, pero con diferente estructura en su conformación. En el caso particular de las parafinas, que son hidrocarburos constituidos por cadenas de átomos de carbono asociados a hidrógeno, se tienen para una misma fórmula general ($C_nH_{(2n+2)}$) una gran variedad de estructuras; cuando la cadena de átomos de carbono es lineal, el compuesto se denomina parafina normal, y si la cadena es ramificada, el compuesto es una isoparafina.

En el grupo de parafinas que forman parte de las gasolinas, las isoparafinas tienen número de octano superior a las parafinas normales, de tal manera que, para mejorar la calidad del producto, se utiliza un proceso en el que las parafinas normales se convierten en isoparafinas a través de reacciones de isomerización.

La práctica es separar por destilación la corriente de nafta en dos corte: ligero y pesado; con el ligero, que corresponde a moléculas de cinco y seis átomos de carbono, se alimenta el proceso de isomerización, mientras que el pesado, con moléculas de siete a once átomos de carbono, es la carga al proceso de reformación antes descrito. Las reacciones de isomerización son promovidas por catalizador de platino soportado en γ -alúmina.

Desintegración Catalítica Fluida (FCC)

Este es un proceso de conversión de hidrocarburos pesados presentes en los gasóleos de vacío, que permite producir gasolina, y en consecuencia aumentar el rendimiento de este combustible en las refinerías, disminuyendo la producción de residuales.

El proceso FCC se basa en la descomposición o rompimiento de moléculas de alto peso molecular; esta reacción se promueve por un catalizador sólido con base en zeolitas en presentación pulverizada, que se incorpora a los hidrocarburos de carga en un reactor de tipo tubular con flujo ascendente. A la salida del reactor, el catalizador se separa de los productos de reacción a través de ciclones, y el coque que se genera y adhiere al mismo por las altas temperaturas de reacción, se quema en un equipo especial antes de recircularse al reactor; la energía liberada en el quemado sirve para dar parte del calentamiento de la corriente de carga.

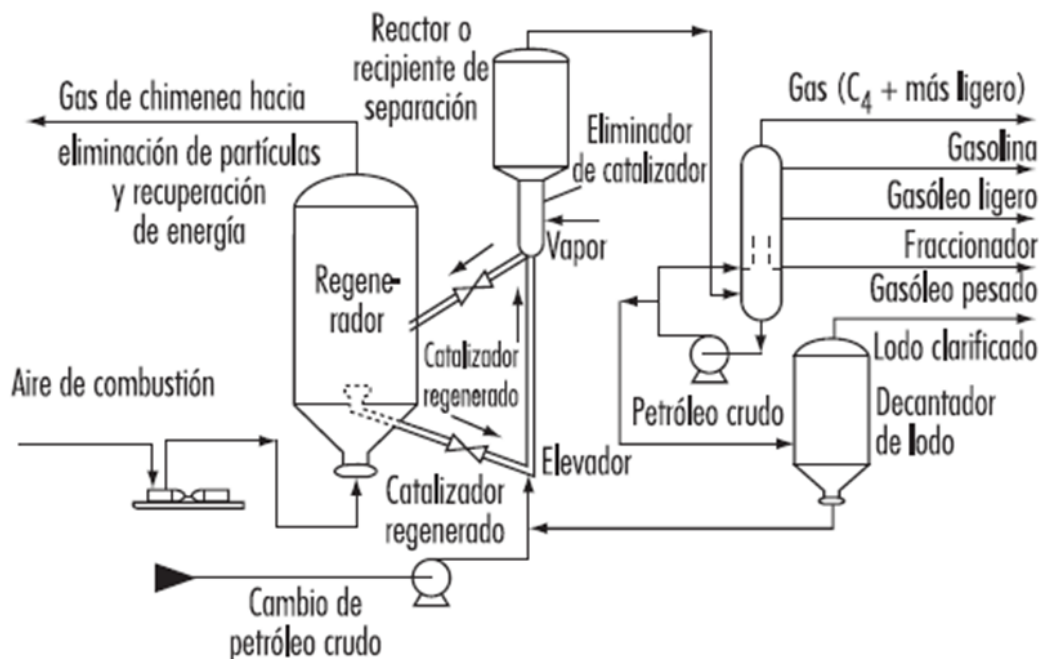


Figura 5.- Esquema del proceso de Craqueo Catalítico (FCC)

Fuente OSHA 1996

En el proceso se producen, además de gasolina, productos más ligeros como gas seco (metano y etano) y fracciones de 3 a 5 átomos de carbono, de carácter olefínico, que se utilizan como materia prima en la producción de

éteres y gasolina alquilada en procesos subsecuentes de la refinería. También se genera un producto pesado rico en aromáticos, conocido como aceite cíclico ligero, que se procesa en las hidrotratadoras de la fracción diésel, y otro denominado aceite decantado que se incorpora al combustóleo.

Endulzamiento y Recuperación de Azufre

La eliminación del ácido sulfhídrico (H₂S) que acompaña al gas que se separa en la destilación atmosférica, y que está sobre todo presente en el gas resultante de los procesos de hidrotratamiento, es indispensable para evitar emisiones de azufre durante el quemado de dicho producto como combustible de la propia refinería.

La separación del H₂S de los gases se realiza en un proceso que se denomina de endulzamiento, basado en la absorción en soluciones acuosas de aminas; la solución rica en sulfhídrico se regenera por agotamiento con vapor para recircularse a la absorción, y el H₂S separado se procesa en unidades donde primeramente se realiza una combustión parcial del mismo para generar una proporción adecuada de H₂S y SO₂, que enseguida se hacen reaccionar catalíticamente para generar azufre elemental.

Tabla 3 Promedio de rendimiento de un barril de crudo

TIPO PRODUCTOS	Producto final	Rendimiento %	Rendimiento en Litros ¹
Productos Livianos Denominados así por su menor densidad y su alta volatilidad	Gas Licuado (LPG)	Del 1% al 3%	2,00 litros
	Gasolinas	21%	33,0 litros
	Diésel	22%	35,0 litros
	Queroseno (kerosene)	8%	13,0 litros
Productos Pesados	Diésel marino	8%	13,0 litros
	Combustóleo bunker	40%	64,0 litros

Tomado de: <http://www.monografias.com/trabajos5/petroleo/petroleo2.shtml>

¹ Considerando que un barril de crudo equivale, aproximadamente, a 160 Litros.

1.2. Condiciones de trabajo en refinerías de petróleo.

Mientras que las antiguas refinerías ocupaban a centenares y a veces a millares de obreros en tareas manuales, sucias e insalubres, las más modernas están dotadas en la actualidad de automatismos generalizados para el control y la conducción de los procesos y no exigen más que un efectivo reducido de algunas personas.

No obstante, en los últimos años y como consecuencia de la crisis mundial, las refinerías en general y las de América latina, en particular, presentan un estado de obsolescencia de las infraestructuras, máquinas, equipos y tecnologías motivada principalmente por la falta de mantenimiento y por un insuficiente desempeño de sus funciones en comparación con las nuevas máquinas, equipos y tecnologías introducidos en el mercado. Ello, unido al riesgo intrínseco de las propias refinerías y al incremento de las emisiones fugitivas que conlleva este hecho, hace que esta actividad se encuentre entre las de mayor riesgo del sector industrial en América latina.

Por otra parte, las refinerías de petróleo son procesos industriales continuos que requieren de una organización del trabajo a turnos para cubrir las 24 horas del día y los 365 días del año en producción continuada.

Los riesgos de accidente están presentes en numerosos puestos de trabajo y tareas y los podemos resumir en caídas al mismo nivel, caídas a distinto nivel, golpes contra objetos fijos, contacto con superficies calientes, (quemaduras), sobreesfuerzos, etc.

Sin embargo, entre los riesgos más importantes que podemos identificar en un análisis de riesgos laborales de una refinería de petróleo, se encuentran sin duda los riesgos de incendio y explosión de las instalaciones, como riesgo más característico grave y singular, debido al elevado rango de inflamabilidad de algunos de los productos de refino (gasolinas, naftas, etc..).

La ototoxicidad de algunos disolventes como el Tolueno y el Xileno, unido a los elevados niveles de ruido que se dan en algunas áreas de refinería, hacen que la exposición a ruido sea uno de los riesgos relevantes en este sector. En algunas zonas de refinería como pueden ser la planta de sopladoras, se han registrado valores de entre 95 y 105 dB (A).

Los disolventes orgánicos como el xileno, tolueno, estireno, tricloroetileno y n-hexano y sus mezclas, se utilizan habitualmente en las industrias, y tienen efectos perjudiciales tanto en las partes periféricas y centrales de la vía auditiva, así como en el sistema vestibular (equilibrio). Algunos de estos productos químicos se han demostrado ser ototóxicos incluso dentro de los límites de exposición recomendados. Comúnmente, se encuentran combinaciones de sustancias químicas y de ruido en la industria que pueden inducir la exacerbación de la deficiencia auditiva en comparación con los efectos que puede producir la exposición exclusiva a ruido, (Sliwinska-Kowalska M., 2011).

La exposición a ambientes térmicos calurosos, que en determinadas zonas y localizaciones geográficas puede llegar a derivar en estrés térmico, constituye otro de los riesgos significativos de las industrias petroquímicas.

Existen también en refinería numerosos factores de riesgo de naturaleza ergonómica, asociados a tareas de mantenimiento y manipulación de equipos (apertura y cierre de válvulas, por ejemplo) que provocan distintos tipos de microtraumatismos repetitivos en los trabajadores expuestos y que se derivan principalmente del manejo de herramientas con giros de muñeca y torsión del antebrazo.

La turnicidad y nocturnidad han sido ampliamente estudiadas como un factor de riesgo determinante en distintas alteraciones del sueño y trastornos de distinto tipo, incluidos los digestivos, cardiocirculatorios, metabólicos y endocrinológicos; incluso en estudios recientes se ha descrito la influencia del trabajo por turnos en las funciones cognitivas y el estrés oxidativo. (Özdemir PG, Selvi Y, Özkol H, Aydın A, Tülüce Y, Boysan M, et al., 2013)

Sin embargo, entre los riesgos más significativos y prevalentes que podemos encontrar en una refinería se encuentra la exposición a sustancias químicas de distinta toxicidad y peligrosidad.

La exposición a Compuestos orgánicos volátiles (COV's), a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y en particular a Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's)

constituyen un verdadero problema de salud en las Refinerías. Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) y sus derivados están asociados al aumento en la incidencia de diversos tipos de cáncer en el hombre. (Mastandrea C, Chichasela C, Ludiera B, Sánchez H, Álvarez H, Gutiérrez A., 2005)

1.3. Agentes químicos presentes durante el refinado del petróleo.

En el procesado de hidrocarburos se utilizan, o se forman como resultado del mismo, varios productos químicos. A continuación figura una breve descripción de aquéllos que son específicos y característicos del refino:

Dióxido de azufre

El gas procedente de la combustión de combustibles de alto contenido en azufre suele tener niveles altos de dióxido de azufre, que se elimina por lo común mediante lavado con agua.

Cáusticos

Se añaden cáusticos al agua de desalinización para neutralizar ácidos y reducir la corrosión. Se añaden también al crudo desalinizado con el fin de reducir la cantidad de cloruros corrosivos de los productos de las zonas superiores de la torre. Se utilizan en procesos de tratamiento de las refinerías para eliminar contaminantes de las corrientes de hidrocarburos.

Óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono

El gas de chimenea contiene hasta 200 ppm de óxido nítrico, que reacciona lentamente con el oxígeno y forma dióxido de nitrógeno. El óxido nítrico no se elimina mediante el lavado con agua, por lo que el dióxido de nitrógeno puede disolverse en el agua y formar ácido nitroso y nítrico. Por lo común, el gas de chimenea sólo contiene una pequeña cantidad de monóxido de carbono, a menos que la combustión sea anómala.

Ácido sulfhídrico

El ácido sulfhídrico se encuentra de modo natural en la mayoría de los crudos de petróleo y se forma también durante el procesado debido a la descomposición de compuestos de azufre inestables. El ácido sulfhídrico es un gas extremadamente tóxico, incoloro e inflamable, más pesado que el aire y soluble en agua. Tiene un olor a huevos podridos que se percibe a concentraciones muy por debajo de su límite de exposición, que es muy bajo. Aun así, no ha de confiarse en ese olor como señal de alerta, pues los sentidos se desensibilizan casi de forma inmediata al producirse la exposición. Se necesitan detectores especiales para alertar a los trabajadores de la presencia de ácido sulfhídrico, y en presencia del gas debe utilizarse protección respiratoria adecuada. La exposición a niveles bajos de ácido sulfhídrico causa irritación, mareos y cefaleas, mientras que la exposición a niveles por encima de los límites prescritos causa depresión del sistema nervioso e incluso la muerte. (Kraus R., 2001)

Agua amarga

El agua amarga es agua de proceso que contiene ácido sulfhídrico, amoníaco, fenoles, hidrocarburos y compuestos de azufre de bajo peso molecular. Se produce al absorber el vapor fracciones de hidrocarburos durante la destilación, en la regeneración de catalizador o al absorber el vapor ácido sulfhídrico durante el hidrotreatmento y el hidroacabado. También se genera por la adición de agua a procesos para absorber ácido sulfhídrico y amoníaco.

Ácido sulfúrico y ácido fluorhídrico

Ambos se utilizan como catalizadores en los procesos de alquilación. El ácido sulfúrico se emplea también en algunos de los procesos de tratamiento.

Los trabajadores pueden estar expuestos a posibles peligros por inhalación (por ejemplo, de sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono, COV e hidrocarburos aromáticos policíclicos) durante las operaciones habituales de la planta.

Emisiones al aire

Gases de escape

Las emisiones de gases de escape y gases de combustión (dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NOX) y monóxido de carbono (CO)) en el sector de la refinación del petróleo proceden de la combustión del gas y del fuel-oil o gasóleo de las turbinas, las calderas, los compresores y otros motores para generar energía y calor. Los gases de combustión se producen también en las calderas de calor residual asociadas a algunas unidades de proceso durante la regeneración continua del catalizador o durante la combustión del coque de petróleo. Los gases de combustión se emiten a la atmósfera desde la chimenea de la unidad de soplado del betún, desde el regenerador de catalizador de la unidad de craqueo catalítico en lecho fluido (FCCU) y de la unidad de craqueo catalítico de residuos (RCCU), así como en la planta de azufre, que puede contener pequeñas cantidades de óxidos de azufre. Para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno deben utilizarse quemadores de bajo NOX.

Emisiones fugitivas

Las emisiones fugitivas en las instalaciones destinadas a la refinación del petróleo están asociadas a los procesos de venteos, fugas en los tuberías, válvulas, conexiones, bridas, aislamientos, conductos de extremos abiertos, tanques de almacenamiento con techos flotantes, juntas de las bombas, sistemas de transporte de gases, juntas de los compresores, válvulas de descompresión, tanques o pozos / depósitos a cielo abierto, así como a las operaciones de carga y descarga de los hidrocarburos. Dependiendo del programa de procesos de la refinería, las emisiones fugitivas pueden incluir:

Hidrógeno, Metano; Compuestos orgánicos volátiles (COV), (por ejemplo, etano, etileno, propano, propileno, butanos, butilenos, pentanos, pentenos, alquilato C6-C9, benceno, tolueno, xilenos, fenol y compuestos aromáticos C9);

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y otros compuestos orgánicos semivolátiles;

Gases inorgánicos, incluido ácido fluorhídrico derivado de la alquilación con fluoruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de azufre y trióxido de azufre derivados de la regeneración del ácido sulfúrico en el proceso de alquilación con ácido sulfúrico, NOX, metil-terbutil éter (MTBE), etil-terbutil éter (ETBE), teramil-metil-éter (TAME), metanol y etanol.

Las principales causas de preocupación incluyen las emisiones de COV en los depósitos de techo cónico durante la carga y las debidas a desgasificación; las emisiones fugitivas de hidrocarburos a través de los cierres del techo flotante de los depósitos de almacenamiento con este tipo de techo; las emisiones fugitivas en las bridas, las válvulas y las juntas de las máquinas; las emisiones de COV en los depósitos de mezclado las válvulas, las bombas y las operaciones de mezclado; y las emisiones de COV en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas aceitosas. También se pueden producir emisiones de nitrógeno, que pueden contener hidrocarburos y compuestos de azufre en forma de aerosoles, en los depósitos de almacenamiento de betún. Otras posibles fuentes de emisiones fugitivas incluyen las salidas de ventilación de la unidad de recuperación de vapor y las emisiones de gases derivadas de la oxidación cáustica.

Óxidos de azufre

Las emisiones de óxidos de azufre (SOx) y de sulfuro de hidrógeno pueden proceder de las calderas, los calentadores y otros equipos de procesos, en función del contenido en azufre del petróleo crudo procesado. Pueden producirse emisiones de dióxido y trióxido de azufre en la regeneración del ácido sulfúrico en el proceso de alquilación con ácido sulfúrico. El dióxido de azufre de los gases residuales de una refinería puede tener niveles de concentración iniciales de 1.500 –7.500 miligramos por metro cúbico (mg/m³).

Los destilados de craqueo contienen pequeñas cantidades de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) cancerígenos; así pues, deberá limitarse la exposición. Los fueles residuales contienen trazas de metales y a veces retienen ácido sulfhídrico, que es extremadamente tóxico. Los combustibles

residuales, cuyos componentes de craqueo tienen puntos de ebullición superiores a 370 °C, contienen hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) cancerígenos.

Lo que en la industria petroquímica se conoce como hidrocarburos aromáticos, bajo la denominación de fracción BTX's, es un conjunto de moléculas que podríamos considerar como derivados básicos de benceno y formado por benceno, tolueno, orto-xileno, metaxileno, para-xileno y etil-benceno

El tolueno es un disolvente de aceites, resinas, caucho natural (mezclado con ciclohexano) y sintético, alquitrán de hulla, asfalto, brea y acetil-celulosas (en aliente, mezclado con etanol). Se utiliza como disolvente y diluyente de pinturas y barnices de celulosa y como diluyente de tintas de fotograbado. El tolueno está presente en mezclas utilizadas como productos de limpieza en distintas industrias y en artesanía

El benceno se ha convertido en una de las sustancias más intensamente reguladas del mundo. Su uso ubicuo como solvente ha llevado a que muchas poblaciones trabajadoras estén expuestas, en los primeros tiempos a menudo en condiciones no controladas, dando lugar a exposiciones elevadas. Las exposiciones ocupacionales actuales están estrechamente controladas y se limitan esencialmente a los trabajadores de la industria petroquímica, mecánica de vehículos, los bomberos, los trabajadores expuestos a las emisiones de automóviles y algunos grupos ocupacionales. Típicamente, los niveles de exposición profesional se encuentran actualmente en o por debajo de 3,25 mg/m³ (1 ppm), y las exposiciones ambientales son típicamente por debajo de 50 µg/m³ (15 ppb). Fumar sigue siendo una fuente importante de exposición en individuos ocupacionalmente expuestos. (Capleton, AC. and Levy LS., 2005)

1.4. Fuentes de exposición a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's).

Las principales fuentes de emisión de hidrocarburos aromáticos son la destilación de la hulla y una serie de procesos petroquímicos, en particular la destilación catalítica, la destilación del coque, destilación de petróleo crudo y la alquilación de Hidrocarburos aromáticos de las series más bajas. Como principal fuente de HAP's es el aire de las atmósferas de trabajo de alquitrán de hulla, que se forman por pirólisis de la hulla en fábricas de gas y coque, donde se producen emisiones de humos de la brea caliente.

Generalmente, el contenido de Benzo-alfa-Pireno (en adelante BaP) es máximo en el aire situado en la parte superior de los hornos. El aire situado en la parte superior de los canales de humos y del precipitador de alquitrán es extremadamente rico en este compuesto, habiéndose medido concentraciones de hasta 500 mg/m³ de BaP (Kazerouni N, Sinha R, Hsu C, Greenberg A, Rothman N., 2001)

En la siguiente lista se han utilizado las mediciones de BaP en diferentes tipos de lugares de trabajo para clasificarlos según el grado de exposición (Stellman J, McCan M. Hidrocarburos Poli-aromáticos, O.I.T.1998):

- Exposición muy alta a BaP (> 10 mg/m³): Trabajos en fábricas de gas y coque, plantas de aluminio, fábricas de electrodos de grafito, manipulación de breas y alquitranes calentados.
- Exposición moderada (0,1 a 10 mg/m³): Trabajos en fábricas de gas y coque, acerías, fábricas de electrodos de grafito, plantas de aluminio y fundiciones.
- Exposición baja (< 0,1 mg/m³): Fundiciones, producción de asfaltos, plantas de producción de aluminio con electrodos precocidos, talleres de reparación de automóviles y garajes, minas de hierro y construcción de túneles.

Los trabajadores que permanecen cerca de los hornos están altamente expuestos a estos HAP's. Mediante técnicas de muestreo personal, se ha podido comprobar la presencia de otros HAP's como naftaleno, fenantreno, fluoranteno, pireno y antraceno en las muestras de aire tomadas.

La producción de aluminio se realiza mediante un proceso electrolítico a temperaturas de 970 °C. Existen dos tipos de ánodos: el de Soderberg y el de grafito ("precocido").

El primero de ellos, que es el más empleado, es la principal causa de exposición a los HAP's en la industria del aluminio. Este ánodo está formado por una mezcla de coque y alquitrán de hulla.

Los electrodos de grafito se utilizan en las plantas de reducción de aluminio, en los hornos eléctricos de acero y en otros procesos metalúrgicos. La materia prima para la fabricación de estos electrodos suele ser coque de petróleo mezclado con alquitrán como ligante. El cocido de los mismos se realiza calentando esta mezcla a temperaturas superiores a los 1.000 °C, proceso durante el cual se liberan grandes cantidades de HAP's.

Otra fuente importante es la utilización del asfalto para pavimentar calles y carreteras que procede principalmente de los residuos de destilación del petróleo crudo. El asfalto de petróleo contiene pocos HAP's superiores. No obstante, en algunos casos este asfalto se mezcla con alquitrán de hulla, lo que aumenta el riesgo de exposición cuando se trabaja con el asfalto caliente. En otros trabajos donde se utiliza el alquitrán derretido como recubrimientos de grandes superficies (aislamiento de paredes, oleoductos, etc.) los trabajadores pueden sufrir una intensa exposición. Las fuentes de HAP's en el trabajo, además del alquitrán de hulla y el asfalto, son el negro de humo, la creosota, los aceites minerales (aceites lubricantes y aceites de corte), los humos y hollines procedentes de diferentes combustiones y los gases de escape de los vehículos. (Mastandrea C, 2005).

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y sus derivados están asociados al aumento en la incidencia de diversos tipos de cáncer en el hombre. Dadas las diferentes fuentes de generación de estos compuestos y el hecho de que algunos grupos poblacionales residan o trabajen en ambientes directamente influenciados por estas fuentes, hacen que dichas áreas poblacionales estén sometidos a un riesgo mayor.

Las principales fuentes de producción de hidrocarburos BTX en la industria petroquímica son:

- a. Crackers de etileno/ propileno alimentados con nafta o gases del petróleo-nafta pirolítica.
- b. El reformado catalítico de naftas en refinerías.
- c. La desproporción y desalquilación del tolueno.

1.5. Efectos del Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) en la salud.

La exposición al benceno se asocia con la leucemia mieloide aguda (LMA), los síndromes mielodisplásicos (SMD), y, probablemente, el linfoma y la leucemia infantil. La plausibilidad biológica del papel causal de benceno en estas enfermedades proviene de su toxicidad para las células madre hematopoyéticas (HSC) o células progenitoras, de la que todas las leucemias y trastornos relacionados surgen. El efecto de esta toxicidad se manifiesta como bajada en los recuentos sanguíneos (hematotoxicidad), incluso en individuos con exposición ocupacional a niveles bajos de benceno. El benceno puede inducir AML / MDS a través de varias vías bien caracterizadas asociadas con estas enfermedades. A través de sus metabolitos, el benceno induce múltiples alteraciones que probablemente contribuyen al proceso leucemogénico, y parece actuar a través de múltiples modos de acción. Para mejorar la comprensión mecanicista y para fines de evaluación de riesgos, es posible medir varios de los eventos clave en estos modos de acción en un modelo in vitro de los nichos de células madre de médula ósea. Aunque el benceno es leucemogénico a niveles ocupacionales de exposición relativamente bajos, parece poco probable que sea una de las principales causas de leucemia en la población general expuesta al benceno en el rango de ppb. Otras causas establecidas no genéticas de la AML, por ejemplo, hábito de fumar, la radiación ionizante y la quimioterapia del cáncer, también sólo explican aproximadamente el 20% de la incidencia de la LMA, dejando ~ 80% sin explicación. La pregunta que surge es cómo encontrar las causas de la mayoría de los casos de LMA que siguen sin explicación (Smith MT, Zhang L, McHale CM, Skibola CF, 2011).

Efectos agudos.

En cuanto a los efectos agudos los hidrocarburos aromáticos son generalmente grandes irritantes y anestésicos, pero la sustitución del benceno por tolueno y xileno hacen esos efectos más ligeros, encontrando dentro de los más frecuentes euforia, mareo, vértigo, cefalea, somnolencia, debilidad, temblor, incoordinación, delirio, pérdida de la conciencia (La Dou J, 2006).

Además de los mencionados previamente, los efectos agudos pueden causar un síndrome de encefalopatía tóxica. Clínicamente se distinguen dos fases de este síndrome que aparecen a las pocas horas de exposición. La primera fase se caracteriza por una reacción de sobre estimulación que provoca un cuadro neuro-psiquiátrico de euforia, reducción del nivel de inhibición del comportamiento motor y emocional, impulsividad, inestabilidad motora y alteraciones del lenguaje (interrupción del discurso) en asociación con cefalea y mareo. La segunda fase se distingue por un período donde se impone la somnolencia generalizada, la alteración de las funciones motoras e intelectuales, particularmente de la memoria.

La descripción de este síndrome, que se basa fundamentalmente en la evaluación clínica (neurológica y psiquiátrica), ha mostrado sustanciales correlaciones con medidas electrofisiológicas del Sistema Nervioso Central.

Efectos en el Sistema Nervioso

El conocimiento del sistema nervioso en general y del cerebro y el comportamiento humano en particular tiene una importancia capital para quienes se dedican a conseguir un entorno seguro y sano. Las condiciones de trabajo y las exposiciones que afectan directamente a las funciones del cerebro influyen en la mente y en el comportamiento. Las sustancias neurotóxicas pueden atravesar la barrera natural del cerebro e interferir directamente en su complejo funcionamiento.

La gran mayoría de los disolventes orgánicos tienen la característica de causar trastornos no específicos del sistema nervioso (SN), debido a su liposolubilidad que los hace afín a todos los tejidos con alta cantidad de grasa como son cerebro o médula espinal, es posible deprimir al tejido nervioso en cualquier nivel. Lo anteriormente descrito es posible porque el sistema nervioso presenta

una gran complejidad de reacciones de control, que ha de llevar a cabo sobre la mayoría de las funciones del organismo correspondientes a los diferentes órganos sensoriales de los cuales recibe estímulos innumerables, que integra y devuelve una respuesta, y entre los que se cuenta la contracción muscular esquelética, la contracción de las fibras lisas de los órganos internos y la secreción de las glándulas endocrinas y exocrinas (Stellman J., 1998).

Debido a esta variedad de sistemas involucrados, las respuestas pueden ser múltiples. En las intoxicaciones cabe distinguir, las agudas y las crónicas.

En la intoxicación aguda aparece un cuadro clínico patológico, dramático, tras la absorción de la sustancia y que usualmente se presenta antes de las 24 horas. Con la exposición a los disolventes, la aparición de los síntomas es precoz, debido a la rapidez con que la mayoría de estos elementos atraviesan las barreras orgánicas. Según la Agencia Internacional para la investigación del cáncer (IARC,1986), la intoxicación crónica es aquella que es consecuente con la absorción repetida de un elemento tóxico, puede ser más sutil en su presentación y crea problemas de relación causal. Según varios estudios incluidos los de la NIOSH, se ha concluido que la exposición prolongada a mezcla de disolventes induce cambios demenciales moderados no progresivos, con o sin disfunción del sistema nervioso periférico.

Con relación a la exposición, en general, no se dispone de datos estimados adecuados de la dosis o del tiempo que se requiere para que aparezca una enfermedad, ya que casi siempre aparecen elementos de juicio clínico difusos y de un modo paulatino y gradual (LaDou, J., 2006).

Tabla 4: Tipos de Neurotoxicidad por disolventes orgánicos

Tipo	Síntomas	Manifestación clínica
1	Solamente síntomas	Compromiso de la memoria, pobre concentración, fatiga, motivación reducida. Cuando la exposición cesa, los síntomas no específicos mejoran.
2A	Cambios de afecto o personalidad	Alteración de la personalidad con afecto deprimido, motivación reducida, pobre control de impulsos, ansiedad e irritabilidad
2B	Compromiso de la función intelectual	Las pruebas neuropsicológicas muestran déficits cognitivos en atención y concentración, habilidades visuoespaciales y memoria verbal. Puede haber signos neurológicos menores. Si la exposición cesa es probable alguna recuperación aunque la recuperación completa puede no ocurrir.
3	Demencia	El compromiso cognoscitivo está acompañado a menudo por déficit neurológico. Los estudios de conducción nerviosa, electro miografía o neurorradiología (tomografía computarizada o resonancia magnética) pueden identificar anomalías. Los déficits no empeoran si se le descontinúa la exposición.

Fuente: Acta bioquímica clínica latinoamericana versión On-line ISSN 1851-114
Disponibile en: <http://encolombia.com/medicina/guiasmed/benceno/marcoconceptual1/>

Efectos neurotóxicos por exposición crónica

En los expuestos crónicamente se ha descrito también una constelación de signos clínicos conocidos como síndrome orgánico cerebral que afecta básicamente las funciones de la memoria operativa y reciente, la capacidad general de atención (vigilia), la capacidad intelectual y la coordinación motora, (Deschamps D, Geraud C, Dally S, 2001). Algunas de estas manifestaciones y el cuadro general concomitante de fatiga, disforia, depresión, trastornos del sueño, cefaleas y mareos. Muestran correlaciones sensibles con los datos electrofisiológicos descritos para el EEG. En estos pacientes se observan, con frecuencia, neuropatías periféricas (desmielinización axonal y segmentaria) y neuritis de los nervios craneales, trastornos de la sensibilidad y de las funciones motoras (Montoya, M.A., 1990).

Estudios recientes, bien diseñados, sugieren que en trabajadores altamente expuestos a los disolventes, pueden tener efectos más sutiles en la función cognoscitiva. Los dominios cognoscitivos afectados por exposición a disolventes incluyen atención, memoria verbal y habilidades viso-espaciales (Nilson LN., 2002).

En la intoxicación crónica por xileno se han señalado como síntomas, la cefalea, irritabilidad, fatiga, laxitud, somnolencia diurna e insomnio nocturno, trastornos dispépticos. Los efectos por inhalación pueden causar depresión del SNC, caracterizado por parestesias, pérdida de memoria, debilidad, vértigo, jaqueca, anorexia, náusea (LaDou J, 2006).

Para el tolueno, los trastornos crónicos más importantes están ligados a su acción narcótica en los que figuran, cefalea, pérdida de apetito, falta de coordinación y de memoria, somnolencia y náuseas (LaDou J, 2006).

En abusadores de solventes, se ha observado alteraciones renales y neuronales pero especialmente distrofia cerebelosa. Se ha observado disfunción de los test psicométricos y de función muscular (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, 2000). También se han reportado cambios en el electroencefalograma mostrando disrupciones y cambios de frecuencia en la actividad de la onda teta del hipocampo. Experimentalmente se ha demostrado la disminución de la corteza cerebral y atrofia cerebral y cerebelosa, hallazgo que se han identificado con técnicas de imágenes (TAC y RMN) como alteraciones estructurales en cerebro y cerebelo (Poungravin N, 1991).

Efectos cancerígenos, mutagénicos y genotóxicos de los HAP's

Los efectos tóxicos de algunos HAP's sobre la piel están asociados con dermatitis aguda y crónica con síntomas de quemazón, picor y edema. La exposición prolongada causa pigmentación en las zonas de la piel expuesta. También se puede observar irritación de las vías aéreas superiores con bronquitis y tos crónica. En los ojos producen lagrimeo, fotofobia, edema de párpados e hiperemia conjuntival, (Stellman J, McCan M., 1998).

Actualmente se admite que los HAP's son previamente activados en el organismo antes de ejercer su efecto como disruptor endocrino o cancerígeno/mutágeno.

Tras la exposición prolongada, pueden producir cáncer cutáneo (escroto y cara), cáncer broncogénico en vías respiratorias, cáncer de vejiga; en el

sistema hematopoyético pueden originar leucemia y linfoma (Lawerys,RR., 1994; WHO,1998).

Tabla 5.- Datos relativos a los efectos Carcinogénicos, Genotóxicos y Mutagénicos de algunos HAP's (Mastandrea C. et al, 2005).

HAP's	Carcinogenicidad	Genotoxicidad	Mutagenicidad
Fenantreno	I	L	+
Antraceno	N	N	-
Pireno	N	L	+
Benzofluorenos	I	I	?
Benzo(a)antraceno	S	S	+
Benzo (e)pireno	I	L	+
Benzo(a)pireno	S	S	+
Dibenz(a)antraceno	S	S	+
Benzo(ghi)perileno	I	I	+
Dibenzopirenos	S	I	+
2-Nitronaftaleno	N	L	-
1-Nitripireno	I	S	+

(S= suficiente; I= insuficiente; N= no carcinogénico; L= limitados) Mutagenicidad (Test de Ames): + (positivo): - (negativo): ?(inconcluso).

Fuente: *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana 2005; versión On-line*; disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0325-9572005000100006&script=sci_arttext

En la especie humana la vía respiratoria es considerada la más importante, particularmente para individuos ocupacionalmente expuestos, de igual manera la vía dérmica puede ser tanto o más importante.

Muchas de estas sustancias también tienen efecto negativo sobre el sistema inmunológico, característica que parece estar asociada a la capacidad carcinogénica (WHO, 1998).

Es importante recalcar que la aparición del cáncer es un proceso que involucra varias etapas, siendo también influenciado por susceptibilidad individual y otros factores, tales como la edad, sexo, etnia, estado de salud, nutrición y polimorfismo genético. En general, una mayor concentración de aductos HAP's -ADN se encuentra en personas ocupacionalmente expuestas.

En relación al efecto de los HAP's como posibles disruptores endocrinos, muchos estudios indican que diferentes compuestos químicos presentes en el ambiente, además de los HAP's, como los pesticidas, dioxinas, furanos y bifenilos policlorados, presentan actividad estrogénica in vitro. De cualquier manera, la potencia de estos compuestos es muy baja comparada con

estrógenos endógenos y además no está claro si los humanos ante una mezcla química ambiental reciben un efecto estrogénico neto (Liehr JG., 2000).

Manifestaciones hematoinmunológicas por exposición laboral a BTX's

Desde el siglo XIX se despertó el interés por comprender la toxicidad crónica que ejercen los compuestos aromáticos sobre la médula ósea debido a su poder leucemiogénico, y no obstante que desde entonces en grupos de trabajadores se ha insistido reiteradamente sobre la asociación de las manifestaciones itopénicas, dismielopoyéticas, displásicas o inmunotóxicas con la presencia de mezcla de benceno, tolueno y xileno (BTX's) en atmósferas laborales, el mecanismo por medio del cual se producen no ha sido bien dilucidado (Ruiz MA, Vassallo J, de Souza CA., 1993; ATDSR, 1993).

El efecto principal de la exposición prolongada al benceno es sobre la sangre. El benceno produce alteraciones en la médula de los huesos y puede producir una disminución del número de glóbulos rojos, lo que puede producir anemia. También puede producir hemorragias y puede afectar al sistema inmunitario, aumentando la probabilidad de contraer infecciones.

Ampliamente es conocido que la exposición crónica al benceno causa depresión de la médula ósea en apariencia por un efecto citotóxico directo sobre las líneas celulares progenitoras de la hematopoyesis, aunque también existe evidencia de daño sobre las células del estroma de la misma médula, lo que ha llevado a considerarla como una hematotoxina (Ruiz MA, 1993; ATDSR, 1993); la importancia de destacar su mezcla con tolueno y xileno es debido a que existe evidencia para suponer que éstas sustancias interactúan y determinan la hematoimmunotoxicidad del benceno, ya que comparten el mecanismo toxicocinético del citocromo P450 CYP2E1 y de otras isoenzimas de este sistema.

Sin embargo, la acción conjunta de tolueno-xileno, al parecer en forma independiente, produce algunos efectos aditivos sobre la cuenta de linfocitos, de glóbulos rojos y de monocitos.

La exposición prolongada a niveles altos de benceno en el aire puede producir leucemia, especialmente leucemia mieloide aguda, conocida a menudo como

LMA. Este es un cáncer de los órganos que producen las células de la sangre. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que el benceno es una sustancia carcinogénica reconocida. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA han determinado que el benceno es carcinogénico en seres humanos. (ATDSR, 2007).

La exposición a benceno en períodos largos puede desencadenar efectos en los tejidos que producen las células sanguíneas, especialmente la médula ósea. Estos efectos pueden trastornar la producción normal de sangre y provocar un decrecimiento en los componentes importantes de la sangre. La reducción en otros componentes puede causar sangrado excesivo (gingivorragia, epistaxis); astenia, palidez, leucemia y aplasia medular. (IARC 1982), la aplasia medular es el efecto mas severo que se causa por la exposición a benceno, se presenta en dos fases, la primera se caracteriza por una hiperplasia (incremento en la producción de células sanguíneas), seguida de hipoplasia donde decrece la síntesis de células sanguíneas. Los cambios hematológicos (anemia, leucopenia, leucocitosis) citados a veces en trabajadores expuestos crónicamente a tolueno y xileno se deben probablemente a la exposición simultánea a benceno como contaminante del tolueno y del xileno comercial. (World Health Organization, 1981, 1998).

Tabla 6: Trabajadores Expuestos a Benceno, Tolueno y Xileno y Respuesta Inmune

Autor y año de publicación	n	Caracterización de exposición	Medición del efecto	Efecto observado	Covariables exploradas
Collins³² (1997)	1151	Registros de monitoreo personal (TWA 8 ≈0.55 ppm de benceno)	Cuenta linfocitaria por impedancia electrónica < 1000 linfocitos/ mm ³	Sin evidencias de linfocitopenia	Tabaquismo, edad, sexo
Tanigawa³³ (2001)	16	Tolueno en sangre; referencia de uso de disolventes orgánicos	Cuenta leucocitaria, inmunofluorescencia y uso de anticuerpos monoclonales	Disminución significativa de subpoblaciones de linfocitos T y de células NK; aumento de linfocitos B	No se consideraron
Bogadi-Sare³⁴ (2000)	49	Benceno en ambiente de trabajo: 1.9-14.8 ppm; mediana: 5.9; benceno en sangre; fenol en orina	Prueba de inmunodifusión; pruebas estándar para poblaciones de linfocitos	Disminución de linfocitos B; cuenta de linfocitos T no afectada; sin efectos en niveles de IgA, IgM, IgG	Tabaquismo, edad, años de exposición, consumo de alcohol
Hotz³⁵ (1998)	120	Puesto de trabajo y mediana de antigüedad en el puesto de trabajo; benceno en ambiente de trabajo: TWA 8 < 1.14 ppm; fenol, ácido mucónico, catecol, hidroquinona y ácido S-fenilmercaptúrico.	Cuantificación de IL1μ, fenol, ácido mucónico, catecol, hidroquinona y ácido S-fenilmercaptúrico	No se asoció IL1α con las concentraciones de benceno en ambiente de trabajo; no existió correlación con fenol, ácido mucónico, catecol, hidroquinona y ácido S-fenilmercaptúrico	Tabaquismo, consumo de alcohol; índice de masa corporal
Rhodes³⁹ (2003)	141	Exposición categorizada por consenso: exposición alta y exposición baja/no expuestos; monitoreo ambiental y biológico: Aire exhalado pre y posexposición	Citometría de flujo para determinar cuenta absoluta de linfocitos y subpoblaciones (linfocitos T, linfocitos Th, células supresoras de células T, células NK y linfocitos B)	Sin diferencias en la cuenta absoluta y diferencia de linfocitos, células NK y de células supresoras de células T entre las categorías de exposición	Tabaquismo, consumo de alcohol, raza, sexo, edad, meses de desempeñar puesto de trabajo, índice de masa corporal.

TWA = time weighted average

Fuente: Rev Med Inst Mex Seguro Soc 2008; 46 (6): 643-650 (Haro-García L., 2008).

Por ello, el estudio de los efectos tóxicos sobre médula ósea por acción del benceno, debiera ir acompañado del que se produce por su mezcla —prácticamente ineludible en el terreno laboral— con tolueno y xileno (Baarson KA, Snyder CA.,1991). Pese a ello, la información sobre las implicaciones toxicológicas de la mezcla de benceno, tolueno y xileno es escasa (ATDSR, 2004). Los mecanismos toxicológicos del benceno, tolueno y xileno analizados de forma independiente y que se han identificado como responsables de efectos sobre componentes de la médula ósea podrían hacer suponer que el resultado sería un simple fenómeno aditivo, sin embargo, tampoco se cuentan con los elementos necesarios para que de manera tácita esta idea adopte ese significado, más tomando en cuenta las posibles interferencias debido a la presencia de otros disolventes aromáticos, así como los de tipo alifático, cetonas o alcoholes y de otras covariables fuera del ámbito ocupacional, como el consumo de alcohol o el tabaquismo (Van Wijngaarden E, Stewart PA, 2003).

Los medios que comúnmente se han señalado para evaluar integralmente el riesgo hematoinmunotóxico en trabajadores expuestos de manera crónica a benceno, tolueno y xileno son la cuenta eritrocitaria, la diferencial de leucocitos y otros valores hematológicos o marcadores inmunológicos (ATDSR, 2004).

Como puede observarse en las Tablas 6 y 7, sobre estudios de exposición laboral a BTX'S, el interés principal parece ser los efectos sobre subpoblaciones de linfocitos T y B, diferentes inmunoglobulinas y otros componentes solubles de la respuesta inmune, y la relación con diversos marcadores de exposición en diferentes muestras biológicas. De dichas evaluaciones ambientales de exposición de trabajadores deja en evidencia el todavía particular y mayor interés por reconocer aisladamente los efectos hematoinmunotóxicos del benceno, en proporción menor los del tolueno, mientras que los del xileno son prácticamente inexistentes, aun cuando desde 1996, el National Occupational Research Agenda (NORA) —promovido por el National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos y que está dirigido, entre otros aspectos, a indagar sobre exposiciones múltiples a mezclas de sustancias—, señala puntualmente la necesidad de estudiar la exposición ocupacional a mezcla de benceno, tolueno y xileno, aunque ésta se haya dado de manera secuencial.

1.6. Estudios sobre caracterización de la exposición a Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) en refinerías de petróleo.

En tanto que los estudios que se han realizado en la industria petrolera han indicado bajo potencial de exposición al benceno para los trabajadores de las refinerías, la mayoría proporcionan datos limitados para la evaluación del puesto de trabajo o exposiciones a benceno relacionadas con la tarea. Un estudio realizado entre 1977 y 2006 en la refinería de Exxon Mobil, en Joliet, Illinois, caracteriza las concentraciones a benceno en el aire y la variabilidad a lo largo del tiempo para el puesto de trabajo y la tarea específica; dicho estudio recopila una base de datos de 2.289 muestras de higiene industrial en aire, incluyendo 1.145 muestras personales sin tener en cuenta la tarea ($t_m = 180$ min) y 480 ($t_m < 180$ min) muestras personales relacionadas con la tarea.

Los resultados indican que las concentraciones de benceno para muestras personales (sin considerar la tarea) y puestos de trabajo eran relativamente bajas. Para todas las muestras personales (sin considerar la tarea) la media aritmética de concentración de benceno era 0,12 parte por millón (ppm).

El puesto de trabajo más frecuente de los incluidos en la muestra (técnicos de proceso durante las operaciones de rutina) tenían una media aritmética de benceno concentración de 0.038 ppm. La tarea de mayor frecuencia de muestreo (blinding and breaking) tenían una media aritmética de concentración de benceno de 1.0 ppm. (Gaffney, S.H., et al, 2010).

En general, las muestras de las tareas (no-personales) en refinería (muestras de concentración en aire) ponen de manifiesto que la exposición de los últimos 30 años estaba por debajo del límite de exposición ocupacional de 1 ppm (media = 0,30 ppm, SD = 3,1), las concentraciones eran mayores durante las tareas de rutina (media = 0,32 ppm, SD = 3,3) que durante las operaciones de cambio de turno (media = 0,16 ppm, = 0,87 SD), y disminuyen ligeramente con el tiempo, (Gaffney, S.H., et al, 2010).

En la tabla 7 podemos ver un resumen de algunos otros estudios de caracterización de la exposición a Benceno.

Tabla 7.- Caracterización de exposición ocupacional a benceno.

Autor y año de publicación	Población a estudio	n	Cuantificación Benceno (LOD)	Biomarcador (LOD)	Covariables	Resultados principales
Crebelli 2001	Policías de tránsito (intramuros y extramuros)	202	Muestreo personal TWA x jornada de trabajo (0.7 µg/m ³)	En orina ASFMP (0.5 µg/L), AttM (3.0 µg/L), Benceno en sangre: (50 µg/L) (6.8 µg/m ³ vs. 3.5 µg/m ³), pero sin diferencia en biomarcadores	Tabaquismo	Los policías de tránsito extramuros están más expuestos a Benceno.
Chakroun 2001	Trabajadores de gasolineras (llenadores de tanques y despachadores de petróleo).	30	Monitoreo personal TLV/TWA x jornada x una semana (0.002 ppm)	AttM (0.05 µg/L)	Tabaquismo, Consumo de alcohol	Sin diferencias de TLV/TWA de benceno entre grupo de estudio (0.20 ppm vs. 0.16 ppm); R = 0,76 de benceno y AttM corregido por mg./g de creatinina; sin corregir (R =0.47)
Vermeulen, 2004	Trabajadores de la Industria del calzado (todos los puestos de trabajo en el proceso de producción de dos empresas)	213	Monitoreo personal de vapores orgánicos (OVM) en puesto de trabajo y en el hogar; benceno en muestras de insumo (pegamentos) (0.20 ppm)	No considerado	Cantidad (Kg/día) de insumo utilizado (pegamento), distancia a la fuente de exposición y ventilación	0.6 – 34% del insumo posee Benceno; rango de benceno en ambas empresas (0.45 -24.18 ppm) Empresa A: 21.86 ppm, Empresa B: 3.46 ppm; 78% de la exposición a fuente de benceno disminuye por uso de ventilación; no se identificaron niveles detectables de benceno en el hogar.

LOD = limit of detection, ASFMP = ácido S-fenilmercaptúrico, AttM = ácido trans-transmucónico, TWA = time-weighted average

Fuente: Rev Med Inst Mex Seguro Soc 2008; 46 (6): 643-650; (Haro-García L., 2008).

(Crebelli, R, 2001); (Chakroun,R., 2001) y (Vermeulen, R., 2004)

Tanto los datos de monitoreo ambiental como del monitoreo biológico demostraron que la exposición al benceno en operadores de la industria petroquímica fue baja (Los valores medios fueron 0,014 ppm, 101 µg/g creat., y 2,8 µg/g creat., para benceno, t, t-MA, y PMA-S, respectivamente) en comparación con los límites de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). El consumo de cigarrillos se confirmó como un importante factor de confusión para la excreción urinaria de los metabolitos. Incluso a niveles tan bajos de exposición, los metabolitos urinarios han demostrado ser una herramienta útil para evaluar la exposición ocupacional al benceno individual. El S-PMA parece ser un marcador biológico más específico que el t, t-MA, sobre todo en los no fumadores, (Gaffney SH., 2010).

1.7. La evaluación cuantitativa de la exposición laboral a Benceno, Tolueno y Xilenos, (BTX's).

a) Ambiental

En los últimos años se han desarrollado herramientas de evaluación cualitativa del riesgo, como una herramienta de mucha utilidad para formular un diagnóstico inicial del riesgo derivado de la exposición a agentes químicos. En una evaluación cualitativa se recoge información de las dos variables que determinan el riesgo, la peligrosidad o toxicidad intrínseca del agente químico y la exposición potencial, (Cavallé N., Vander Haar, R., 2014). Sin embargo, en la práctica de la higiene industrial y sobre todo cuando se requiere precisión en los resultados, la evaluación del riesgo por exposición a agentes químicos se determina de manera cuantitativa, por medición ambiental de la sustancia química en el aire y ponderación temporal en la misma base que el valor límite con el que se compara.

En los escasos estudios realizados para determinar la exposición laboral a Benceno, se concluye que a bajos niveles de concentración de benceno, el monitoreo ambiental parece ser el mejor método de evaluación de la exposición individual. Sin embargo, el control biológico sigue siendo útil, como una medida de evaluar la exposición de grupo, (Carrieri M. et al, 2006).

En relación con la posible correlación entre los indicadores biológicos de exposición y la exposición ambiental (concentración de benceno en la atmosfera del lugar de trabajo), algunos estudios que tenían ese objetivo, han puesto de manifiesto que de los distintos indicadores biológicos, e Índice de Exposición Biológica (BEI), Ácido trans, trans-mucónico (t, t-MA) o S-fenilmercaptúrico ácido (S-PMA), muestra una mejor correlación con exposición ambiental, (De Wilde, P. E., & De Smedt, E., 2005).

En otro de los estudios se propone un modelo fuente-receptor para describir esquemáticamente la exposición por inhalación para ayudar a comprender los complejos procesos que conducen a la inhalación de sustancias peligrosas. El modelo considera una transferencia gradual de un contaminante de la fuente al receptor. El modelo conceptual se construye con tres componentes, es decir, (i) el origen, (ii) diferentes medios de transmisión y (iii) el receptor, y describe la fuente de emisión del contaminante y su patrón de transporte. Sobre la base de este modelo conceptual, una lista de las nueve variables principales, mutuamente independientes, se propone la modificación de factores (MFS): potenciales de emisión de la tarea o actividad: La emisión de sustancias el control, la separación, la segregación, la dilución, el comportamiento de los trabajadores, la posible contaminación, la extracción localizada y la protección respiratoria. Estos FMs describen el proceso de exposición a un alto nivel de abstracción de modo que el modelo puede ser genéricamente aplicable. Esta lista de factores determinantes de la exposición subyacente con cada uno de estos principales FMs, se propone describir el proceso de exposición a un nivel más detallado. El modelo conceptual propuesto y los factores de modificación (FMs) deben ser visto como "bloques de construcción" para el desarrollo de modelos de exposición de nivel superior, (Tielemans, et al, 2008).

Los métodos utilizados en España, Alemania y Francia, como puede verse en la tabla 8, son similares a los referidos por la NIOSH y se pueden consultar a través de la base de datos GESTIS 2015. GESTIS - International limit values for chemical agents (Occupational exposure limits, OELs).

Tabla 8.- GESTIS Benzene International Limit Values -2015

Sustancia	Benzene			
CAS nº	71-43-2			
PAIS	Valor Límite para 8 horas		Valor Límite – Corto plazo	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
AUSTRALIA	1			
Austria	1 ⁽¹⁾			
Bélgica	1			
Canada-Ontario	0.5			
Canada-Quebec	1			
Dinamarca	0.5			
Unión Europea	1	3.25		
Finlandia	1 ⁽¹⁾	3.25 ⁽¹⁾		
Francia	1	3.25		
Alemania (AGS)	0.6 ⁽¹⁾ 0.06 ⁽²⁾	1.9 ⁽¹⁾ 0.2 ⁽²⁾	4.8 ⁽¹⁾⁽³⁾	15.2 ⁽¹⁾⁽³⁾
Hungría				3
Irlanda	1	3		
Italia	1	3.25		
Japon	10			
Letonia	1	3.25		
Nueva Zelanda	1		2.5	
R.P. de CHINA		6		10 ⁽¹⁾
Polonia		1.6		
Singapur	1	3.18		
Corea del Sur	1	3		
España	1	3.25		
Suecia	0.5	1.5	3 ⁽¹⁾	9 ⁽¹⁾
Suiza	0.5	1.6		
Países Bajos		3.25		
USA NIOSH	0.1	0.32	1 ⁽¹⁾	3.2
USA – OSHA	1		5	
Reino Unido	1			
OBSERVACIONES				
Austria	(1) TRK Valor (basado en la viabilidad técnica)			
Unión Europea	En negrita: Valores límite de exposición ocupacional indicativos[2,3] y valores límite de exposición profesional [4] Valores límite de exposición laboral obligatorios - BOELV (para referencias ver bibliografía)			
Finlandia	Valor Límite Unificado			
Francia	Negrita: valores límite legales restrictivos			
Alemania	(1) concentración de la exposición del lugar de trabajo correspondiente al riesgo de cáncer tolerable propuesto. (véase el documento de antecedentes: Alemania AGS) (2) concentración de la exposición del lugar de trabajo correspondiente al riesgo de cáncer aceptables preliminar propuesto. (véase el documento de antecedentes: Alemania AGS) (3) 15 minutos valor medio			
Italia	Piel			
R.P. de CHINA	(1) 15 minutos valor promedio			
España	Piel			
Suecia	(1) Valor de corto plazo, 15 minutos valor promedio.			
USA - NIOSH	(1) Valor Límite Techo (15 minutos).			

IFA: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Tomado de: http://limitvalue.ifa.dguv.de/WebForm_ueliste2.aspx

Para la evaluación de la exposición a productos químicos, existen diferentes metodologías y criterios normalizados por autoridades internacionales del campo de la higiene ocupacional, especializados en la vigilancia y el control de los riesgos de enfermedades profesionales. Entre las publicaciones más prestigiosas están el Manual de Métodos de Análisis, el cual incluye específicamente el método 1501 que aplica para hidrocarburos aromáticos del grupo BTX-EB de NIOSH 2003, los Métodos de Análisis de la OSHA, la Serie de Guías Analíticas de la AIHA, los Métodos de Toma de Muestra y Análisis del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT 2003).

El NIOSH y la OSHA son líderes en el desarrollo de métodos de muestreo y análisis de contaminantes químicos en aire. Estos métodos han sido sometidos a rigurosos ensayos de calidad y son los que ofrecen la mejor respuesta a exigencias de especificidad, precisión y exactitud. En consecuencia, se trata de métodos validados y confiables.

Existen dos tipos de métodos para la evaluación de contaminantes químicos: los métodos de lectura directa, en donde el resultado de la concentración en el aire puede ser conocido de manera inmediata y los métodos de lectura indirecta, en cuyo caso la muestra se recolecta en el sitio de trabajo y debe ser enviada al laboratorio para su análisis posterior.

Existen equipos portátiles que permiten realizar el análisis durante el trabajo de campo conocidos como instrumentos de lectura directa. Estos equipos se utilizan para conocer el grado de contaminación de un área de trabajo en particular. El uso de cromatógrafos de lectura directa tiene algunas ventajas en comparación con los sistemas de etapas separadas de toma de muestra y análisis, ya que permite obtener resultados puntuales y realizar estudios de su variación con el tiempo. Además son rápidos y económicos. Los métodos de lectura directa tienen la desventaja de ser menos precisos y con frecuencia presentan interferencias impredecibles, por lo cual no son confiables para la evaluación de la exposición ocupacional de los trabajadores.

Los métodos de lectura indirecta, por el contrario, permiten conocer la composición química de la muestra y son el mejor descriptor de la exposición ocupacional ya que el muestreo puede ser personal. Estos métodos aplican técnicas instrumentales de análisis de alta sensibilidad y especificidad.

Para determinar las concentraciones de hidrocarburos aromáticos tipo BTX-EB en muestras ambientales por monitoreo personal, es necesario en primer lugar, realizar la toma de la muestra de aire en el ambiente de trabajo, asegurar su conservación durante el transporte y el almacenamiento y posteriormente efectuar el análisis en el laboratorio.

La muestra se recoge, utilizando una bomba de muestreo personal calibrada (muestreo activo), haciendo pasar una cantidad conocida de aire a través de un elemento captador, que es un tubo relleno con material adsorbente generalmente de carbón activado. Posteriormente los vapores se desorben utilizando disolventes, solos o en mezclas de sulfuro de carbono, metanol o diclorometano. La disolución resultante se analiza en un cromatógrafo de gases (GC por sus siglas en inglés) equipado con detector de ionización de llama (FID por sus siglas en inglés). Del cromatograma resultante se obtienen las áreas de los picos de los analitos de interés y del patrón interno, determinando la cantidad de hidrocarburo presente en la muestra y a partir de la masa de los analitos presentes en la muestra se obtienen las concentraciones ambientales.

La calidad y confiabilidad de los resultados finales depende de la adecuada ejecución de los procedimientos mencionados previamente.

El método de análisis NIOSH recomendado específicamente para hidrocarburos aromáticos es el No 1501 el cual incluye el perfil de valoración para el grupo BTX: Benceno, tolueno, etilbenceno, o-xileno, m-xileno y p-xileno. Método muy similar a MTA/MA030/A92 del instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Aplicando cualquiera de los dos métodos se puede determinar la concentración de cada compuesto aún si en la muestra están presentes uno o más agentes del grupo BTX. Las características de estos métodos se pueden ver en la tabla 9:

Tabla 9 .- Método NIOSH 1501–Método INSHT. MTA/MA- 30/A92			
Metodo	Principio del método	Velocidad de flujo/Volumen de aire recomendado	Estatus del método/ Observaciones
NIOSH 1501	Tubo adsorbente con carbón activado 100/50mg. Desorción con 1 ml disulfuro de carbono añadido a cada sección. Análisis por GC/FID.	0.01-0.20 l/min. Vol. máximo: 30, 8, 24 y 23 respectivamente	Parámetros de validación NIOSH. Manual o Analytical Methods. National Institute for occupational safety and Health.
INSHT. MTA/MA-030/A92.	Tubo adsorbente con carbón activado 100/50mg. Desorción con 1 ml disulfuro de carbono añadido a cada sección del tubo. Análisis por GC/FID.	0.2 l/min. 5 litros	Validado de acuerdo al protocolo de INSHT. Muestreo incluido en el método de validación.

La precisión y exactitud de ambos métodos es muy similar, dado que prácticamente son iguales, en el método de muestreo y análisis de la muestra,

La aplicación de estos métodos por parte de los usuarios y de los laboratorios de higiene analítica, exige la estandarización y validación para determinar las características analíticas del método de acuerdo con las circunstancias tecnológicas de cada institución o laboratorio. En el caso de no disponer de la tecnología y del personal profesional cualificado para realizar las valoraciones, es posible recurrir a laboratorios de referencia internacionales (Estados Unidos de América, Canadá Inglaterra y Comunidad Europea) que dispongan de metodologías validadas y estén certificados por los organismos competentes.

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 de ionización llama (F.I.D.) o Cromatografía de Gases con detector de fotoionización (P.I.D.).

Método MTA/MA030/A92

Toma de muestra: tubos de carbón activo (100/150) tipo NIOSH 1500

Caudal: < 200 ml/min, Vol. 5 litros.

Estabilidad de la muestra: a 4°C hasta veintiún días después de la captación.

Margen estudiado: 3 mg/m³ hasta 70 mg/m³.

Análisis de la muestra

Técnica: Cromatografía de gases y detector de ionización de llama (FID).

Columna: Acero inoxidable 6 m x 3 mm de diámetro externo 10% FFAP en Chromosorb WAWDMCS 80/100.

Temperatura: 100°C

Límite de detección: no determinado

Método NIOSH 3700

Toma de muestra: Bolsa

Caudal: de 0.02 a 5L/min.

Estabilidad de la muestra: < 4 horas

Margen estudiado: 0.03 a 100 ppm.

Análisis de la muestra

Técnica: Cromatografía de Gases y detector de fotoionización (PID), portátil.

Columna: capilar de CPSil 5CD Macrobore

Temperatura: 30°C isoterma.

Límite de detección: 0.01 ppm para 1 ml de inyección.

Método NIOSH 1500

Toma de muestra: Tubo de carbón activo de coco (100/50)

Caudal : < 0.20 L/min; Vol: 5 L (min) y 30 L (max).

Estabilidad de la muestra: hasta 2 semanas.

Margen estudiado: 0.09 a 0.35mg

Análisis de la muestra

Técnica: Cromatografía de gases y detector FID.

Columna de de vidrio de 3 m x 2 mm, 20% SP2100 sobe. Supelcoport 80/100 u otra equivalente.

Temperatura: programada 50°C (inicial) 15°C/min hasta 150°C

Límite de detección: 0.001 a 0.01 mg por muestra en columna capilar.

Método 3M Monitores pasivos

Toma de muestra: monitor pasivo 3M3500 para vapores orgánicos.

Tiempo de toma de muestra: > 2 horas.

Estabilidad de la muestra: hasta 2 semanas

Margen estudiado : 1 a 33 mg/m³

Análisis de la muestra

Técnica: Cromatografía de gases y detector FID.

Columna: Capilar 50 m x 0.2 mm de diámetro interno y 0.5 mm de espesor de capa.

Temperatura: 100°C isoterma

Límite de detección: 0,001 mg/muestra con un tiempo mínimo de toma de muestra de 2 horas.

El uso de los tubos colorimétricos está indicado para estimar la concentración puntual del contaminante en el aire, detectar fugas, estimar la concentración del contaminante en áreas cercanas a la fuente, espacios cerrados o para realizar un tamizaje de las condiciones ambientales. Los procedimientos de tamizaje no se deben utilizar para determinar conformidad con los valores límite. Los tubos de lectura directa presentan limitaciones por falta de especificidad y sensibilidad. La interpretación de los resultados puede ser afectada por el tiempo la temperatura y presión. Tales limitaciones fueron evaluadas por Verma, (Verma, D., & des Tombe, K., 1999).

b) Biológica

La interacción de los contaminantes químicos con el organismo se describe a partir de la sucesión de los procesos de absorción, distribución, transformación y excreción. Las vías de entrada de los contaminantes químicos al organismo, por orden de importancia, son la respiratoria, la cutánea y la digestiva, (Guardino X., y Guasch J., 2014).

Los BEI (Biological Exposure Index) representan los niveles de la sustancia química o de uno o más de sus metabolitos, o un cambio químico reversible inducido por la sustancia, que se pueden encontrar en muestras biológicas tomadas de un trabajador sano, que haya estado expuesto a la sustancia química con un nivel de exposición igual al TLV (Threshold Limit Value) . El BEI se aplica para ocho horas de exposición cinco días a la semana.

Según la ACGIH 2015, los índices de exposición biológicos (BEI), son valores de referencia de determinados productos químicos en el medio biológico, que se utilizan como límites para la evaluación del riesgo potencial para la salud en la práctica de la higiene industrial. Los valores de referencia de un indicador biológico generalmente corresponden a una concentración en la matriz biológica, para la cual casi todos los trabajadores no deben presentar efectos adversos para la salud.

Mariella Carrieri y colaboradores han realizado estudios en operadores de la industria petroquímica sobre la correlación, si la hay, entre exposición ambiental a niveles bajos de benceno y dos índices de exposición biológica en la orina al final de turno, es decir, ácido trans, trans-mucónico (t, t-MA) y ácido S-fenilmercaptúrico (SPMA).

Los datos obtenidos de monitoreo ambiental y biológico mostraron que la exposición al benceno de los operadores de la industria petroquímica fue baja (valores medios de 0.014 ppm, 101 micro-g / g creat y 2,8 micro-g / g creat, por benceno, t, t-MA, y S-PMA, respectivamente) en comparación con los límites de ACGIH. El consumo de cigarrillos se confirmó como un fuerte factor de confusión para la excreción urinaria de ambos metabolitos: estadísticamente se registró un aumento significativo de los niveles de t, t-MA y S-PMA en los fumadores en comparación con los no fumadores ($P < 0,0001$).

La mejor correlación encontrada fue entre la exposición al benceno y los niveles de S-PMA, especialmente en los no fumadores.

Una correlación más débil se encontró entre la exposición al benceno y t, t-MA, posiblemente explicada por el hecho de que este último es también un metabolito del ácido sórbico, un componente de la dieta común.

En resumen, incluso a niveles tan bajos de exposición, los metabolitos urinarios demostraron ser una herramienta útil para la evaluación de la exposición laboral individual a benceno, S-PMA apareciendo ser un biomarcador más específico de t, t-MA, sobre todo en los no fumadores, (Carrieri M. et al, 2010)

Generalmente existe una correlación directa entre el BEI y el TLV, (Tolentino D. et al, 2003) aunque en algunos casos se presentan inconsistencias entre la información obtenida por monitoreo del aire y la obtenida por monitoreo biológico, por ejemplo cuando hay exposición no ocupacional del trabajador al mismo agente químico al cual está expuesto ocupacionalmente. Otras fuentes de inconsistencia pueden ser la contaminación o deterioro de la muestra después de su recolección y variabilidad en la efectividad de los dispositivos de protección personal (guantes, máscaras respiratorias, etc.). Influyen además las condiciones particulares del trabajador, estado de salud, consumo de medicamentos, edad, género, embarazo, entre otros.

Leung Hon-Wing, (Leung, H. a. P., D.J., 1988), describieron la aplicación de la farmacocinética para obtener el BEI a partir del TLV. Este método matemático fue aplicado a benceno y tolueno entre otros compuestos y puede ser útil para relacionar los indicadores biológicos con los valores actualmente establecidos del TLV de estos agentes.

Tolentino (Tolentino D. et al, 2003), correlacionó las concentraciones de benceno en orina con las de benceno en aire, encontrando que con el método estadístico de mínimos cuadrados ponderados se puede determinar la concentración en ppm de benceno en el aire que generaría un nivel de benceno en orina entre 9 - 16 mcg/L. Este estudio es importante porque suministra una teoría estadística aplicable a otros agentes del grupo BTX-EB, para correlacionar los valores de VLP con los índices biológicos de exposición BEIs.

Estudios Realizados por Seong-Kyu Kang (Seong Kyu-kan, et al.,2005), de una parte y Javelaud, (Javelaud, B. et al., 1998). Por otra, demuestran que el t,t, ácido mucónico es un indicador fiable de la exposición a Benceno. Por ello, se ha utilizado también para observar exposición en población general, donde se corrobora que las personas que trabajan al lado de carreteras, se encuentran en contacto indirecto con benceno, lo que significa que microcontaminantes de este tipo se encuentran presentes en las gasolinas.

La medición de Benceno en sangre es posible, siempre que se realice la técnica adecuada y los laboratorios tengan un método analítico validado. Brugnone, (Brugnone, F. et. al. 1998), realiza un método en el que incluye la toma de muestra y su conservación y la estandarización, para ser analizado por cromatografía de gases y espectrometría de masa.

Kraemer, (Kramer A. et. al., 1999), identifica los trabajadores expuestos a Xileno y realiza mediciones de ácido metil hipúrico, encontrando correlación con los niveles en sangre de Xieno, basados para su momento como valores normales de 2gr/l y de xileno de 1,5 mg/l.

Coincidentemente, se indica entre otros, en el estudio de Mei-Lien Chen (Mei-Lien Chen, et al., 2002) que es posible realizar mediciones de Tolueno y Xileno, en aire expirado como indicador sensible.

Se dispone de un número limitado de métodos analíticos para la determinación de los Indicadores Biológicos de Exposición (IBE's), desarrollados y validados por el INHST, OSHA, NIOSH, HSE.

Los métodos instrumentales incluyen la metodología para la toma de la muestra, los equipos y las condiciones instrumentales para la determinación analítica del contaminante químico (de sus metabolitos o de otro indicador biológico), que esté relacionado directa o indirectamente con la exposición del trabajador al contaminante en estudio.

Las matrices utilizadas son generalmente orina, sangre o aire exhalado. Es especialmente importante el momento de toma de la muestra (antes o después del turno, jornada diaria o semanal, etc.) ya que el significado del resultado depende totalmente de esto. Para este tipo de determinaciones son válidos los criterios de preservación y transporte de la muestra, aplicados a la determinación de contaminantes en aire.

El tiempo de recolección de la muestra (tiempo de muestreo) está determinado por la duración de retención del analito o indicador biológico en estudio (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH, 2013). Debido a que la concentración del indicador biológico presente en la muestra puede cambiar rápidamente, es muy importante respetar cuidadosamente el tiempo de toma de muestras establecido para cada BEI.

Existen diferentes tiempos de toma de muestras:

1. Previo al turno: 16 horas después de concluir la exposición.
2. Durante el turno: Cualquier tiempo después de 2 horas de exposición.
3. Al final del turno: Tan pronto como sea posible después de concluir la exposición.
4. Al final de la semana de trabajo: Después de cuatro o cinco días de trabajo consecutivos con exposición.
5. A discreción: A cualquier tiempo.

En la tabla 10, se presentan las características del método 8301 NIOSH (2003), para valorar el ácido hipúrico y ácidos metil-hipúricos, reconocidos como indicadores biológicos de exposición a tolueno y xileno.

Tabla.10 Condiciones del método analítico NIOSH 8301			
BEI	Nº de Método	Muestra	Técnica analítica
Ácidos hipúrico y 2-3-y4-metilhipúricos en orina	8301	1. Orina antes del turno.	HPLC/UV: Cromatografía líquida de alta resolución con detector ultravioleta
		2. Orina al final de turno, después de 2 días de exposición	
<i>Fuente: NIOSH 2003</i>			
<i>Tomado de: http://encolombia.com/medicina/guiasmed/benceno/recomendaciones5-2/</i>			

En el Reino Unido se dispone de metodologías desarrolladas por HSE (Health and Safety Executive), entre los cuales se reporta el método para determinar la

concentración de ácido s-fenilmercaptúrico en orina como indicador biológico de la exposición a benceno. El método utiliza metodología analítica instrumental de cromatografía de gases con detector de masas.

El monitoreo biológico de exposición a estos compuestos se puede realizar mediante la determinación de la concentración de sus metabolitos en fluidos biológicos acompañado de un efecto bioquímico resultante de su presencia en el organismo.

Se debe recordar que un indicador biológico de dosis interna indica la cantidad total de sustancia introducida en el organismo. Usualmente se trata de la propia sustancia o uno de sus metabolitos (determinante).

Un indicador de dosis biológica efectiva indica la cantidad de sustancia que actuó sobre sitios biológicos significativos. Generalmente esta indicación está dada a través de productos de interacción de la sustancia o sus metabolitos con macromoléculas celulares (ADN, ARN o proteínas).

En general, las sustancias electrofílicas son capaces de reaccionar con sitios nucleofílicos de macromoléculas biológicas formando aductos. Una vez que se han formado los aductos con ADN en una etapa crítica de la carcinogénesis química, la determinación de estos compuestos puede ser útil como bioindicador precoz para el cáncer.

En la figura 6, se muestra la activación metabólica del 1-nitropireno y la formación de aductos de ADN y hemoglobina, (Neuman H., et al., 1995)

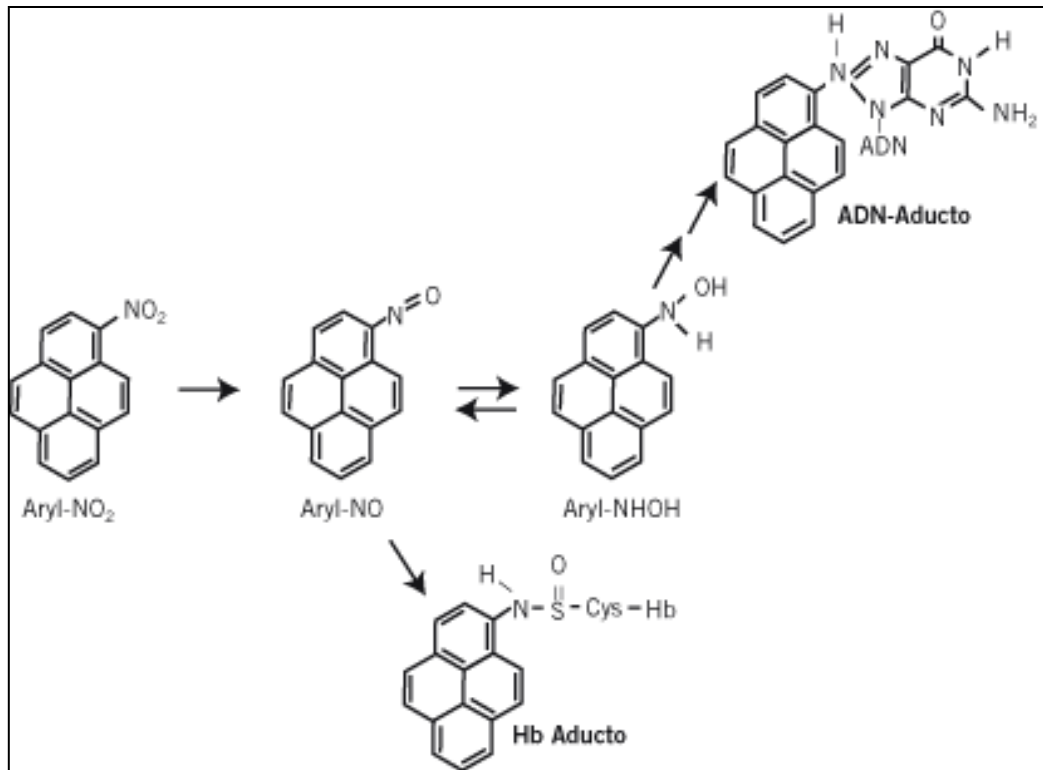


Figura 6.- Activación metabólica del 1-nitropireno y la formación de aductos de ADN
Fuente: Neuman H., et al, 1995. *Macromolecular Adducts Caused by Environmental Chemicals*

Tabla 11 Información aportada por los diferentes biomarcadores de exposición a los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) y sus derivados.

BIOINDICADOR	TIPO DE INFORMACIÓN
La sustancia química y/o sus metabolitos en muestras biológicas (orina)	Dosis interna
Mutagenicidad urinaria	Dosis interna
Aductos con proteínas	Dosis biológica efectiva
Aductos con DNA (RNA)	Dosis biológica efectiva
Proteínas oncogénicas	Dosis biológica efectiva
Mutaciones celulares	Efecto biológico precoz
Aberraciones cromosómicas	Efecto biológico precoz
Micronúcleos	Efecto biológico precoz
Síntesis no programada de DNA	Efecto biológico precoz

(Neuman HS., 1989), y (Gandjean P., 1995).

Uno de los métodos más utilizados para la cuantificación de aductos de DNA es el realizado por marcación con ³²P (23) (Li, K., Todorovic, R., Rogan, E., Jankoviak R., 1995) y (24) (Scheppers, P., Beenackers, M., Leppe, r A., 1995).

Normalmente, la determinación cuantitativa del DNA químicamente alterado por formación de aductos, no es fácil debido a las pequeñas concentraciones de estos compuestos, a la eficiencia de los mecanismos biológicos de reparación, a la dilución de los aductos por la división celular y la dificultad de poner en evidencia al DNA humano, sobre todo teniendo en cuenta la gran variedad de órganos blancos de diversos HAPs.

Por esto, se ha puesto particular atención en el estudio de los aductos formados por reacción entre los agentes carcinógenos y las proteínas, como indicadores de nivel de reacción con el ADN. La hemoglobina es una proteína utilizada en estas técnicas y tiene una vida media de 120 días, pudiendo servir como indicador de exposición a agentes mutagénicos durante este período.

Algo similar ocurre con la albúmina, que es una proteína sintetizada por el hígado, posee una vida media de 21-25 días y sirve como transportadora de compuestos lipofílicos. Los dihidrodiolepóxidos de muchos HAPs pueden formar ésteres con los residuos del ácido aspártico o glutámico de la albúmina.

METABOLITOS URINARIOS.

Los disolventes orgánicos son en general volátiles en condiciones normales, aunque la volatilidad varíe de unos a otros. Por tanto, la principal vía de exposición en el ámbito industrial es la inhalación. La tasa de absorción por la pared alveolar pulmonar es mucho más alta que por la pared del tracto gastrointestinal; para muchos disolventes habituales, como el tolueno, se considera normal una tasa de absorción pulmonar de un 50 %. Algunos, como el disulfuro de carbono y la N,N-dimetilformamida en estado líquido, pueden atravesar la piel intacta del ser humano en cantidades suficientes para ser tóxicas.

Cuando se absorben estos disolventes, una parte se exhala con la respiración sin sufrir biotransformación alguna, pero la mayor parte se distribuye por los órganos y tejidos ricos en lípidos como consecuencia de su lipofilia. La biotransformación tiene lugar principalmente en el hígado (y, en menor grado,

en otros órganos), haciéndose la molécula de disolvente más hidrófila, normalmente por un proceso de oxidación seguido de conjugación, y siendo excretada por los riñones a la orina en forma de metabolitos. Una pequeña parte se puede eliminar sin cambios por la orina.

Por tanto, desde un punto de vista práctico se dispone de tres materiales biológicos, orina, sangre y aire exhalado, para el control de la exposición a los disolventes. Otro factor relevante para la selección del material biológico es la velocidad de desaparición de la sustancia absorbida, medida por el semiperíodo biológico, es decir, el tiempo que necesita una sustancia para disminuir a la mitad su concentración original, es un parámetro cuantitativo. Así, los disolventes desaparecen del aire exhalado mucho antes que sus correspondientes metabolitos de la orina, lo que significa que tienen una semivida mucho más corta. Dentro de los metabolitos urinarios, el semiperíodo biológico varía dependiendo de la rapidez con que se metabolice el compuesto original, de modo que, con frecuencia, el momento del muestreo en relación con la exposición tiene una importancia crítica.

En términos generales, los metabolitos urinarios han sido los más utilizados como indicadores de exposición a diversos disolventes orgánicos. El disolvente en la sangre se analiza como medida cualitativa de exposición, porque suele permanecer menos tiempo en la misma y refleja mejor la exposición aguda, mientras que el disolvente en el aire exhalado es difícil de utilizar para calcular la exposición promedio, ya que su concentración en el aliento disminuye con mucha rapidez una vez concluida la exposición. El disolvente en la orina resulta en consecuencia ser el más adecuado para nuestro estudio.

Con respecto a la exposición ocupacional al benceno, tolueno y xileno, existe una legislación vigente encargada de regular los niveles presentes, ya sea mediante medidas ambientales o índices biológicos (ver anexos). Estos últimos presentan un interés especial, ya que ponen de manifiesto la dosis real a la que se han visto expuestos los trabajadores. La valoración más empleada hoy en día para determinar estos parámetros de exposición biológica se basa en la detección de los metabolitos urinarios para cada compuesto con los que han estado en contacto. En concreto, para la exposición a la mezcla de benceno, tolueno y xileno que se produce en el ambiente de las refinerías se evalúan los

niveles de los ácidos t,t-mucónico, hipúrico y metil-hipúrico como metabolitos resultantes de ellos respectivamente. Los valores de los límites biológicos de exposición permitidos para estos compuestos son de 500 µg de ácido t,t-mucónico /g de creatinina, de 1,6 g de ácido hipúrico /g de creatinina y de 1.5 g de ácido metilhipúrico /g de creatinina en las orinas de final de jornada laboral.

Evaluación

Se puede establecer una relación lineal de los indicadores de exposición, reseñados anteriormente, con la intensidad de la misma para los correspondientes disolventes, ya sea realizando una encuesta entre los trabajadores expuestos profesionalmente a ellos, ya sea mediante la exposición experimental de voluntarios humanos. No obstante, se conoce que el nivel de la sustancia química diaria en las muestras obtenidas en personas no expuestas puede variar en función, por ejemplo, de costumbres locales (p. ej., dieta) y que puede haber diferencias étnicas en el metabolismo del disolvente. Por tanto, para el desarrollo de este trabajo, y de forma previa, se han establecido valores límite mediante el estudio de la población local implicada.

Al evaluar los resultados es preciso excluir cuidadosamente la existencia de exposición no profesional al disolvente (p. ej., por utilización de productos de consumo que lo contengan, o por inhalación intencionada) y la exposición a sustancias químicas que den origen a los mismos metabolitos (p. ej., algunos aditivos alimentarios). En caso de que exista una gran falta de correspondencia entre la intensidad de la exposición al vapor y los resultados del control biológico, la diferencia puede indicar la posibilidad de absorción cutánea. El consumo de cigarrillos inhibe el metabolismo de algunos disolventes (p. ej., tolueno), mientras que la ingesta aguda de etanol puede inhibir de forma competitiva el metabolismo del metanol.

a) Metabolismo del benceno: Ácido trans, trans-mucónico

Se metaboliza principalmente en el hígado y secundariamente en la medula ósea, generando metabolitos potencialmente activos (p-benzoquinona e

hidroquinona). El resto se une a los glóbulos rojos y a lipoproteínas circulantes donde se transforma en epoxibenceno, éste en fenol y de éste se originan los sulfoconjugados.

El primer paso es en el citocromo P-450 (CYP2E1) donde ocurre oxidación para formar oxido de benceno que tiene un proceso no enzimático para convertirse en fenol. El fenol se oxida en presencia del CYP2E1 a catecol o hidroquinona, que se oxidan en metabolitos reactivos 1,2- y 1,4-benzoquinona, respectivamente. Que tienen un efecto toxico sobre la medula ósea, los derivados fenólicos pueden ser metabolizados por la medula ósea generando mieloperoxidasas, este paso produce alteraciones en ADN como alteraciones mitóticas o translocaciones cromosómicas, la inhibición de la CPYs reduce la genotoxicidad del benceno, la exposición ocupacional de personas con fenotipo que corresponde a un metabolismo rápido del CYP2E1 son más susceptibles de desarrollar toxicidad que aquellos que expresan el metabolismo CYP2E1 lento.

La mayor ruta de eliminación es por expiración del benceno inalterado, en un 80 %, el benceno que es absorbido se excreta como fenol, ácido s-fenilmercaptúrico y ácido mucónico siendo eliminado por orina aproximadamente en 48 horas. El ácido trans, trans-mucónico urinario se ha detectado en los humanos y animales expuestos al benceno, aunque su precursor reactivo, el trans, trans-muconaldehído; no ha sido descubierto in vivo, (ATSDR, 2010).

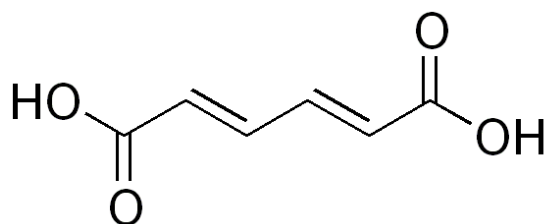


Figura 7.- Estructura química del ácido trans,trans-mucónico
.Fuente: Sigma-Aldrich catalog.

b) Metabolismo del tolueno.

La toxicidad del tolueno puede explicarse principalmente por su metabolismo. Como el tolueno tiene muy baja solubilidad en agua, no puede salir del cuerpo por las rutas normales (orina, heces o sudor). Debe ser metabolizado para ser

excretado. El grupo metilo del tolueno se oxida más fácilmente por el citocromo P450 que el anillo bencénico. Por lo tanto, en el metabolismo del tolueno, el 95% es oxidado para convertirse en bencil alcohol.

Los metabolitos tóxicos se crean por el 5% restante, como se puede ver en la figura 8, que son anillos oxidados hasta epóxidos. La mayoría de los epóxidos se convierten en glutatión conjugado. Sin embargo, el resto dañará la célula severamente.

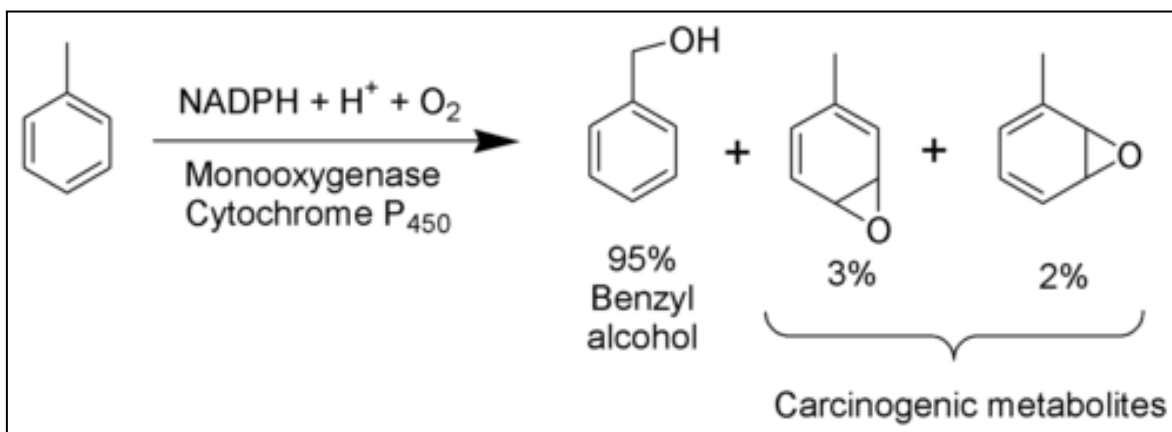


Figura 8.- Metabolismo del Tolueno

Fuente: Wikimedia Commons (Dominio Público),

Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toluene_Metabolism_Scheme.png

El tolueno es excretado principalmente como ácido benzoico y ácido hipúrico, como podemos ver en la figura 9, ambos formados por oxidación metabólica del bencil alcohol, (Angerer, J and Hörsch, B., 1992).

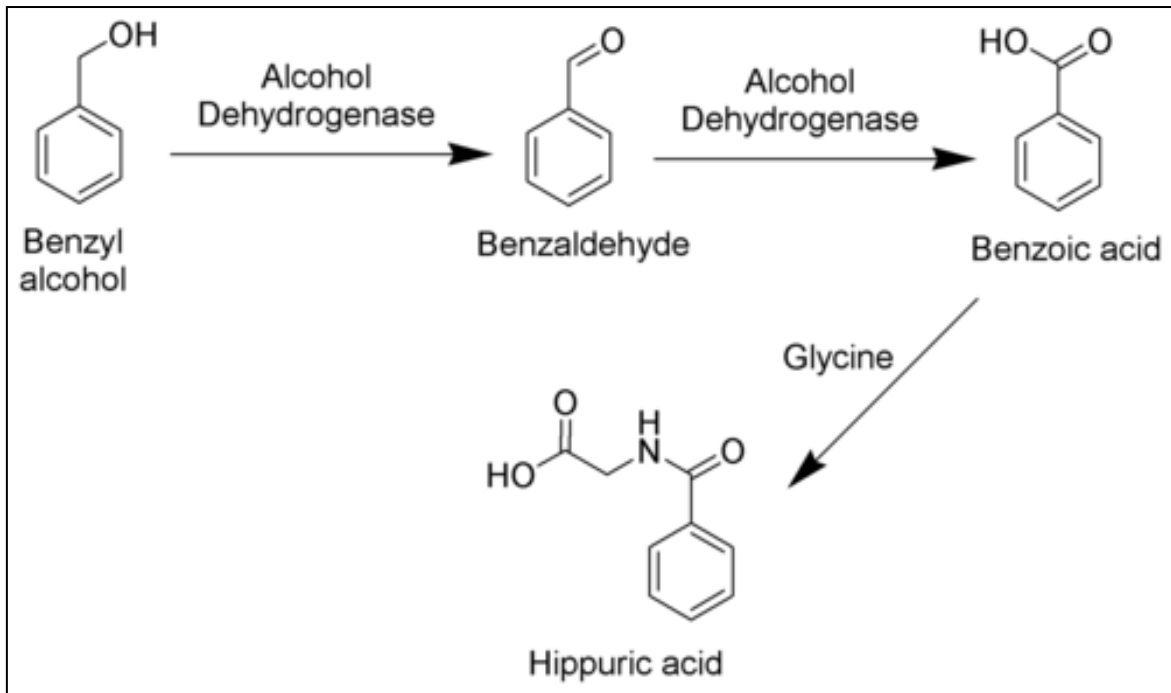


Figura 9.- Excreción del tolueno como ácido benzoico y ácido hipúrico
Fuente: Wikimedia Commons (Dominio Público).

Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Benzyl_Alcohol_Metabolism_Scheme.png

c) Metabolismo del xileno.

Se ha calculado que en el hombre se metaboliza aproximadamente el 95% del xileno absorbido, y solamente del 3% al 6% se excreta inalterado en el aire espirado.

La ruta metabólica principal es la oxidación de los ácidos metilbenzoicos, en el hombre, conjugan principalmente con la glicina para formar los ácidos o-, m- y p-metilhipúricos (ácidos tolúricos) que se excretan en la orina. Los metabolitos del xileno se excretan rápidamente, siendo normal encontrar que la cantidad de ácido metilhipúrico excretada alcance un máximo al final del período de exposición. El metabolismo del xileno puede verse alterado por la ingesta de etanol, la actividad física, consumo de aspirina y fenobarbital.

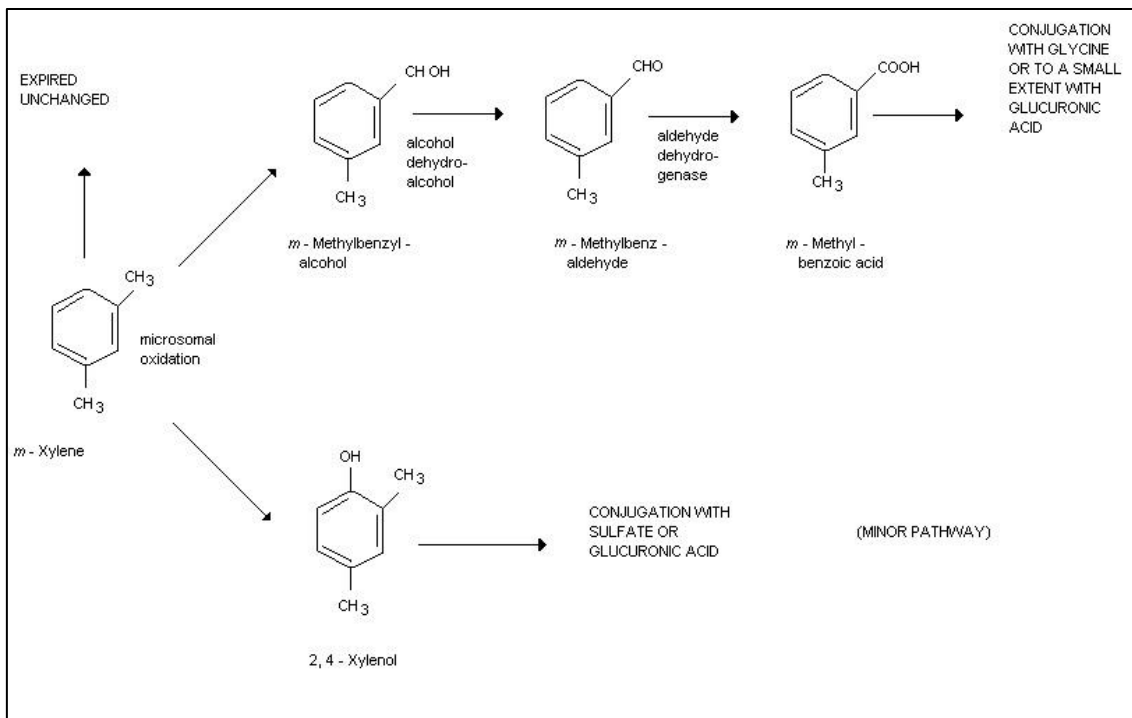


Figura 10.- Rutas de biotransformación del Xileno en el organismo.

Fuente: International Programme on Chemical Safety- IPCS-INCHEM

Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc190.htm>

Valores Límite de Exposición Ambiental Americanos y Españoles.

Descripción de los valores límites ambientales (TLV's) adoptados por la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*.

TLVs: (*threshold limit values*) Valores Límites Umbrales o valores límites permisibles: Se refieren a las concentraciones de sustancias químicas en el aire y representan las condiciones bajo las cuales se cree que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin efecto adverso en su salud.

TLV-TWA: (*threshold Limit Value-Time-Weighted Average*). Valor límite promedio ponderado: Es la concentración promedio ponderada de contaminante en tiempo para una jornada convencional de 8 horas/ día, con 40 horas/semana, en la cual casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente, día tras día, sin efectos adversos en su salud.

TLV-STEL: (*Threshold Limit Value-Short Term Exposure Limit*). Valor límite de exposición a corto término: Concentración de contaminante a la cual los trabajadores pueden estar expuestos continuamente en un período corto de tiempo (15 minutos). Es el valor de referencia para la exposición de corta duración y no podrá ser superado por ninguna exposición de corta duración EC.

TLV-C: (*Threshold Limit Value-Ceiling*). Límite de exposición TECHO o TOPE: Concentración de contaminante que no debe ser excedida en ningún momento durante el trabajo.

Descripción de los diferentes valores límites ambientales reconocidos por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene (INSHT):

VLA (ED): Es el valor de referencia para la Exposición Diaria (ED), representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 horas semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.

VLA (EC): Es el valor de referencia para la Exposición de Corta Duración (EC), El VLA-EC no debe ser superado por ninguna EC a lo largo de la jornada laboral. Para aquellos agentes químicos que tienen efectos agudos

reconocidos pero cuyos principales efectos tóxicos son de naturaleza crónica, el VLA-EC constituye un complemento del VLA-ED y, por tanto, la exposición a estos agentes habrá de valorarse en relación con ambos límites. En cambio, a los agentes químicos de efectos principalmente agudos como, por ejemplo, los gases irritantes, sólo se les asigna para su valoración un VLA-EC.

Para la presente evaluación una vez obtenidos los valores de exposición mediante el monitoreo personal de los trabajadores, se establecerá la comparación con los valores límites más restrictivos, como criterio más beneficioso para la salud del trabajador, que estén establecidos por organismos reconocidos internacionalmente.

Valores Límite de Exposición a Ambiental a Benceno Tolueno y Xileno, (BTX's).

En 1946, el Límite de exposición ocupacional a Benceno en los Estados Unidos, promulgado por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales, fue de 325 mg/m³ (100 ppm), pero hoy en día la mayoría de los países europeos y norteamericanos han armonizado a 1,63-3,25 mg/m³ (0.5-1 ppm). Esta última cifra se acordó en la Unión Europea en 1997 y fue adoptado en la legislación nacional de cada Estado miembro. Los datos en que se establece este límite son esencialmente los mismos que los utilizados por otras comisiones normativas, lo que es un excelente ejemplo de cómo las normas se establecen utilizando valores de la ciencia, el pragmatismo y de la sociedad en ausencia de la información completa, (Capleton AC, Levy LS., 2005).

De acuerdo con la ACGIH 2014, los TLV se refieren a las concentraciones de agentes químicos en el aire y representan las condiciones bajo las cuales se cree que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos diariamente sin efecto adverso y se determinan con base en la información obtenida de la experiencia en la industria, estudios experimentales con seres humanos y animales o de una combinación de estas tres fuentes de datos, cuando es posible.

En España los Límites de Exposición profesional (L.E.P.) son valores de referencia para la evaluación y control de los riesgos inherentes a la exposición, principalmente por inhalación, a los agentes químicos presentes en los puestos de trabajo y, por lo tanto, para proteger la salud de los trabajadores y a su descendencia.

Estos valores se han desarrollado como límites que no se deben sobrepasar, para ayudar en el control de riesgos para la salud, no se deben tomar como estándares con fines legales sino como valores recomendados para los programas de higiene y seguridad en el trabajo. Esta información debe ser utilizada, interpretada y aplicada únicamente por profesionales especialistas en higiene

El valor límite para los gases y vapores se establece originalmente en ml/m³ (ppm), valor independiente de las variables de temperatura y presión atmosférica, pudiendo también expresarse en mg/m³ para una temperatura de 20°C y una presión de 101,3 kPa, valor que depende de las citadas variables.

La conversión de ppm a mg/m³ se efectúa utilizando la siguiente ecuación:

$$VLA \text{ en mg/m}^3 = \frac{(VLA \text{ en ppm}) \times (\text{peso molecular del agente químico en gramos})}{24,04}$$

Debido a que existe amplia variación en la susceptibilidad individual, un pequeño porcentaje de trabajadores puede experimentar molestias por algunas sustancias químicas aún a concentraciones menores al VLA's o TLVs; un porcentaje más pequeño puede ser afectado más seriamente porque se agrava una condición pre-existente o porque desarrolla una enfermedad ocupacional. Pueden existir individuos hiper-susceptibles que presentan reacciones no usuales ante algunas sustancias químicas, debido a factores genéticos, edad, hábitos personales (tabaquismo, alcohol, o uso de drogas), medicación o exposiciones previas.

Hay tres categorías de TLV de acuerdo con la ponderación respecto al tiempo: TLV-TWA, TLV-STEL, TLV- CEILING,.

Para los límites de exposición profesional (L.P.E.), existe dos categorías el Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria (VLA-ED) y Valor Límite Ambiental-Exposición de Corta Duración (VLA-EC), también una tercera categoría complementaria el Límites de Desviación (LD).

Los Valores Límite de exposición profesional; valor límite ambiental de exposición diaria (VLA-ED) y valor límite ambiental de corta duración (VLA_EC), establecidos en España por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, para el año 2015 y para los agentes químicos, Benceno, Tolueno y Xileno, se pueden ver en la Tabla 12

Tabla 12.- Valores Límites Ambientales para BTX's, según tabla de Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2015

Agente Químico	C	M	VLA-ED		VLA-EC		Notas
			ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Benceno	1A	1B	1	3,25	----	----	Vía dérmica
Tolueno	--	--	50	192	100	384	Vía dérmica
Xileno			50	221	100	442	Vía dérmica

NOTA:

La columna "C" indica la categoría de carcinógeno; luego C1A significa que se sabe que es carcinógeno para el hombre, en base a la existencia de pruebas en humanos.

La columna "M" indica la categoría de mutagenicidad; luego M1, significa que se trata de una sustancia de al que se sabe o se considera que introduce mutaciones hereditarias en las células germinales humanas, y la letra B (M1B), indica que esta clasificación se basa en resultados positivos de ensayos de mutagenicidad hereditaria en células germinales de mamífero *in vivo*; o resultados positivos de ensayos de mutagenicidad en células somáticas de mamífero *in vivo*, junto con alguna prueba que haga suponer que al sustancia puede causar mutaciones en células germinales. Esta información complementaria puede proceder de ensayos de mutagenicidad/genotoxicidad en células germinales de mamífero *in vivo*, o de la demostración de que la sustancia o sus metabolitos son capaces de interaccionar con el material genético de las células germinales; o resultados positivos de ensayos que muestren efectos mutagénicos en células germinales de personas, sin que esté demostrada la transmisión a los descendientes; por ejemplo, un incremento de la frecuencia de aneuploidía en los espermatozoides de los varones expuestos.

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Documentación (LEP). Edición online. (www.insht.es). Consultado: 5 de Junio de 2014

Los conocimientos científicos actuales no permiten identificar niveles de exposición por debajo de los cuales no exista riesgo de que los agentes mutágenos y la mayoría de los cancerígenos produzcan sus efectos característicos sobre la salud. No obstante, se admite la existencia de una relación exposición-probabilidad del efecto que permite deducir que cuanto más baja sea la exposición a estos agentes menor será el riesgo.

En la tabla 13 podemos ver los valores límite establecidos en distintos países de la Unión Europea y también en los Estados Unidos de América, para los contaminantes que podemos encontrar con mayor frecuencia en una refinería.

Tabla 13.- Valores Limites Ambientales en el año 2010 de los contaminantes más frecuentes en una Refinería de petróleo.

SUSTANCIA	Sulfuro de Hidrógeno		Benceno		Tolueno		Xileno		Fenol		Monóxido de Carbono		Monóxido de Nitrógeno		Dióxido de Nitrógeno		Dióxido de Azufre		Hidrocarburo Aromático Policíclico	
CAS N°	7783-06-4		71-43-2		108-88-3		1330-20-7		108-95-2		630-08-0		10102-43-9		10102-44-0		7446-09-5		-	
PAÍS	V.L. ² 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.	V.L. 8 h	V.L. 15 min.
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	mg/m3	mg/m3
Austria	10	10	1	4	50	100	50	100	2		30	60	25		3	6	2	4		
Bélgica	10	15	1		50	100	50	100	2		25		25		3	5	2	5		
Canadá	10	15	1	5	50		100	150	5		35	200	25		3		2	5		
Dinamarca	10	20	0,5	1,0	25	50	25	50	1	2	25	50	25	50	2	2	0,5	1	0.2	0.4
Francia	5	10	1		50	100	50	100	2	4	50		25			3	2	5		
Alemania	5	10			50	200	100	200			30	30	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5		
Hungría																				
Italia			1		50		50	100	2				25							
Japón	10		10		20		100													
Polonia																				
España	10	15	1		50	100	50	100	2		25		25		3	5	2	5		
Suecia	10	(15)	0,5	3	50	100	50	100			35	100	1		2	(5)	2	(5)		
Suiza	5	10	0,5		50	200	100	200	5	5	30	30	25		3	3	0,5	0,5		
Países Bajos																				
USA	4	20	0.5	2.5	20		100	150	5		50		25			5	5			
Reino Unido	5	10	1		50	100	50	100	2		30	200	(25)	(35)	(3)	5	(2)	(5)		

Fuente: Elaboración propia

² Valor Límite

VALORES LÍMITE BIOLÓGICOS (VLB)

Son los valores de referencia para los Indicadores Biológicos asociados a la exposición global a los agentes químicos. Los **VLB** son aplicables para exposiciones profesionales de 8 horas diarias durante 5 días a la semana. La extensión de los **VLB** a períodos distintos al de referencia ha de hacerse considerando los datos farmacocinéticos y farmacodinámicos del agente en particular.

En general, los **VLB** representan los niveles más probables de los Indicadores Biológicos en trabajadores sanos sometidos a una exposición global a agentes químicos, equivalente, en términos de dosis absorbida, a una exposición exclusivamente por inhalación del orden del **VLA-ED**. La excepción a esta regla la constituyen algunos agentes para los que los **VLA** asignados protegen contra efectos no sistémicos. En estos casos, los **VLB** pueden representar dosis absorbidas superiores a las que se derivarían de una exposición por inhalación al **VLA**.

Las bases científicas para establecer los **VLB** pueden derivarse de dos tipos de estudios: Los que relacionan la intensidad de la exposición con el nivel de un parámetro biológico, los que relacionan el nivel de un parámetro biológico con efectos sobre la salud.

Los **VLB** no están concebidos para usarse como medida de los efectos adversos ni para el diagnóstico de las enfermedades profesionales.

El control biológico debe considerarse complementario del control ambiental y, por tanto, ha de llevarse a cabo cuando ofrezca ventajas sobre el uso independiente de este último.

El control biológico puede usarse para completar la valoración ambiental, para comprobar la eficacia de los equipos de protección individual o para detectar una posible absorción dérmica y/o gastrointestinal.

Los indicadores biológicos medidos en orina son habitualmente analizados en muestras puntuales tomadas en momentos determinados, ya que en el entorno laboral no es fácil ni seguro obtener muestras de orina correspondientes a períodos largos de tiempo (p.e. 24 horas), las cuales proporcionarían una

información más exacta sobre la eliminación del xenobiótico. Sin embargo, la medida cuantitativa de la exposición a partir de muestras puntuales puede verse afectada por la variabilidad en la producción de orina, debido a factores como la ingestión de líquidos, la temperatura excesiva, la carga de trabajo, el consumo de medicamentos, etc. que pueden producir efectos de concentración o dilución de la orina, y afectar así al resultado de los indicadores.

Por esta razón, es necesario corregir estos resultados, refiriéndolos a la concentración de alguna sustancia con mecanismo de excreción renal similar al del compuesto de interés y cuya eliminación se mantenga razonablemente constante a lo largo del tiempo.

Es práctica común referir los resultados de los indicadores a la concentración de creatinina (sustancia que se elimina por filtración glomerular, como la mayoría de los contaminantes y sus metabolitos) medida en la misma muestra, expresándose los resultados en peso del indicador por unidad de peso de creatinina. Cuando éstos sean excretados por otro mecanismo, como la difusión tubular renal, no se realizará esta corrección, expresándose los resultados directamente en términos de concentración.

Se rechazarán las muestras de orina muy diluidas (densidad < 1,010 g/ml, creatinina < 0,3 g/l) y las muy concentradas (densidad > 1,030 g/ml, creatinina > 3,0 g/l), debiendo repetirse en estos casos la toma de muestra.

En cuanto a los indicadores biológicos medidos en sangre, mientras no se indique lo contrario, se entenderá que la muestra debe ser tomada en sangre venosa.

Interpretación de los resultados de los indicadores biológicos (IB)

Cuando la medida, en un trabajador, de un determinado indicador biológico supere el **VLB** correspondiente no debe deducirse, sin mayor análisis, que ese trabajador esté sometido a una exposición excesiva, ya que las diferencias individuales, biológicas o de conducta, tanto fuera como dentro del ámbito laboral, constituyen fuentes de inconsistencia entre los resultados del control ambiental y los del control biológico.

De todos modos, incluso en el caso de una superación de carácter puntual, debe ponerse en marcha una investigación con el objetivo de encontrar una explicación plausible para esa circunstancia y actuar en consecuencia o, en su defecto, descartar la existencia de factores causales vinculados al desempeño del puesto de trabajo. Entretanto se alcanza una conclusión al respecto y sin perjuicio de lo que establezcan disposiciones específicas, se deberían adoptar medidas para reducir la exposición del trabajador afectado.

Al margen de esta consideración individual de los resultados, el agrupamiento de los datos correspondientes a los trabajadores de un grupo homogéneo con respecto a la exposición permitirá obtener información sobre el grado de eficacia de las medidas de protección y prevención adoptadas.

Los Valores Límite de exposición profesional; **Indicadores Biológicos de Exposición (IB's)**, establecidos en España por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene para el año 2015 y para los agentes químicos Benceno, Tolueno y Xileno, se pueden ver en la Tabla 14.

Los determinantes establecidos para estos agentes químicos son: para el Benceno, el Ácido S-Fenilmercaptúrico en orina; el ácido t-t-mucónico en orina y Benceno total en sangre. Para el Tolueno el o-Cresol en orina; ácido hipúrico en orina y Tolueno en sangre; y para los Xilenos: Ácidos metilhipúricos en orina.

Tabla 14.- Valores Límite Biológicos (VLB's) para BTX's según tabla de Valores Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, adoptados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para el año 2015

Agente Químico	Sustancia indicadora y matriz biológica	Tiempo del muestreo	Valor VLB	Notas
Benceno	Ácido Fenilmercaptúrico en orina	Al final de la jornada laboral (2)	0,045 mg/g. creatinina	
	Ácido t-t-Mucónico en orina	Al final de la jornada laboral (2)	2 mg/L.	
	Benceno total en sangre	Al final de la jornada laboral (2)	5 µg/L.	
Tolueno	o-Cresol en orina	Al final de la jornada laboral (2)	0,5 mg/L.	F
	Ácido hipúrico en orina	Al final de la jornada laboral (2)	1,6 g/g. creatinina	F, I
	Tolueno en sangre	Principio de la última jornada de la semana laboral (5)	0,05 mg/L.	--
Xileno (grado técnico)	Ácidos metilhipúricos en orina	Al final de la jornada laboral (2)	1,0 g/g. creatinina	---

NOTAS:

Cuando el final de la exposición no coincida con el final de la jornada laboral, la muestra se tomará lo antes posible después de que cese la exposición real.

(5) Significa antes del comienzo de la quinta jornada consecutiva de exposición.

(F) Fondo. El indicador está generalmente presente en cantidades detectables en personas no expuestas laboralmente. Estos niveles de fondo están considerados en el VLB establecido. Significa que el Indicador biológico es inespecífico, puesto que puede encontrarse después de la exposición a otros agentes químicos.

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Documentación (LEP). Edición online. (www.insht.es). Consultado: 5 de Junio de 2014

Niveles de referencia en la exposición ocupacional a HAP

En general, los niveles de referencia en el ambiente laboral se determinan mediante diversos indicadores, frecuentemente conocidos por sus siglas en inglés. Por ejemplo el límite de exposición permisible (PEL, permissible exposure limits), límites de exposición recomendados (REL, recommended exposure limits), o valor límite umbral (TLV, threshold limit values). Evidentemente las concentraciones medidas en el aire del ambiente de trabajo pueden variar, pero se dan referidas a una jornada de trabajo, en general tomada como 8 horas, lo que se conoce como promedio temporal ponderado.

(TWA, time-weighted average). Para los HAP, el estándar químico que se ha tomado como referencia es la concentración de compuestos volátiles solubles en benceno que se desprenden por el calentamiento del alquitrán de hulla o la brea, conocida por sus siglas en inglés CTPVs (coal tar pitch volatiles, benzene-soluble fraction).

El Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de los EEUU ha establecido un límite de exposición ocupacional recomendado como concentración promedio ponderado de tiempo (REL-TWA) para los productos de alquitrán de hulla (medidos como CTPVs) de 0,1 mg/m³ en una jornada laboral de 10 horas, durante una semana de trabajo de 40 horas.

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) recomienda un límite de exposición ocupacional para los productos del alquitrán de hulla de 0,2 mg/m³ en una jornada laboral de 8 horas, durante una semana de trabajo de 40 horas. También en los EEUU, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA) ha establecido un límite de cumplimiento legal de 0,2 mg/m³ promediado durante una exposición de 8 horas.

En el estudio de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y su problemática como riesgo laboral, en ocasiones se dan los valores regulados para el B_aP como representante de los demás HAP's, por ser el de mayor potencial cancerígeno. La Fundación Alemana de Investigación (DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft) establece unos límites de concentración máxima (promedio ponderado por 8 horas) para el B_aP de 5 µg/m³ durante la producción y carga de los hornos de coquificación, y 2 µg/m³ en el resto de localizaciones.

En España el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ha establecido el límite de exposición de 2 µg/m³ para el B_aP.

Se debe recordar que un indicador biológico de dosis interna indica la cantidad total de sustancia introducida en el organismo. Usualmente se trata de la propia sustancia o uno de sus metabolitos.

1.8. Exposición dérmica a Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's).

Históricamente, en la evaluación de la exposición a los agentes químicos se ha dado mayor atención a la vía aérea que a la vía dérmica. Específicamente en la valoración por exposición a vapores orgánicos, la inhalación se ha considerado como la principal ruta de ingreso de dichos contaminantes al organismo. Sin embargo, es reconocido que los riesgos por exposición a los agentes del grupo BTX en el ambiente de trabajo pueden darse por inhalación del agente y por absorción a través de la piel. Puede darse también ingreso de contaminante en el organismo, por ingestión, bien accidental o falta de higiene a la hora de comer con las manos, pero esta vía de exposición debemos considerarla accidental, o bien fácilmente controlable con medidas de higiene apropiadas.

La importancia de la vía dérmica es reconocida por OSHA, NIOSH y ACGIH y otras organizaciones responsables del establecimiento de los valores límites de exposición. Las publicaciones de dichos organismos incluyen lo que se conoce como notación “piel”, identificando la vía dérmica como ruta importante de exposición para los agentes a los cuales se les ha asignado esta notación. La notación “piel” permite identificar los compuestos específicos que después de ser absorbidos a través de la piel pueden causar toxicidad sistémica. Cuando no se dispone de esta notación, para valorar la posible absorción dérmica de la sustancia involucrada se deben evaluar sus características fisicoquímicas para saber si se trata de una sustancia corrosiva (pH alto o bajo), sensibilizante (reactividad) o que realmente puede absorberse a través de la piel (buena solubilidad en lípidos y en agua).

El benceno y el tolueno tienen asignada la notación “piel” por la ACGIH (ACGIH 2005 y 2007). La DFG (Agencia Federal Alemana) asigna la notación “piel” a todos los agentes del grupo: benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. Aunque internacionalmente existen algunas inconsistencias en la asignación de la notación “piel”, esta información puede ser un buen indicador de la potencial penetración dérmica de los agentes.

Existen varias metodologías que permiten estimar la exposición vía dérmica, algunas de las cuales se mencionan a continuación.

Según el INSHT (2003), se deben considerar las siguientes circunstancias de exposición en el caso de exposición por contacto y riesgo de absorción a través de la piel:

- Localización y extensión del contacto.
- Duración y frecuencia del contacto.
- Cantidad o concentración del agente.
- Temperatura y humedad ambiental.
- Gestión incorrecta de los elementos de protección personal.
- Procedimiento de trabajo inadecuado.
- Trabajadores especialmente sensibles.
- Exposición simultánea a varios agentes

La cantidad o concentración del agente químico a considerar en el riesgo por absorción vía dérmica depende de la masa que puede mantenerse en contacto con la piel y del mecanismo de acción del agente sobre el trabajador.

Otra circunstancia que se debe tener en cuenta, es el caso de trabajadores expuestos a BTX-EB, corresponde a las lesiones de la piel (laceraciones, irritación, dermatitis, etc.), ya que éstas pueden facilitar la absorción dérmica de los disolventes (vía parenteral)

De acuerdo con la American Industrial Hygiene Association (AIHA 2006) para la evaluación de la exposición dérmica se puede aplicar la estrategia utilizada en la evaluación de la exposición ambiental (vía aérea), haciendo uso de herramientas tales como: categorización cualitativa, monitoreo (cualitativo, semi-cuantitativo y cuantitativo) y empleo de modelos. El método cualitativo propuesto por AIHA (2006) considera cinco factores de exposición dérmica: Área de contacto dérmico (ACD), concentración dérmica (CD), frecuencia de contacto dérmico (FCD), tiempo de retención dérmica (TRD) y potencial de penetración dérmica (PPD). Con el producto de estos factores se establece la variable 1: Rango de exposición dérmica. Mediante escalas cualitativas según

el efecto en salud y tipo de toxicidad del agente se establece la variable 2: Rango de peligro dérmico. El cruce de estas dos variables utilizando una matriz de calificación cualitativa permite determinar finalmente el riesgo relativo para la salud, el cual puede ser clasificado como bajo, moderado, alto y muy alto.

Dada la complejidad de los métodos mencionados anteriormente, se recomienda utilizar un método más sencillo y simplificado, el cual corresponde al método propuesto por el Instituto Nacional para la Investigación en Seguridad de Francia (INRS por sus siglas en francés), (INRS, 2005), que tiene en cuenta los aspectos siguientes:

- a) Grado de severidad del efecto tóxico de la sustancia (S).
- b) Parte del cuerpo en contacto con la sustancia (PCA).
- c) Tiempo de exposición (T)

Veamos cómo se valora cada uno de ellos.

La severidad **S** se clasifica en cinco (5) categorías, a cada una de las cuales se le asigna una puntuación en orden de menor a mayor efecto esperado, según las frases R asignadas específicamente para el agente de interés y de acuerdo con la clasificación de peligrosidad dada por la Unión Europea. (Estas frases R, están en proceso de modificación a frases H, con una mayor diferenciación en grupos, y más especificidad sobre los peligros y el estado físico de la sustancia en cuestión).

Para la PCA se establecen 4 categorías con puntuaciones diferentes según la extensión y parte del cuerpo en contacto con el agente químico. La puntuación está asociada con las extremidades superiores, el torso y/o las piernas. Se asignan valores así:

- 1, si la PCA es una mano;
- 2, si la PCA comprende ambas manos o una mano y el antebrazo;
- 3, cuando la PCA incluye ambas manos y el antebrazo o un brazo completo, y

10, si la PCA incluye miembros superiores y el torso y/o las piernas.

Al final, se calcula el **nivel de exposición global (NEG)** obteniendo el producto de los puntajes indicados anteriormente, así:

$$\text{NEG} = S \times \text{PCA} \times T$$

La interpretación de los resultados obtenidos y la acción a seguir de acuerdo con éstos son las siguientes:

- Si el puntaje es **mayor a 1.000**, la exposición se considera de máximo riesgo y se requiere una intervención inmediata.
- Si el puntaje se encuentra **entre 100 y 1.000**, existe un riesgo moderado y deben tomarse acciones correctivas
- Si el puntaje es **inferior a 100**, se considera que la situación está controlada, no se requiere modificación.

Sinclair, evaluó el coeficiente de reparto de benceno en piel humana y determinó que la penetración de benceno por la piel depende de dos factores: el tiempo de contacto y el área expuesta. Este estudio sirve para determinar la contribución de la cantidad absorbida por la piel, en comparación con la cantidad inhalada, sobre la carga total de benceno. También sería aplicable para establecer modelos farmacocinéticos para el benceno, (Sinclair G., Westerb R., Maibachb H., 2002).

1.9. JUSTIFICACIÓN.

Ana M. García y Carlos Ruiz Frutos (García, A., y Ruiz-Frutos, C., 2014), citan en las conclusiones de su capítulo sobre Enfermedades laborales que: *“Todas las estimaciones y datos disponibles apuntan al hecho de que el impacto de las enfermedades relacionadas con el trabajo es mucho mayor que el de las lesiones por accidentes de trabajo .../... Todos los agentes sociales implicados deben contribuir a la visualización de este problema y especialmente a su prevención a todos los niveles.../... es necesario hacer visible lo invisible para abordar el problema en toda su dimensión.*

En los últimos años se viene insistiendo en los foros científicos de Seguridad y Salud Laboral, en la necesidad de contar con registros fiables de la exposición laboral a agentes químicos, que permitan no sólo conocer la magnitud de las concentraciones ambientales, sino también el patrón de exposición, para poder anticipar acciones preventivas eficaces que permitan disminuir los riesgos higiénicos por exposición a agentes químicos y, por ende, las enfermedades derivadas del trabajo. En esta línea se han diseñado estudios del tipo Matrices de empleo y exposición, que desconociendo la exposición cuantitativa, se le asigna un valor estimado categorizado, mediante grupos de expertos.

En la revisión bibliográfica realizada para contextualizar el presente trabajo de investigación se ha observado que la mayoría de los estudios realizados sobre caracterización del riesgo derivado de la exposición a Benceno, Tolueno y Xileno, o a los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) se centran más en la contaminación medioambiental, que en la estrictamente laboral.

Por otra parte, la escasa y limitada existencia de estudios de caracterización del riesgo para la salud de los trabajadores de Refinerías de América del Sur, derivado de la exposición a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, y mas concretamente a BTX's, unido a la presunción de que el control de las condiciones de trabajo en los países del cono sur de América son menos restrictivas que en los países de occidente, nos han llevado a considerar de interés el abordaje del presente trabajo de investigación, que pretende aportar su granito de arena a la caracterización de la exposición a agentes químicos en general y a Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's), en particular, en los trabajadores de refinerías.

2. OBJETIVOS.

2.1.- OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la exposición laboral a Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's), de los distintos puestos de trabajo, en tres refinerías de la industria petroquímica de América del Sur.

2.2.- OBJETIVOS ESPECÍCOS.

- ✓ Realizar un programa inicial de mediciones de cribado (screening) para conocer el orden de magnitud de las concentraciones ambientales y la distribución espacial (áreas de proceso) y temporal (distintos turnos en jornada laboral) de las concentraciones ambientales de BTX's.
- ✓ Categorizar los distintos puestos de trabajo a evaluar respecto de la exposición laboral a BTX's en base a los resultados de las mediciones iniciales de screening y conforme a lo establecido en la Norma UNE-EN-689 sobre grupos homogéneos respecto de la exposición.
- ✓ Seleccionar los métodos de Muestreo y Análisis más adecuados para evaluar la exposición ocupacional de los trabajadores. Cuantificar la exposición laboral a BTX's.
- ✓ Evaluar la exposición estimada, mediante comparación con los Valores Límites de Exposición a sustancias Químicas (VLA's) por áreas de proceso o grupos homogéneos de exposición (GHE).
- ✓ Evaluar la exposición estimada, mediante comparación con los Valores Límites de Exposición a sustancias Químicas (VLA's) por puesto de trabajo. Estimar la proporción de trabajadores que presentan indicadores biológicos de exposición a Benceno, Tolueno y Xileno en base a la determinación de metabolitos en muestras de orina.
- ✓ Evaluar la exposición mediante comparación de los indicadores biológicos de exposición obtenidos en las muestras de orina con los VLB los valores límite biológicos para BTX .
- ✓ Establecer si existe correlación entre las mediciones ambientales y los indicadores biológicos de exposición tomados en las muestras de orina.

3. METOLOGÍA (Material y método)

3.1 Población y Muestra.

El presente estudio se ha implementado en tres refinerías de un mismo país sudamericano. La población total de las tres refinerías suma un total de **1.225 trabajadores**, distribuidos de la siguiente forma:

Refinería 1: 845 trabajadores

Refinería 2: 276 trabajadores

Refinería 3: 104 trabajadores

TOTAL 1.225

La población se distribuye por Plantas, Áreas y Servicios según se describe en las tres tablas siguientes; considerando cada una de dichas Plantas, Áreas o Servicios como Grupos Homogéneos, respecto de la exposición a BTX's:

Tabla 15.- Grupos Homogéneos de Exposición Laboral en la Refinería 1

REFINERIA 1: GRUPOS HOMOGENEOS DE EXPOSICIÓN

GHE	AREAS/ UNIDADES QUE INTEGRA	TRABAJADORES
GHE-1	No catalítica 1	34
GHE-2	No catalítica 2	36
GHE-3	Catalítica 1	42
GHE-4	Catalítica 2	36
GHE-5	Catalítica 3	38
GHE-6	Generación de vapor / Utilidades	28
GHE-7	Tratamiento de Aguas/ Efluentes	54
GHE-8	Setría	94
GHE-9	Administración /Servicios Generales.	180
GHE-10	Control de Calidad / Laboratorio	51
GHE-11	Llenaderas	24
GHE-12	Bunker / Control Técnico	18
GHE-13	Mantenimiento.	210

TOTAL POBLACIÓN REFINERIA 1

845

GHE = Grupo Homogéneo de Exposición

Tabla 16.- Grupos Homogéneos de Exposición Laboral en la Refinería 2

REFINERIA 2: GRUPOS HOMOGENEOS DE EXPOSICIÓN

GHE	UNIDADES QUE INTEGRA	TRABAJADORES
GHE-14	Casa Bombas	27
GHE-15	Cautivo	9
GHE-16	Llenaderas	15
GHE-17	Parsons / Universal	18
GHE-18	Tratamiento de Agues	24
GHE-19	Control de calidad / Laboratorios	22
GHE-20	Generación eléctrica / Vapor	16
GHE-21	Mantenimiento / Taller/ Operators	133
GHE-22	Administración / Servicios Generales	12

TOTAL POBLACIÓN REFINERÍA 2 **276**

GHE = Grupo Homogéneo de Exposición

Tabla 17.- Grupos Homogéneos de Exposición Laboral en la Refinería 3

REFINERIA 3: GRUPOS HOMOGENEOS DE EXPOSICIÓN

GHE	UNIDADES QUE INTEGRA	TRABAJADORES
GHE-23	Planta de tratamiento de gas	12
GHE-24	REFINERIA AMAZONAS 1 y 2	36
GHE-25	Administración / Servicios Generales	26
GHE-26	Llenaderas	6
GHE-27	Laboratorios	12
GHE-28	Mantenimiento.	12

TOTAL POBLACIÓN REFINERIA 3 **104**

GHE = Grupo Homogéneo de Exposición

Los puestos de Trabajo por cada Planta, Área o Servicio se describen en las siguientes tablas:

Tabla 18.- Puestos de trabajo por Planta, Área o Servicio en la Refinería 1

REFINERIA	GHE	PLANTA / AREA	Nº	PUESTOS DE TRABAJO
1	1	No Catalítica 1	1	SUPERVISOR
			2	OPERADOR DE HORNOS
			3	OPERADOR VISCOREDUCTORA
			4	OPERADOR VACIO
			5	OPERADOR CRUDO
1	2	No Catalítica 2	6	JEFE DE TURNO - SUPERVISOR
			7	OPERADOR TV1
			8	OPERADOR HORNOS
			9	OPERADOR CRUDO
1	3	Catalítica 1	10	OPERADOR VACIO
			11	JEFE DE TURNO
			12	SUPERVISOR
			13	OPERADOR DE MEROX
			14	OPERADOR DE CRAKING
			15	OPERADOR GASCON
1	4	Catalítica 2	16	OPERADOR DE FRACCIONAMIENTO
			17	JEFE DE TURNO/SUPERVISOR
			18	OPERADOR ESTATICO
			19	OPERADOR ESTATICO ISOMERIZADORA
			20	OPERADOR ESPECIAL CCR
1	5	Catalítica 3	21	COMPRES Y COMP. ISOMERIZADORA
			22	JEFE DE TURNO
			23	SUPERVISOR
			23	UNIDADES "S", "S1"
			25	UNIDADES "U", "U1", "Z1", "Z2"
			26	EQUIPO ESTÁTICO HDS
1	6	Generación de Vapor / Utilidades	27	EQUIPO ROTATIVO HDS
			28	JEFE DE TURNO
			29	SUPERVISOR
			30	OPERADOR DE AIRE
			31	OPERADOR CALDERA
			32	TABLERISTA MARK V
			33	TORRES DE ENFRIAMIENTO
			34	DESMINERALIZADORA
1	7	Tratamiento de Aguas / Efluentes	35	CLARIFICADOR
			36	EFLUENTES
			37	AUXILIAR EFLUENTES
			38	AGUAS SERVIDAS Y TOMA AGUA
			39	TÉCNICO OPERACIONES AGUA CRUDA
1	8	SETRIA	40	SUPERVISOR
			41	UTE+F OPERARIO
			42	UTB DOCUMENTALISTA
			43	TRAMPA RASCADORES
			44	COORD. UTB - COORD. UTA - COORD. UTE+F
			45	TABLERISTA
			46	UTA OPERARIO
			47	UTC+D

1	9	Administración y SERVICIOS	48	SUPERVISOR
			49	SECRETARIA
			50	SERVICIOS ADMINISTRATIVOS
			51	CONSERJE
			52	CHOFER
			53	MENSAJERO
			64	MEDICO
			55	ENFERMERA
			56	TRABAJADORA SOCIAL
			57	AUXILIAR DE ENFERMERIA
			58	LCDA. LABORATORIO CLINICO
			59	BOTICARIO
			60	CONDUCTOR AMBULANCIA
			61	ANALISTA DE SISTEMAS
			62	ANALISTA DE TESORERIA
			63	ANALISTA CONTABLE
			64	ANALISTA DE GESTION
			65	TECNICO DE SEGURIDAD IND.
			66	COORD. GESTION AMBIENTAL
			67	TECNICO AMBIENTAL
			68	ABOGADO
69	PROGRAMADOR INFORMAT.			
70	JEFE DE COMUNICACIÓN			
71	ASISTENTE DE ARCHIVO			
1	10	Control de Calidad / Laboratorios	72	SUPERVISOR
			73	TEC. LAB. CONTROL DESTILACIÓN
			74	TEC. LABORATORIO DE GASES
			75	TEC. LABORATORIO ANALÍTICA
			76	TEC. LABORATORIO DE AGUAS
			77	TEC. LABOR. CONTROL OCTANOS
			78	TEC. LAB. CONTROL VISCOCIDAD
			79	AUXILIAR DE LABORATORIO
1	11	Llenaderas /DESPACHO	80	OPERADOR DE DESPACHO
			81	TÉCNICO DE ALMACENAMIENTO
1	12	BUNKER Control Técnico	82	TABLERISTA CRACKING - GASCON
			83	TABLERISTAS CATALITICA 2 Y 3
			84	TABLERISTA DE CRUDO Y VISBREAKING
			85	TABLERISTA VISBRECKING Y C/V
			86	TABLERISTA DCS
			87	TABLERISTA SETRIA
1	13	Mantenimiento	88	SUPERVISOR
			89	TECNICO MANT. ELECTRICO
			90	TECN. CALDERERIA Y SOLDADURA
			91	MECANICO Y MANT. ROTATIVO
			92	TEC. MANTENIM. INDUSTRIAL
			93	OPERARIO MANT. INDUSTRIAL
			94	TECN. MANTEN. DE EQUIPOS
			95	TECNICO INSTRUMENTISTA

Tabla 19.- Puestos de trabajo por Planta, Área o Servicio en la Refinería 2

REFINERIA	GHE	PLANTA / AREA	Nº	PUESTOS DE TRABAJO
2	14	Casa Bombas	1	SUPERVISOR
			2	OPERADOR MEDIDOR
			3	MOTORISTA CASA BOMBAS
2	15	CAUTIVO	4	SUPERVISOR
			5	OPERADOR CALDERAS
			6	OPERADOR PTA ELÉCTRICA
2	16	Llenaderas/ DESPACHO	7	SUPERVISOR
			8	DESPACHADOR
			9	OPERARIO
2	17	PARSONS Y UNIVERSAL	10	SUPERVISOR
			11	TABLERISTA UNIVERSAL
			12	TABLERISTA PARSONS
			13	FOGONERO UNIVERSAL
			14	FOGONERO PARSONS
			15	MEDIDOR
			16	MECÁNICO DE GUARDIA
2	18	Tratamiento de Aguas	17	AUXILIAR AYUDANTE DE TURNO
			18	OPERADOR UNIVERSAL Y PARSONS
			19	OPERADOR TRATAMIENTO AGUAS
2	19	Laboratorio- Control de Calidad	20	OPERADOR CAUTIVO
			21	TEC. LABORAT. HIDROCARBUROS
			22	TEC. LABORATORIO DE AGUAS
2	20	Generación Eléctrica- Vapor	23	COORDINADOR, BODEGUERO, SECRETARIA.
			24	SUPERVISOR / TABLERISTA
			25	COMPRESORISTA
2	21	Mantenimiento / Taller	26	CALDERERISTA
			27	OPERADOR DE TURBINAS
			28	TÉCNICO MANTENIMIENTO
			29	AUXILIAR MANTENIMIENTO
			30	OPERADOR DE TRANSPORTE MARINO
			31	TÉCNICO INSTRUMENTACIÓN
			32	MECANICO EQUIPO PESADO
			33	AUXILIAR EQUIPO PESADO
			34	MOTORISTA
			35	TÉCN. DE SEGURIDAD Y SALUD
			36	TÉC SOLDADOR Y CALDERERIA
			37	ASISTENTE CONTABLE
			38	ANALISTA DE APLICACIONES
			39	ANALISTA GESTIÓN DE PROYECTOS
2	22	Administración y Servicios GG	40	INTENDENTE PODUCCIÓN
			41	SECRETARIA
			42	MEDICO SEGURIDAD Y SALUD
			43	TRABAJADORA SOCIAL

Tabla 20.- Puestos de trabajo por Planta, Área o Servicio en la Refinería 3

REFINERIA	GHE	PLANTA / AREA	Nº	PUESTOS DE TRABAJO
3	23	Planta de Tratº de GAS	1	SUPERVISOR
			2	TABLERISTA
			3	OPERADOR TÉCNICO
3	24	Amazonas 1 y 2	5	TEC. OPERADOR DE TURBINAS
			6	TECNICO DE SEG. INDUSTRIAL
			7	OPERADOR INDUSTRIAL
			8	TABLERISTA
			9	OPERADOR DE TURBINA
			10	JEFE DE TURNO /COORDINADOR
			11	ANALISTA EQUIPO ESTÁTICO
			12	TECNICO DE INSTRUMENTACIÓN
			13	AUXILIAR MATERIALES /LABORAT.
			3	25
15	ANALISTA DE ACTIVOS FIJOS			
16	ANALISTA DE CONTABILIDAD			
17	ANALISTA DE RR. HUMANOS			
18	ANALISTA CONTAB. DE COSTES			
19	TESORERO			
20	MEDICO DE SEGUR. Y SALUD			
21	AUXILIAR DE PROGRAMACIÓN			
22	RADIOOPERADOR			
3	26	Llenaderas		
			24	OPERADOR/DESPACHADOR
3	27	Laboratorio	25	SUPERVISOR
			26	AUXILIAR DE LABORATORIO
			27	TEC. LAB. CONTROL CALIDAD
3	28	Mantenimiento	28	TEC. MANTEN. MECANICO
			29	COORDINADOR DE MANTENTº
			30	TEC. OPERADOR TURBINAS

Los puestos de trabajo a evaluar suman un total de **168** Puestos de Trabajo, distribuidos según se muestra en la tabla 21, por refinerías:

Tabla 21.- Puestos de Trabajo por Refinería.

REFINERIA	PUESTOS DE TRABAJO
Nº 1	95
Nº 2	43
Nº 3	30
TOTAL	168

Determinación del tamaño muestral de la población para la toma de muestras de indicadores biológicos de exposición:

Con una población de 1.225 trabajadores ($N = 1.225$), deseamos obtener una muestra que nos proporcione un nivel de confianza del 95% ($Z_{\alpha/2} = 1.96$), asumiendo un error muestral máximo del 4% ($e = 0.04$) y como se desconoce la proporción esperada de trabajadores con Indicadores Biológicos de Exposición a BTX's positivos, se consideró una varianza poblacional del 50%, ($p = q = 0.5$), que maximiza el tamaño muestral:

$$n = \frac{N z_{\alpha/2}^2 P(1-P)}{(N-1)e^2 + z_{\alpha/2}^2 P(1-P)}$$

En la que:

$Z_{\alpha/2}$: z correspondiente al nivel de confianza elegido

p: proporción de una categoría de la variable

e: error máximo

N: tamaño de la población

q = 1- p

$$n = \frac{1.225 \times (1,96)^2 \times 0,5 (1-0,5)}{0,04^2 \times 1224 + 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5} = 403$$

El número de trabajadores incluidos en el estudio de toma de muestras biológicas (orina) para determinar los indicadores biológicos de exposición fue de 298 trabajadores, en la refinería 1; de 73 en la refinería 2 y de 32 en la refinería 3, sumando un total de 403 trabajadores.

Una vez obtenido el tamaño muestral en la población, se procedió a distribuir la muestra por afijación proporcional entre los 28 Grupos Homogéneos de exposición (GHE), según se describe las tablas 22,23 y 24.

Tabla 22.- Afijación proporcional de la muestra por Grupos Homogéneos, de Exposición (GHE), en la Refinería 1

GHE	UNIDADES QUE INTEGRA	POBLACIÓN	%	MUESTRA	%
GHE-1	NO CATALÍTICA 1	34	4,0	12	4,0
GHE-2	NO CATALÍTICA 2	36	4,3	13	4,4
GHE-3	CATALÍTICA 1	42	5,0	15	5,0
GHE-4	CATALÍTICA 2	36	4,3	13	4,4
GHE-5	CATALÍTICA 3	38	4,5	13	4,4
GHE-6	GENERA VAPOR / UTILIDADES	28	3,3	10	3,3
GHE-7	TRAT° DE AGUAS/ EFLUENTES	54	6,4	19	6,4
GHE-8	SETRIA	94	11,2	33	11,1
GHE-9	ADMINISTRACIÓN /S.G.	180	21,3	64	21,5
GHE-10	CONTROL CALIDAD/LABORAT.	51	6,0	18	6,0
GHE-11	LLENADERAS	24	2,8	9	3,0
GHE-12	BUNKER / CONTROL TÉCNICO	18	2,1	6	2,0
GHE-13	MANTENIMIENTO	210	24,8	73	24,5
TOTAL POBLACIÓN Y MUESTRA		845	100%	298	100%
OBSERVACIONES:					
La Refinería 1 tiene un 69% (845) de la población total de las 3 refinerías (1.225)					

GHE = Grupo Homogéneo de Exposición

Tabla 23.- Afijación proporcional de la muestra por Grupos Homogéneos, de Exposición (GHE), en la Refinería 2

GHE	UNIDADES QUE INTEGRA	POBLACIÓN	%	MUESTRA	%
GHE-14	CASA BOMBAS	27	9,0	6	8,1
GHE-15	CAUTIVO	9	3,3	3	4,05
GHE-16	LLENADERAS	15	5,4	4	5,4
GHE-17	PARSON / UNIVERSAL	18	6,5	7	9,5
GHE-18	TRATAMIENTO DE AGUAS	24	8,7	6	8,1
GHE-19	CONTROL DE CALIDAD/LABORATORIOS	22	8,0	6	8,1
GHE-20	GENERACIÓN ELECTRICA / VAPOR	16	5,8	4	5,4
GHE-21	MANTENIMIENTO/TALLER/OPERADORES	133	48,0	35	47,3
GHE-22	ADMINISTRACION /SERV. GENERALES	12	4,3	3	4,05
TOTAL POBLACIÓN Y MUESTRA		276		74	100
OBSERVACIONES:					
La Refinería 2 tiene un 22,5% (276) de la población total de las 3 refinerías (1225).					

GHE = Grupo Homogéneo de Exposición

Tabla 24.- Afijación proporcional de la muestra por Grupos Homogéneos, de Exposición (GHE), en la Refinería 3

GHE	UNIDADES QUE INTEGRA	POBLACIÓN	%	MUESTRA	%
GHE-23	PLANTA TRATAMIENTO DE GAS	12	11,5	3	9,7
GHE-24	REFINERIA AMAZONAS 1 y 2	36	34,6	11	35,5
GHE-25	ADMINISTRACION / SERV. GENERALES	26	25,0	9	29,0
GHE-26	LLENADERAS / DESPACHO	6	5,9	2	6,4
GHE-27	LABORATORIO	12	11,5	3	9,7
GHE-28	MANTENIMIENTO	12	11,5	3	9,7
TOTAL POBLACIÓN Y MUESTRA		104	100%	31	100
<p>OBSERVACIONES: La Refinería 3 tiene un 8,5% (104) de la población total de las 3 refinerías (1225)</p>					

GHE = Grupo Homogéneo de Exposición

3.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN y EXCLUSIÓN.

- Se incluyeron a todos los trabajadores en activo de alguna de las tres refinerías seleccionadas para nuestro estudio, con una antigüedad mínima de 2 años en cualquiera de las tres refinerías.
- Por motivos logísticos se excluyó a todos los trabajadores en situación de baja médica por enfermedad o accidente en el momento del estudio.
- Todos los trabajadores accedieron a participar en el estudio.

3.3.- MATERIAL y EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS.

A. Equipos para el muestreo ambiental de screening.

3.3.1- Detector simultaneo de gases Dräger X-am 7000.

El equipo Dräger X-am 7000 se utilizó para la detección simultanea de gases (determinación cualitativa de agentes contaminantes y para las mediciones iniciales de cribado. Este equipo puede ser equipado con tres sensores electroquímicos y dos sensores catalíticos o infrarrojos (o una combinación de ambos).



Figura 11.- Detector simultaneo de gases Dräger X-am 7000.

3.3.2.- Analizador de gases Dräger CMS, (para CO₂ y Mercaptanos).

El fundamento de este equipo es el mismo que el utilizado por los tubos colorimétricos, pero de mayor precisión, mejor reproductividad y más cómodo manejo (idéntico para todas las sustancias), combinando las ventajas químicas y la electrónica. El equipo, como puede verse en la figura 12, integra un chip y un analizador, ambos funcionan en combinación mediante un sistema de aspiración y otro de lectura. Cada chip cuenta con diez canales de medida, formados por tubos capilares encapsulados en una carcasa rígida de plástico que contiene un reactivo específico para cada contaminante que se pretende medir, integrados todos en un mismo bloque.



Figura 12.-Analizador de gases Dräger CMS, (para CO₂ y Mercaptanos).

Este equipo se utilizó en la fase de cribado o screening inicial, al objeto de conocer la magnitud de las concentraciones en los distintos puntos previamente establecidos.

El sistema de aspiración hace circular aire contaminado a través de uno de los tubos colorimétricos del chip. Un sensor garantiza que el caudal de aire que circula es el óptimo para realizar la medición. El propio sistema se encarga de verificar el cambio de color en el reactivo contenido en el tubo utilizado.

Cada contaminante diferente precisa de sus propios chips. Un microprocesador se encarga de reconocer o chequear automáticamente el chip introducido en el analizador (equipo común para todas las sustancias), a través de la lectura del código de barras impreso en el propio chip y utilizando métodos ópticos y electrónicos evalúa la reacción química que se produce en el capilar, determinando el valor de medida y por tanto su concentración, que viene reflejada en forma de dígitos sobre una pantalla digital. El analizador mide los productos de la reacción opto-electrónicamente, lo que minimiza las deficiencias propias del ojo humano (errores de paralaje, por ejemplo).

Este equipo proporciona una buena precisión, al llevar integrado un sensor de caudal másico que controla la bomba de aspiración y de este modo garantiza un flujo másico constante de la muestra a través del capilar del chip, por lo que la presión atmosférica no interviene en el valor medido. Por otro lado, es muy fiable debido a que mediante un sistema de autochequeo, confirma el tipo de chip y si el analizador está en condiciones de medir adecuadamente.

3.3.3.- Monitor de gases MX 6 iBrid de Industrial Scientific.



El Monitor MX 6 iBrid Scientific que se ve en la figura 13, se utilizó en la fase de cribado inicial (screening), para identificar posibles exposiciones a Óxidos Nitrosos, Acido Sulfhídrico, Dióxido de Azufre y Dióxido de Carbono.

Este equipo puede detectar hasta 6 emisiones de gas distintas de manera simultánea.

Dispone de hasta 25 opciones de sensores reemplazables (Plug-and-Play); es decir, capacidad para configurar hasta 25 posibles agentes contaminantes distintos.

El equipo esta certificado como de seguridad intrínseca para trabajos en atmosferas explosivas, sin riesgo (IECEX / ATEX).

Figura 13.- Monitor de gases MX 6 iBrid

Tabla 25.- Rangos de medición de equipo para los distintos agentes químicos

Agente Químico	Rango de medición
Gases combustibles	0 a 100% LEL con incrementos de 1%
Metano	0 a 5% del volumen, en incrementos de 0,1%
Oxígeno	0 a 30% del volumen, en incrementos de 0,1%
Sulfuro de Hidrógeno	0 a 500 ppm con incrementos de 0,1 ppm
Óxido de Nitrógeno	0 a 999 ppm, con incrementos de 1 ppm
Dióxido de Nitrógeno	0 a 99,9 ppm, con incrementos de 0,1 ppm
Dióxido de Azufre	0 a 99,9 ppm, con incrementos de 0,1 ppm
Dióxido de Carbono	0 a 5% del volumen, en incrementos de 0,1%
VOC (general)	0 a 2,000 ppm, con incrementos de 0,1 ppm

B. Equipos para el muestreo personal y determinación de las exposiciones diarias.

3.3.4.- Bomba de aspiración Gilian 5000 para muestreo personal.



En la figura 14 vemos una de las bombas de muestreo personal de bajo y alto caudal, utilizada en este estudio para determinar concentraciones ambientales de Benceno, Tolueno y Xileno,

El rango de operación de la bomba utilizada como de alto caudal es de 1.000 a 5.000 cc./minuto.

El equipo es capaz de mantener un control de caudal constante inferior al 5% del caudal seleccionado después de la calibración, de 1 a 5 litros por minuto, (1-5 LPM).

Figura 14.- Bomba de aspiración Gillian 5000

3.3.5.- Bomba de aspiración, Muestreador personal APEX- I.S.



En la figura 15 vemos una bomba de aspiración personal de bajo y medio caudal, utilizado en el presente estudio para determinar las concentraciones ambientales de Benceno, Tolueno y Xileno.

Rango de 5 ml/min a 5 l/min.

Ajuste automático de caudal en pantalla.

Pantalla LCD de gran tamaño y alta resistencia.

Batería recargable Ni/mH con autonomía superior a 45 horas con carga completa.

Tiempo de carga de baterías inferior a 3 horas.

Figura 15.- Muestreador personal APEX- I.S

3.3.6.- Calibrador Primario, modelo Defender.



El calibrador Defender es un patrón primario de calibración, diseñado para la comprobación de caudales de aspiración utilizados en Higiene Laboral, Medio Ambiente y aplicaciones de laboratorio.

El calibrador de la figura 16, fue el que se utilizó en nuestro estudio para calibrar las bombas de aspiración a los caudales que nos proponía el Metodo de Toma de Muestras y análisis utilizado.

Figura 16.- Patrón primario de calibración "Defender"

3.3.7.- Calibrador Primario de campo, modelo TSI 4146

Los muestreadores personales son herramientas para la valoración de exposición. La precisión de la muestra depende, entre otros factores, de la

precisión con la que determinemos el caudal de aspiración; es decir de cuánto aire pase a través del tren de muestreo y de un buen análisis en el laboratorio. Como práctica habitual, los las bombas de aspiración deben ser calibradas antes y después de cada muestra usando un calibrador primario. El modelo utilizado por nosotros fue el 4146, que puede verse en la figura 17 y que tiene un rango de calibración de 0.01 a 20 litros por minuto (lpm).



Figura 17.- Calibrador de campo TSI mod.4146

Estos calibradores operan mediante baterías, son ligeros, pequeños y fáciles de usar. El caudal volumétrico es mostrado en el display continuamente en tiempo real. Estos calibradores primarios tienen compensación de temperatura y corrección de presión para calcular la tasa de caudal con una precisión de aproximadamente el 2% de la lectura.

El posible error que pueden cometer estos pequeños calibradores portátiles, fue estimado en nuestro estudio en cada sesión de muestro, mediante comparación con los valores que se obtenían para el mismo tren de muestreo, con el patrón primario de calibración Defender (que se ve en la figura 16), mucho más preciso.



Figura 18.- Calibrador de campo TSI, conectado una bomba para su calibrado.

3.3.8.- Adaptador de bajo caudal PN 801961

En la fase campo y al objeto de conseguir caudales de aspiración tan bajos como requerían los agentes químicos a determinar, fue necesario hacer uso de adaptadores de bajo caudal, conectados a nuestras bombas de aspiración, según se muestra en la figura 19.

Para evitar problemas (doblecetes y estrangulamiento del tubo), la conexión entre el adaptador de bajo caudal PN 801961 y la Gilliam 5000 debe ser tan corta como sea posible. Las dos conexiones salientes de aire deben estar próximas a tocarse dentro del tubo.

El adaptador de bajo caudal también puede instalarse en el final del tubo de muestreo, cerca del portador de la muestra.



Figura 19.- Adaptador de bajo caudal, conexión a bomba Gillian 5000.

3.3.9.- Porta-tubos para captadores de muestras de carbón activo.



Los portatubos que se utilizaron en nuestro estudio para las mediciones ambientales son los que se muestran en las figuras 20 y 21.

Estos portatubos, permiten introducir los tubos de carbon activo en su interior y conectarlos, mediante tubos flexibles a la bomba, para hacer pasar aire a su través y permitir que el granulado de carbon activo retenga la muestras de gases que nos interesa.

Figura 20.- Portatubos para soporte del elemento de captación de la muestra.



Figura 21.- Fotos del tren de muestreo utilizado, con dos tubos para captación de dos contaminantes simultáneamente.

3.4.- Estudio de screening y determinación cualitativa de contaminantes.

La primera pregunta a la que se trató de dar respuesta fue: ¿Cuáles son los agentes químicos o contaminantes a los que pueden estar expuestos los trabajadores de estas refinerías?; y paralelamente a ésta, una segunda pregunta más concreta para nuestro estudio, ¿se encuentra el Benceno, entre los contaminantes presentes en la atmósfera del lugar de trabajo?.

Para dar respuesta a estas preguntas se realizó un monitoreo inicial orientada a identificar los distintos agentes químicos, cuya presencia se puede presumir en una refinería de petróleo, (Determinación cualitativa de contaminantes).

Por otra parte, se pretendía verificar si las concentraciones ambientales de los contaminantes identificados varían en función del tiempo (distintos turnos) o del espacio (distintas localizaciones dentro de la refinería o de la Planta en estudio). Estas mediciones se utilizaron también para localizar los períodos de sobreexposición o de exposición elevada; períodos que fueron tomados en consideración en el momento de establecer la estrategia y fijar los tiempos de muestreo.

Se realizaron también medidas de cribado (screening), en todas las plantas y áreas de las Refinerías, en la proximidad de las fuentes o focos de emisión identificados, obteniendo información sobre la localización e intensidad de un foco de emisión. Esta determinación permite programar mediciones en el caso o la condición más desfavorable.

En base a estas premisas y dando respuesta a las preguntas planteadas, se estableció el siguiente programa de muestreo de cribado inicial o screening.

Tabla 26.- Programa de muestreo inicial de cribado (screening). Refinería 1

REFINERÍA 1	
1. UTILIDADES/EFLUENTES	
Puntos de monitoreo	12
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	504
2. UNIDAD NO CATALÍTICA 2	
Puntos de monitoreo	6
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	252
3. UNIDAD NO CATALÍTICA 1	
Puntos de monitoreo	12
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	504
4. CATALÍTICAS 1 (Fraccionamiento, Gascón, Merox)	
Puntos de monitoreo	10
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	420
5. CATALÍTICAS 2 (CCR)	
Puntos de monitoreo	10
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	420
6. HDS	
Puntos de monitoreo	11
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto	3
TOTAL MEDICIONES	231
7. CATALÍTICA 3 (Tratamiento de Gases y Recuperación de Azufre)	
Puntos de monitoreo	11
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	462
8. SETRIA/LLENADERAS	
Puntos de monitoreo	16
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto.	1
TOTAL MEDICIONES	112
9. CONTROL DE CALIDAD / LABORATORIOS	
Puntos de monitoreo	1
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ y Mercaptanos).	7
Mediciones por cada punto.	3
TOTAL MEDICIONES	21
TOTAL MEDICIONES DE SCREENING EN LA REFINERIA 1	2.926

Tabla 27.- Programa de muestreo inicial de cribado (screening). Refinería 2

REFINERÍA 2	
1. PLANTA UNIVERSAL	
Puntos de monitoreo	8
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	432
2. PLANTA PARSONS	
Puntos de monitoreo	7
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	378
3. PLANTA CAUTIVO	
Puntos de monitoreo	12
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	648
4. PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	
Puntos de monitoreo	2
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	108
5. ALMACENAMIENTO LPG's	
Puntos de monitoreo	1
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	3
TOTAL MEDICIONES	27
6. CONTROL DE CALIDAD	
Puntos de monitoreo	1
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	54
7. PATIO DE DESPACHOS	
Puntos de monitoreo	2
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	3
TOTAL MEDICIONES	54
8. EFLUENTES Y TKs DE ALMACENAMIENTO	
Puntos de monitoreo	4
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, CO ₂ , Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	216
TOTAL MEDICIONES DE SCREENING EN LA REFINERIA 2	1.917

Tabla 28.- Programa de muestreo inicial de cribado (screening). Refinería 3

REFINERÍA 3	
1 REFINERIA AMAZONAS 1	
Puntos de monitoreo	11
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	594
2. REFINERIA AMAZONAS 2	
Puntos de monitoreo	10
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	540
3. PLANTA DE GAS (LPG's)	
Puntos de monitoreo	5
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	270
4. CONTROL DE CALIDAD	
Puntos de monitoreo	4
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	6
TOTAL MEDICIONES	216
5. PLANTA DE CAPTACIÓN DE GAS (SECOYA)	
Puntos de monitoreo	10
Contaminantes (SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, COV's, Mercaptano, Benzeno y a-pireno).	9
Mediciones por cada punto	1
TOTAL MEDICIONES	90
TOTAL MEDICIONES DE SCREENING EN LA REFINERIA 3	1.710

3.5.- Medida y valoración del riesgo higiénico por exposición a Agentes Químicos. Evaluación detallada

Como es sabido, la evaluación de la exposición a un agente químico sólo nos proporciona una estimación de la probabilidad (o, más exactamente, un juicio sobre ella) de que ese agente químico llegue a producir su efecto característico, pero nada nos dice acerca de la gravedad de ese efecto. Puesto que ésta ha de ser tenida en cuenta para medir el riesgo, y es en esta medida en la que ha de basarse la priorización preventiva, objetivo irrenunciable de la evaluación de riesgos, es evidente que no puede darse por terminada ésta en la fase anterior.

La evaluación del riesgo por exposición³ a agentes químicos pretende alcanzar los mismos tres objetivos que la de cualquier otro tipo de riesgo; es decir, decidir sobre la necesidad o no de adoptar medidas preventivas, determinar la índole de las medidas preventivas, en su caso y priorizar las medidas preventivas necesarias.

Por otra parte, siempre que no haya dificultades insalvables de orden práctico, o que no resulte, ya de entrada, totalmente evidente la conclusión, la evaluación del riesgo debe basarse en una evaluación detallada de la exposición, ya que, de esta forma, el error puede ser menor que si se basara en la consideración directa de los factores de riesgo materiales y organizativos (también llamados remotos) que dan lugar a dicha exposición. Este modo de actuación es el característico de la Higiene Industrial y constituye su contenido técnico específico.

No obstante, como ya sabemos, la evaluación de la exposición a un agente químico sólo nos proporciona un juicio sobre la probabilidad de que ese agente químico llegue a producir su efecto característico, pero no nos dice nada sobre la gravedad de ese efecto. Puesto que hay que tener en cuenta este parámetro para evaluar el riesgo, la evaluación de la exposición sólo será una parte del proceso.

Así, no debemos perder de vista que una vez completada la evaluación de todas las exposiciones de interés, aún se habrán de considerar las

³ Cuando se habla de exposición, sin adjetivos, ha de entenderse “exposición por vía inhalatoria”.

peligrosidades intrínsecas de los diversos agentes químicos, antes de establecer la preferencia de las respectivas medidas preventivas. Sólo en el caso de que todas las exposiciones lo fueran a un mismo agente, la jerarquía de las exposiciones traduciría fielmente la de los correspondientes riesgos.

El procedimiento de evaluación de la exposición que se describe en los siguientes apartados reproduce el anexo 4 de la Guía de Agentes Químicos elaborada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), con algunas modificaciones forzadas por su incardinación en un documento diferente. Constituye un complemento y no una alternativa a la metodología de estimación del riesgo potencial de una exposición y debe ser aplicado, en los casos en que aquélla aboque a la necesidad de mediciones ambientales, que son todos salvo los de nivel de riesgo 1.

En resumen, la medición es una opción a justificar y no una rutina, pero cuando está indicada ha de ajustarse a un procedimiento normalizado que garantice una mínima fiabilidad y validez de sus resultados.

Grupos de Exposición Homogénea (GEH)

Un grupo de exposición homogénea viene definido por la asociación entre una función de trabajo y un agente químico (o varios que producen el mismo efecto), en un ambiente dado.

Así, en principio, entre los trabajadores que desempeñan el mismo puesto de trabajo, habrá tantos GEH como agentes químicos de efectos independientes a los que estén expuestos.

Todo el procedimiento de evaluación de la exposición descrito en este apartado y, por tanto, también a los resultados que se obtengan, se aplican a cada grupo de exposición homogénea.

Naturalmente, la principal utilidad de este concepto es permitir el establecimiento de conclusiones sobre el grupo en base a mediciones realizadas para algunos de sus miembros. La norma UNE- EN 689 (AENOR: UNE-EN-689) admite una proporción tan baja como uno de cada diez.

La conclusión del proceso de evaluación detallada será la clasificación de la exposición de cualquier GEH en una de las tres categorías siguientes:

- *Exposición aceptable*

No requiere seguimiento mediante mediciones periódicas.

- *Exposición tolerable*

Presenta riesgos de deriva y, por tanto, es tributaria de seguimiento mediante mediciones periódicas.

- *Exposición inaceptable*

Necesita corrección para reducir la exposición y, posteriormente, una nueva evaluación.

Si se pretende medir la exposición real de los trabajadores, las mediciones de concentración han de ser personales, esto es, efectuadas mediante equipos que portan los sujetos mientras trabajan, y cuya cabeza de captación está situada en la zona de respiración⁴.

Las mediciones de área o estáticas, es decir, las realizadas en posiciones fijas, pueden servir en ocasiones para evaluar la exposición por exceso, por lo que no deben descartarse totalmente.

3.5.1.- Evaluación de la Exposición Diaria (ED)

La ED es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real, y referida a una jornada estándar de 8 horas. Referir la concentración media a dicha jornada estándar implica considerar el conjunto de las distintas exposiciones del trabajador a lo largo de la jornada real de trabajo, cada una con su correspondiente duración, como equivalente a una única exposición uniforme de 8 horas.

Es evidente que sólo procederá la evaluación de la ED a un agente químico cuando éste tenga establecido un valor límite para ella. En tal caso, el procedimiento habrá de comenzar por la determinación de uno o más valores de ED en el GEH, por lo que, lo primero que se ha de establecer es cómo se determina la ED de una jornada.

⁴ Véase su definición en la norma UNE- EN 1540 Atmósferas en el lugar de trabajo. Terminología.

3.5.2.- Determinación de la ED de una jornada

Esta determinación se realiza mediante un proceso de tres etapas sucesivas.

División de la jornada en períodos de exposición uniforme.

Consiste, en dividir la jornada de trabajo del GHE en tareas bien definidas en las que la exposición pueda considerarse uniforme⁵. De este modo, la concentración estaría sujeta a variaciones sistemáticas entre períodos y a variaciones únicamente aleatorias dentro de cada uno.

Muestreo y cálculo de la concentración media de cada período de exposición uniforme.

El siguiente paso es decidir el tipo de muestreo que va a utilizarse para medir la concentración en cada período de exposición uniforme. Las estrategias posibles, que aparecen representadas gráficamente en la figura 22 y explicadas en la tabla 29, son:

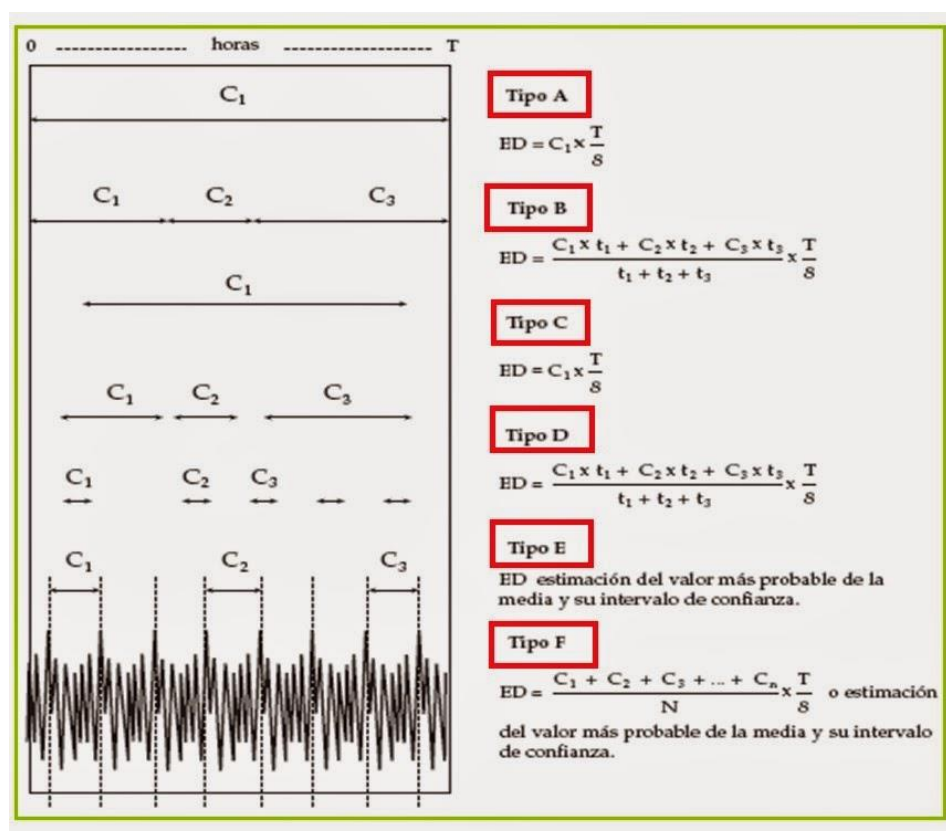


Figura 22.- Tipos de muestreo de una jornada de trabajo.

Fuente: Guía Técnica de exposición a Agentes Químicos (INSHT).

⁵ Debería reconsiderarse la división si se encontrasen posteriormente, caso de que el método de muestreo lo permita, concentraciones muestrales, dentro de un período, inferiores a la mitad o superiores al doble de la media del período.

Tabla 29.- Tipos de muestreo de una Jornada de Trabajo.

Tipo	Descripción	Explicación
A	Período completo muestra única	Muestreo durante todo el período de exposición mediante una sola muestra
B	Período completo muestras consecutivas	Muestreo durante todo el período de exposición mediante varias muestras consecutivas
C	Período parcial muestra única	Muestreo durante el 70% - 80% de la jornada laboral mediante una sola muestra
D	Período parcial varias muestras	Muestreo durante el 70% - 80% de la jornada laboral, mediante varias muestras consecutivas.
E	Muestreo puntual aleatorio	Muestras de igual duración repartidas de forma aleatoria durante la jornada laboral.
F	Muestreo de ciclos	Muestreo de ciclos de trabajo completos, que comiencen y terminen durante la exposición de la jornada.

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Disponible en:

<http://calculadores.insht.es:86/Exposiciónaagentesquímicos/Introducción.aspx>

Respecto de estas modalidades conviene señalar lo siguiente:

La preferencia inequívoca de las dos de período completo sobre las de período parcial. En estas últimas se acepta de entrada un error que, por otra parte, no puede estimarse. En cualquier caso, de acuerdo con el anexo A de UNE-EN 689, (AENOR-UNE-EN-689) el muestreo habría de abarcar, al menos, el 25% del período representado.

En el muestreo puntual aleatorio, cada muestra tiene la duración mínima compatible con el método de medida, son todas de la misma duración y se toman en momentos elegidos al azar de la totalidad del período representado. Es el que produce el mayor margen de error en la estimación de la media del período.

El llamado muestreo de ciclos tiene también carácter aleatorio, pero cada muestra abarca, necesariamente, un ciclo completo o un número entero de ciclos. Es, pues, una modalidad limitada a períodos en los que la exposición tenga ese carácter cíclico y, por tanto, no constituye una opción para todos los casos.

Los muestreos de tipo e y f requieren un número mínimo de muestras, que es función de la duración de cada una. Puede usarse como orientación la tabla del citado anexo A de UNE-EN 689.

A partir de las concentraciones muestrales, la concentración media del período de exposición uniforme (C) se obtendría, para las distintas estrategias, mediante las expresiones siguientes:

Período completo – muestra única

$$C = c$$

Siendo c la única concentración muestral

Período completo – muestras consecutivas

$$C = \sum c_i t_i / T$$

Siendo c_i las concentraciones muestrales, t_i las duraciones de las respectivas muestras y T la total del período, que coincidirá, lógicamente, con $\sum t_i$.

Período parcial – muestra única

$$C = c$$

Siendo c la concentración muestral única.

Período parcial – muestras consecutivas

$$C = \sum c_i t_i / \sum t_i$$

Siendo c_i las concentraciones muestrales y t_i las duraciones de las muestras respectivas.

Muestreo puntual aleatorio

$$C = \sum c_i / n$$

Siendo c_i las concentraciones muestrales y n el número de muestras.

Muestreo de ciclos

$$C = \sum c_i / n$$

Siendo c_i las concentraciones muestrales y n el número de muestras.

Cálculo de la ED de la jornada

Se obtiene a partir de las concentraciones medias de los períodos de exposición uniforme (C_i) y de las respectivas duraciones de estos en horas (T_i), por la siguiente fórmula:

$$ED = \sum C_i T_i / 8$$

La sistemática es como sigue:

Obtener un valor de ED

Calcular la ED relativa (ED_r) dividiendo ED por el valor límite aplicable (VLA-ED)

$$ED_r = ED / \text{VLA-ED}$$

Si $ED_r \leq 0.1$, **exposición aceptable**

Si $ED_r > 1$, **exposición inaceptable**

Si $0.1 < ED_r \leq 1$, determinar, al menos, dos nuevos valores de ED_r ⁶

Si ED_{r1} y ED_{r2} y ... $ED_{rn} \leq 0.25$, **exposición aceptable**

Si ED_{r1} o ED_{r2} o ... $ED_{rn} > 1$, **exposición inaceptable**

Si alguna $ED_r > 0.25$ pero todas ≤ 1 y $MG^7 \leq 0.5$, **exposición tolerable**

Si $MG > 0.5$, caben las siguientes opciones:

- Mejorar el control de la exposición y repetir el procedimiento de evaluación
- Obtener nuevos valores de ED_r y seguir el procedimiento, hasta alcanzar una conclusión.

Basada en 6 o más valores de ED

El anexo G de UNE-EN 689 recoge el procedimiento gráfico de esta valoración.

Aquí sólo se reflejará la versión analítica, que no está desarrollada en la norma, utilizando algunas aproximaciones del Manual NIOSH de estrategia de muestreo. El proceso es el siguiente:

Obtener al menos 6 ED, aleatoriamente, en el GEH.

Comprobar la homogeneidad⁸ de la exposición en el GEH.

Transformar las ED en ED_r , dividiéndolas por el valor límite correspondiente (VLA-ED).

⁶ Correspondientes a dos nuevas jornadas, preferentemente no consecutivas y elegidas al azar.

⁷ Media geométrica de los valores de ED_r .

⁸ Si la ED de algún trabajador es menor que la mitad o mayor que el doble de la media aritmética del grupo, habrá que replantearse la clasificación de los sujetos.

$$ED_r = ED / VLA-ED$$

Calcular los logaritmos neperianos de las ED_r

$$y_i = \ln ED_{ri}$$

Calcular la media muestral (Y) y la cuasi desviación típica muestral ($S_{n-1, y}$), según las siguientes fórmulas:

$$Y = \sum y_i / n$$

$$S_{n-1, y} = \sqrt{\sum (y_i - Y)^2 / n - 1}$$

Tipificar la transformada del valor límite, $\ln(VLA-ED / VLA-ED) = 0$, calculando el estadístico:

$$Z^9 = (O - Y) / S_{n-1, y}$$

Buscar en la tabla de la distribución normal tipificada, la probabilidad (p) de superar el valor de Z calculado. Esa será la probabilidad de que la ED de una jornada cualquiera supere el valor límite.

Si $p \leq 0,1\%$, **exposición aceptable**. Situación verde

Si $p > 5\%$, **exposición inaceptable**. Situación roja.

Si $0,1\% < p \leq 5\%$, **exposición tolerable**. Situación naranja.

3.5.3.-Evaluación de la Exposición de Corta Duración (EC)

Por EC ha de entenderse la concentración media de cualquier período de 15 minutos de la jornada de trabajo. Así, a diferencia de la ED, de la que no puede haber más que un valor por jornada y trabajador, de EC puede haber tantos como períodos de 15 minutos quepan en ella, que, si admitimos solapes, serán prácticamente infinitos.

Si el agente químico en cuestión tiene asignado un valor límite para la EC (VLA-EC), que será cuando haya que hacer esta evaluación, el objetivo será asegurarse de que ninguna exposición de corta duración lo supera; por tanto, el primer paso consistirá en determinar la máxima EC de la jornada.

Determinación de la máxima EC

⁹ Realmente este estadístico no es Z sino t , ya que en el denominador no aparece la desviación típica de la población sino su estimador muestral, pero se ha considerado suficiente aproximación asumir, siguiendo el manual NIOSH, la distribución normal.

La selección del período o períodos de 15 minutos sospechosos de la máxima exposición ha de hacerse de modo sistemático, es decir, mediante un análisis de las tareas y sus circunstancias, que ponga de manifiesto las más desfavorables.

Si el número de períodos seleccionado de esta forma fuera razonable, se mediría la EC de cada uno y el valor más alto obtenido sería la máxima EC buscada.

Si, por el contrario, el número fuera muy elevado, habría que proceder a extraer aleatoriamente de entre ellos una muestra de períodos a medir. Sería, también ahora, la EC más alta obtenida la que utilizaríamos para la valoración en primera instancia, pero, a diferencia del caso anterior, sin la seguridad de que hubiéramos determinado la máxima EC.

Valoración de la EC

El procedimiento se resume en los siguientes pasos:

1. Se compara el máximo valor de EC medido con el VLA-EC.

Si lo supera, acaba la valoración con la conclusión de que la exposición es *inaceptable*.

Si no lo supera y la selección de los períodos de medida ha sido puramente sistemática, también hay que dar por terminado el proceso con la conclusión de que la exposición es *tolerable* (máx. EC > 0,5 VLA-EC) o *aceptable* (máx. EC ≤ 0,5VLA-EC).

Si no lo supera, pero la selección de los períodos ha comportado una fase aleatoria, hay que continuar el procedimiento de valoración hasta estimar la probabilidad de superación del valor límite en el conjunto de los períodos sospechosos no medidos.

Para ello se parte, al igual que se hizo en la valoración a largo plazo de la ED, de la suposición, ampliamente admitida, de que la EC, cuando no hay diferencias sistemáticas entre períodos, se comporta como una variable aleatoria de distribución logaritmo-normal. Así, si se dispone de una muestra al azar de valores de EC, como es el caso, es posible estimar los parámetros de la distribución y, en base a ellos, llegar a conocer la probabilidad buscada. El

procedimiento, en buena parte análogo al del punto anterior, continúa como sigue:

2. Transformar las EC medidas en EC_r , dividiéndolas por VLA-EC.

3. Calcular los logaritmos neperianos de las EC_r

$$y_i = \ln EC_{ri}$$

4. Calcular la media muestral (Y) y la cuasi desviación típica muestral ($S_{n-1, y}$), que son los mejores estimadores de la media y la desviación típica poblacionales, mediante las siguientes fórmulas:

$$Y = \sum y_i / n$$

$$S_{n-1, y} = \sqrt{\sum (y_i - Y)^2 / n - 1}$$

5. Tipificar la transformada del valor límite, $\ln (VLA-EC / VLA-EC) = 0$, calculando el estadístico

$$Z = (0 - Y) / S_{n-1, y}$$

Buscar, en la tabla de la distribución normal tipificada, la probabilidad (p) de superación del valor Z obtenido. Como p es la probabilidad de que uno cualquiera de los períodos no medidos supere el valor límite, $1 - p$ será la probabilidad de que no lo supere y $p' = (1 - p)^{k-i}$, siendo k el total de períodos sospechosos e i el de medidos, será la probabilidad de que no se supere en ninguno de los períodos no medidos.

6. Si $p' > 0.9$ (90%), la exposición será **acceptable**.

Si $p' < 0.1$ (10%), la exposición será **inacceptable**.

Si $0.1 \leq p' \leq 0.9$, la exposición se considerará sólo **tolerable**.

3.5.4.- Mediciones periódicas de la exposición.

Por mediciones periódicas se entiende un modo de seguimiento de la exposición que se instaura cuando los resultados de la evaluación inicial no permiten considerarla aceptable ni inaceptable, y tampoco se estima justificado introducir medidas adicionales de control, por el momento, o no se encuentran posibilidades de mejora. Se parte, por tanto, de una exposición tolerable, puesto que no se ha sustanciado ninguna superación del valor límite, pero que presenta riesgo de deriva.

Las mediciones periódicas no constituyen evaluaciones sucesivas de la exposición y, por consiguiente, no han de seguir los procedimientos descritos anteriormente. Tampoco han de confundirse con el seguimiento de las medidas de control del riesgo, como, por ejemplo, las comprobaciones periódicas de los sistemas de ventilación, que han de realizarse siempre, tanto si es preciso llevar a cabo mediciones periódicas de la exposición, como si no.

Las mediciones periódicas han de permitir alcanzar un doble objetivo:

- ✓ Establecer la tendencia de la exposición, de modo que se puedan aplicar medidas correctoras, si fuera necesario, antes de que se produzca la superación del valor límite.
- ✓ Ajustar de modo flexible la frecuencia de las mediciones a la entidad real de la exposición.

Para ello, es necesario que las mediciones periódicas respondan a un programa, elaborado desde el primer momento, que establezca claramente qué medir, dónde o a quién, cuándo y con qué frecuencia. De este modo, los resultados que se vayan obteniendo serán comparables entre sí y sus diferencias obedecerán sólo a las variaciones de la exposición y no a distintos criterios de medición.

El análisis de la tendencia de la exposición a partir de los datos de las mediciones periódicas puede efectuarse por el método de la media ponderada móvil, que recoge el Anexo G de UNE-EN 689.

Por otra parte, los Anexos D y F de la misma norma incluyen dos sistemas para establecer la frecuencia de medida, de los cuales se expone aquí el más sencillo. La periodicidad inicial se fija en 16 semanas, con los siguientes criterios de variación:

Si el resultado de una medición es tal que la exposición es igual o inferior al 25% del valor límite, la siguiente medición se realizará al cabo de 64 semanas.

Si el resultado de la medición es tal que la exposición está comprendida entre el 25 y el 50% del valor límite, la siguiente medición se realizará a las 32 semanas.

Si el resultado de la medición es que la exposición está comprendida entre el 50 y el 100% del valor límite, la siguiente medición se efectuará a las 16 semanas.

Si varias mediciones sucesivas dan valores de exposición inferiores al 10% del valor límite, se puede reconsiderar la necesidad del propio programa de mediciones periódicas.

Si de alguna medición se deduce una exposición superior al valor límite, se han de aplicar las medidas preventivas necesarias y, con posterioridad, repetir la evaluación inicial siguiendo alguno de los procedimientos establecidos para ella.

3.6.- ESTRATEGIA DE MUESTREO.

Para el establecimiento de la estrategia y metodología de muestreo personal, en la zona de respiración del trabajador, a fin de representar la exposición ocupacional de los distintos puestos de trabajo a los contaminantes químicos a determinar en las refinerías objeto de estudio y siguiendo la metodología propuesta en la Norma UNE-EN-689, en la fase de evaluación detallada de la exposición, a fin de determinar la Exposición Diaria (ED), se contemplarán los siguientes aspectos:

- ✓ Naturaleza del agente químico.
- ✓ Valor límite asignado a cada agente químico a monitorear.
- ✓ Tipo de contraste a realizar, exposición diaria (VLA-ED), o exposiciones de corta duración (VLA-EC).
- ✓ Tiempos de muestreo, en función de las limitaciones que impone el propio Método de toma de muestras y análisis.
- ✓ Número de trabajadores a muestrear por puesto de trabajo.
- ✓ Duración de la exposición y de la Jornada de trabajo.
- ✓ Ciclos de trabajo, etc.

El objetivo que se persigue es establecer la estrategia de muestreo más apropiada para determinar la exposición diaria (ED) de los distintos puestos de trabajo expuestos a los agentes contaminantes en estudio; a fin de representar con la mayor fiabilidad posible la exposición real de los trabajadores.

3.6.1.-Número de trabajadores a muestrear por puesto de trabajo. Grupos Homogéneos de exposición (GHE)

La existencia de varias personas que realizan tareas similares en condiciones ambientales parecidas, plantea la posibilidad de realizar mediciones de la exposición a una parte de ellos y ahorrar medios, considerando que la exposición es común a todos.

Los resultados son considerados entonces como correspondientes a una única exposición y se tratan como tales. El grupo de trabajadores se denomina

entonces Grupo Homogéneo de Exposición (GHE). La experiencia muestra que es frecuente que la variación entre las exposiciones de varios individuos que aparentemente forman un GHE es grande y, por tanto, deberían evaluarse de forma individual. La hipótesis de que un grupo de trabajadores constituye un GHE debe confirmarse experimentalmente.

La norma UNE-EN 689 recomienda descartar del GHE aquellos individuos cuya concentración hallada no está comprendida entre la mitad y el doble de la media aritmética del grupo (se entiende que se refiere a datos individuales dentro del grupo).

Considerando una distribución logarítmico-normal de los resultados, esta regla supone aceptar una dispersión máxima de los valores expresada como GSD (desviación estándar geométrica) ≤ 2 aproximadamente. Dicha norma recomienda elegir un mínimo de 1 trabajador por cada 10 que constituyan un GHE.

Nelson A. Leidel (Leidel, N. A. y col., 1977), razona la elección del número de trabajadores a muestrear, entre un GHE, bajo la hipótesis de que, en el grupo muestreado al azar, se encuentre al menos uno de los trabajadores de exposición más alta. Para ello utiliza los principios de la distribución hipergeométrica.

$$p = \frac{\binom{N_0}{x} \binom{N - N_0}{n - x}}{\binom{N}{n}} ; \text{ donde } \binom{N}{n} = \frac{N!}{n!(N - n)!}$$

y n es el número de trabajadores que se muestrean, N_0 el número de trabajadores de mayor exposición dentro del GHE, N es el total del GHE y p es la probabilidad de que, entre los n muestreados, se incluyan x de los N_0 de mayor exposición.

En la tabla 30 se indican los trabajadores a muestrear (n) en un grupo de N trabajadores, para que al menos incluya a uno de los N_0 de máxima exposición.

Tabla 30.- Número de trabajadores a muestrear pertenecientes a un GHE

N	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-49	50	>50	$N_0 = 0,11N$
n	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22	$P = 0,1$
N	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	36-41	42-50	>50		$N_0 = 0,1N$
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29		$P = 0,05$
N	6	7-9	10-14	15-26	27-50	>50								$N_0 = 0,2N$
n	5	6	7	8	9	11								$P = 0,1$
N	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	>50						$N_0 = 0,2N$
n	6	7	8	9	10	11	12	14						$P = 0,05$

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. UNE-EN 689 Tomado de Leidel, Busch y Lynch. Occupational Exposure Sampling Strategy. (NIOSH, 1977)
GHE= Grupo homogéneo de exposición

Establecimiento de los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE).

Los grupos se seleccionarán considerando que tienen una exposición similar respecto de la exposición laboral a los distintos agentes químicos considerados. En nuestro caso se establecerán considerando los resultados del screening inicial y agrupándolos por Unidades de proceso o plantas donde la exposición a contaminantes químicos sea similar.

3.6.2- Método cuantitativo para la evaluación ambiental a Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's).

Para la evaluación de la exposición a productos químicos, existen diferentes metodologías y criterios normalizados por autoridades internacionales del campo de la higiene ocupacional, especializados en la vigilancia y el control de los riesgos de enfermedades profesionales. Entre las publicaciones más prestigiosas están el Manual de Métodos de Análisis, el cual incluye específicamente el método 1501 que aplica para hidrocarburos aromáticos del grupo BTX-EB de NIOSH 2003, los Métodos de Análisis de la OSHA, la Serie de Guías Analíticas de la AIHA, los Métodos de Toma de Muestra y Análisis del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT 2003). Los métodos utilizados en España, Alemania y Francia son similares a los referidos por la NIOSH y se pueden consultar a través de la base de datos GESTIS 2007.

El método elegido para la toma de muestras y análisis de Benceno, Tolueno y Xileno, ha sido el MTA/MA030/A92 del instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Aplicando este método se puede determinar la concentración de cada compuesto aún si en la muestra están presentes uno o más agentes del grupo BTX's.

El método MTA/MA030/A92 "*Determinación de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno, p-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno) en aire-Método de adsorción en carbón activo/Cromatografía de gases*", es un método aceptado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Como método aceptado se entiende un método utilizado en el INSHT y que ha sido sometido a un protocolo de validación por organizaciones oficiales competentes en el área de la normalización de métodos analíticos, o bien ha sido adoptado como método recomendado por asociaciones profesionales dedicadas al estudio y evaluación de riesgos por agentes químicos, así como, aquellos métodos recomendados por la CE o basados en métodos ampliamente conocidos y evaluados por especialistas en este tipo de análisis.

La captación de la muestra la realizaremos mediante toma de muestras dinámica (tubo de carbón activo y bomba de aspiración). El análisis se realiza por Cromatografía de Gases con detector de ionización de llama (F.I.D.) o Cromatografía de Gases con detector de fotoionización (P.I.D.).

Las características principales de este método pueden verse en la tabla 31.

Tabla 31 Método del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (INSHT). MTA/MA- 30/A92

Metodo	Año de publicación	Principio del método	Velocidad de flujo/Volumen de aire recomendado	Estatus del método/ Observaciones
INSHT. MTA/MA-030/A92.	Espanola. Ingles/ 1992.	Tubo adsorbente con carbón activado 100/50mg. Desorción con 1 ml disulfuro de carbono añadido a cada sección del tubo. Análisis por GC/FID.	0.2 l/min.- 5l./min	Validado de acuerdo al protocolo de INSHT. Muestreo incluido en el método de validación.

MTA/MA = Metodo de toma de muestras en aire y Metodo de Análisis.

3.7.- Determinación HAP`s. Método de captación en tubo adsorbente y análisis por cromatografía líquida de alta resolución con detección fluorimétrica (HPLC-F).

Este método especifica el procedimiento a seguir y el equipo necesario para la determinación simultánea de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en aire mediante cromatografía líquida de alta resolución con detección fluorimétrica (HPLC-F). Los hidrocarburos determinados seguidos de su n° CAS (Chemical Abstract Service) y el límite de detección son los siguientes:

Tabla 32.- Límites de detección de los métodos de toma de muestras.

Nº CAS	Nombre PAH	LD (µg/tubo)
91-20-3	Naftaleno	0,008
90-12-0	1-Metilnaftaleno	0,004
91-57-6	2-Metilnaftaleno	0,004
83-32-9	Acenafteno	0,003
86-73-7	Fluoreno	0,003
85-01-8	Fenantreno	0,004
120-12-7	Antraceno	0,001
206-44-0	Fluoranteno	0,005
129-00-0	Pireno	0,003
56-55-3	Benzo(a)antraceno	0,002
218-01-9	Criseno	0,002
205-99-2	Benzo(b)fluoranteno	0,004
192-97-2	Benzo(e)pireno	0,001
207-08-9	Benzo(k)fluoranteno	0,002
50-32-8	Benzo(a)pireno	0,008
53-70-3	Dibenzo(ah)antraceno	0,001
191-24-2	Benzo(ghi)pirileno	0,002
193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,006

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 1 del Anexo A del Método del INSHT MTA/MA-039/A00. *“Determinación de hidrocarburos policíclicos en aire. Método de captación en filtro y tubo adsorbente y detección fluorimétrica / cromatografía líquida de alta resolución”*

Procedimiento de extracción

La preparación de muestras y blancos se hace de la misma forma y se hace siguiendo los siguientes pasos:

Los tubos adsorbentes (HPA ligeros) se extraen mediante un sistema de ultrasonidos durante 15 min con 5 ml de CS₂ a una temperatura próxima a 20°C. Justo antes de proceder a la extracción se añaden al tubo de vidrio ámbar los estándares internos: 100 µl de una disolución de 1ppm de 1-Fluoronaftaleno. Y 50 µl de una disolución de 1 ppm de 2-2'Binaftilo. Se introducen las dos partes del filtro en un vial conteniendo los 5 ml de disulfuro y los dos patrones internos.

1.2. La disolución obtenida se pasa a través de un filtro de membrana de politetrafluoretileno (PTFE) de 0.45 µm de poro, lavando 3 veces con 1 ml de CS₂, lo que origina una disolución final de 8 ml. El disolvente se elimina con N₂ hasta sequedad. El residuo se redisuelve con 0,5 ml de acetonitrilo.

La curva de calibración

La curva de calibración para cada analito se traza representando la relación de la altura del pico del compuesto respecto la altura proporcionada por una concentración conocida de estándar interno, frente a sus respectivas concentraciones (en ppb). Los estándares internos usados dependen de la volatilidad de los PAH. Los estándares internos utilizados son los siguientes:

1. *1-Fluoronaftaleno* para los más volátiles: naftaleno, 1-metilnaftaleno, 2-metilnaftaleno, acenafteno y fluoreno.

2. *2-2'Binaftilo*: fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(e)acenaftileno=benzo(b)fluoranteno, benzo(e)pireno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(ah)antraceno, benzo(ghi)pirileno, indeno(1,2,3-cd)pirileno

La disolución usada para la recta de calibrado es una disolución estándar de referencia NIST 1647d en acetonitrilo, que contiene naftaleno, acenafteno, acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(g,h,i)perileno e indeno (1,2,3-c,d) pireno. Además se añaden 1-metilnaftaleno, 2-metilnaftaleno y benzo(e)pireno.

La determinación de los patrones, así como la de muestras y blancos se efectúa por triplicado.

Condiciones cromatográficas

Inyección manual de 20 µl en columna

Columna: Supelcosil LC-PAH 25 cmx 4,6 mm, 5 µm. Flujo: 1.5 ml/min

Eluyente: Acetonitrilo y agua

Temperatura: 25°C

Stop time: 45 min. Post time: 30 min.

Presión máxima: 250 bar Presión mínima: 0

Tabla 33.- Gradiente de elusión de los analitos.

tiempo	%ACN
0	40
5	40
30	100
45	100

Fuente: elaboración propia.

La detección se lleva a cabo con detector ultravioleta a $\lambda = 254$ nm y peakwidth > 0.05 min

La detección mediante detector de fluorescencia se realiza por defecto a λ excitación = 250 nm y λ emisión = 410 nm. La mayoría de los analitos se analizan por fluorescencia. Adaptándose los valores de λ excitación y emisión a cada compuesto concreto.

Tabla 34.- Valores de excitación y emisión.

tiempo	excitación	emisión	PMT-Gain	Baseline
0	250	330		
19.5	252	372		
22	237	440		
23.8	270	390	10	Zero
25	277	393		
30	258	442		
31.5	266	415		
34	299	425		
38.5	251	510		

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por el laboratorio

El rango de concentraciones de la curva de calibración va desde 5 ppb hasta 200 ppb y los tiempos de retención se muestran a continuación:

Tabla 35.- Tiempos de retención

Nº	Compuesto	T retención
1	Naftaleno	13,84
2	Fluoronaftaleno	14,77
3	1-Metilnaftaleno	16
4	2-Metilnaftaleno	16,83
5	Acenafteno	17,26
6	Fluoreno	17,936
7	Fenantreno	19,365
8	Antraceno	20,91
9	Fluoranteno	22,279
10	Pireno	23,397
11	Benzo(a)antraceno	27,092
12	2-2´Binaftilo	27,986
13	Criseno	28,115
14	Benzo(e)acenafrileno	29,996
15	Benzo(e)pireno	29,92
16	Benzo(k)fluoranteno	30,689
17	Benzo(a)pireno	32,227
18	Dibenzo(ah)antraceno	35,977
19	Benzo(ghi)pirileno	37,551
20	indeno(1,2,3-cd)pireno	39,528

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por el laboratorio

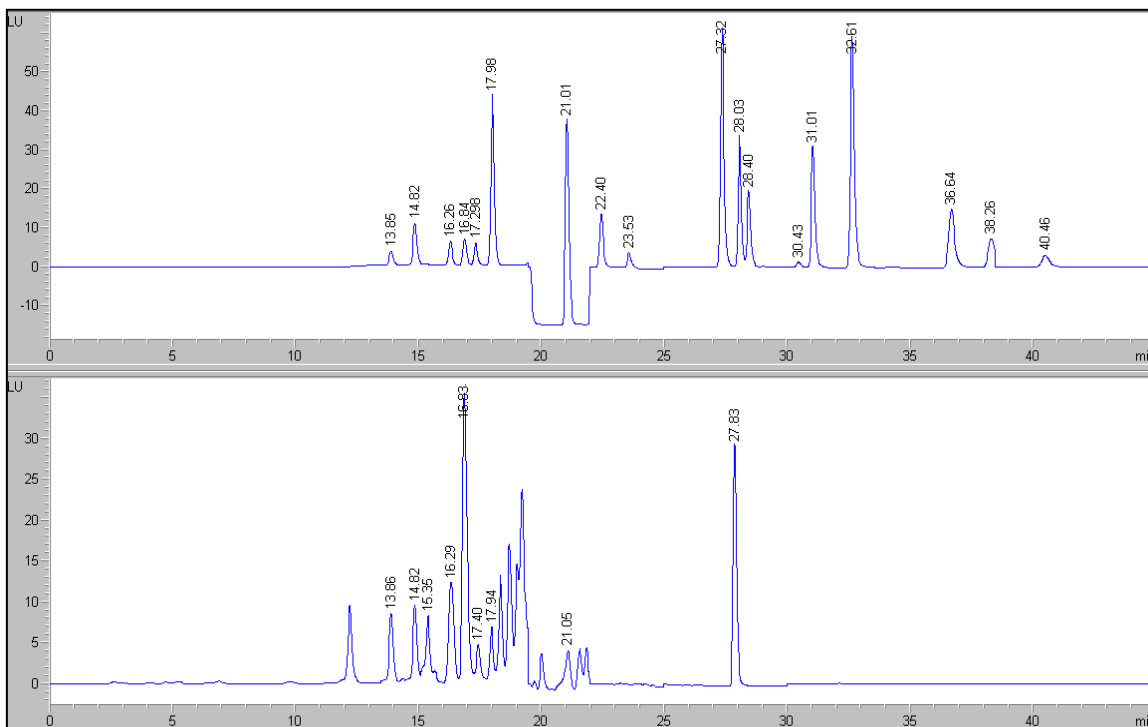


Figura 23 Cromatogramas obtenidos para calibración y una muestra de la refinería 1.

En la figura 23, podemos observar los cromatogramas donde se representan los tiempos de retención de cada PAH y patrones internos. En la parte superior de la figura se puede observar que el tiempo de retención de los patrones corresponden con el siguiente orden de aparición: naftaleno, *fluoronaftaleno*, 1-metilnaftaleno, 2-metilnaftaleno, acenafteno, fluoreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, *2-2binaftilo*, criseno, benzo(e)pireno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(ah)antraceno, benzo(ghi)pirileno, indeno .

En la parte inferior de la figura 23 se representa una muestra de HAP's de la refinería 1

3.8.- Determinación de BTX's. Método de captación en tubo adsorbente de carbón activo y análisis mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID)

En este método se describe el procedimiento a seguir y el equipo necesario para la captación en tubo de carbón activo y análisis por cromatografía de gases, de vapores en aire de cualquier mezcla de hidrocarburos aromáticos presentes en ambientes laborales.

Tabla 36.- Límites de detección para el método de determinación de los BTX's

Nº CAS	Nombre BTX	LD (µg/tubo)
71-43-2	Benceno	0,015
108-88-3	Tolueno	0,010
106-42-3	p-Xileno	0,010

Fuente: Elaboración propia. Datos facilitados por el laboratorio

Procedimiento de extracción

La preparación de muestras y blancos se hace de la misma forma. La extracción de la primera y segunda sección del tubo de carbón se hace por separado.

Primero se vacía el contenido de la primera sección del tubo en un vial de dos mililitros que contiene una disolución de disulfuro de carbono con el patrón interno (propilbenceno) a una concentración de 1 µl/ml; se extrae durante 30 minutos. El mismo procedimiento se aplica a la segunda sección del tubo. Finalmente se realiza el análisis mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

La curva de calibración

La curva de calibración para cada analito se traza representando la relación de la altura del pico del compuesto respecto la altura proporcionada por una concentración conocida de estándar interno, frente a sus respectivas concentraciones (en ppb).

La determinación de los patrones, así como la de muestras y blancos se efectúa por triplicado.

Condiciones cromatográficas:

- Columna capilar: DB-1701 30 X 0,25 X 0,25
- Temperatura del inyector: 230 °C
- Temperatura del detector: 250 °C
- Gas portador: Helio

Tabla 37.- Programa de Temperaturas del Horno

T (°C)	RAMPA (°C/MIN)	MANTENIMIENTO	TOTAL (MIN)
0	-	10 MIN	10
150	5	0,10	33,10

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos facilitados por el laboratorio

En la parte superior de la figura 24 podemos observar el cromatograma donde se representan los tiempos de retención del Benceno, Tolueno, Xileno y patrón interno (Propilbenceno).

En la parte inferior de la figura se puede ver el tiempo de retención de los patrones.

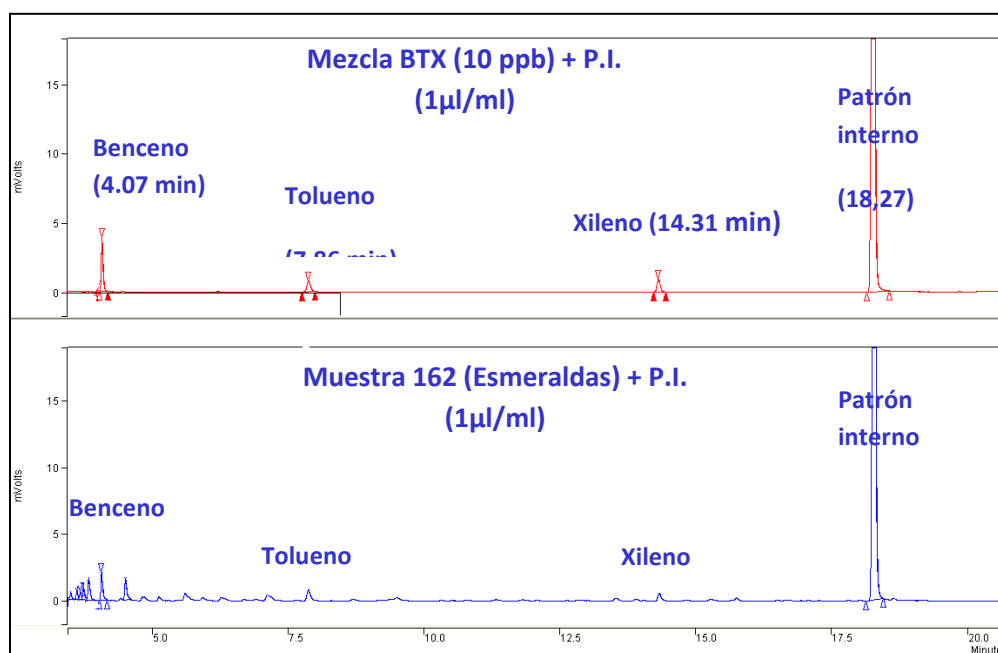


Figura 24. Cromatogramas correspondientes al calibrado y a una de las muestras de la Refinería 1.

3.9.- Determinación de metabolitos del benceno.

El ácido trans,trans-mucónico urinario es también un candidato potencial para el seguimiento biológico del benceno. Karim et al. (1985) fue quien primero publicó un método de HPLC para su determinación en muestras de orina diluida por separación en columna de fase reversa. Sin embargo, las tasas de recuperación fueron escasas. Un procedimiento ligeramente modificado de que mejoraba la recuperación, consistió en la adición de metanol a la orina, y fue descrito por Inoue et al. (1989) y Ducos et al. (1990), pero provoca la contaminación de la columna. La separación se logró en Spherisorb ODS (5 /xm) con metanol 1%, ácido acético acuoso (10:90) como fase móvil y detección a 265nm.

Un procedimiento de limpieza que involucra pasar la orina sobre dispositivos en fase sólida de extracción y subsiguiente elución con ácido acético acuoso como diseño Ducos, aumenta enormemente la sensibilidad y fiabilidad de la determinación de ácido trans,trans-mucónico. La separación se consigue en una columna LiChrosorb C18 5µm con detección a 259 nm. El eluyente es metanol 1%, ácido acético acuoso (10:90) y el límite de detección es de 50-100 µg/L. Se observó un nivel fisiológico de 100 µg/L en personas no expuestas.

Si el ácido trans,trans-mucónico resulta ser un indicador sensible para exposiciones bajas a benceno, debería ser más adecuado para el monitoreo biológico que el fenol.

3.10.- Determinación de los metabolitos del Xileno y Tolueno.

Desde que fue reconocido que la oxidación del núcleo aromático es una ramificación del metabolismo humano de bencenos alquílicos (Angerer, 1979a y b), la determinación de fenoles alquílicos en orina se ha vuelto muy relevante. La excreción de estos fenoles parece ser de especial valor diagnóstico por su cercana conexión con el potencial principio perjudicial de estos hidrocarburos aromáticos. Excepto el 4-metilfenol, los fenoles alquílicos no parecen ser productos endógenos. De ahí que su aparición en orina sea debida a la exposición a bencenos alquílicos. Esto los hace un parámetro útil para un mayor diagnóstico de la especificidad que la aparición fisiológica de ácido hipúrico y ácido metilhipúrico para el monitoreo biológico de xileno y tolueno a bajos niveles de exposición, (Angerer, J. and Hörsch, B., 1992).

Productos químicos, solventes y disoluciones.

Todos los solventes cromatográficos empleados tienen una pureza grado HPLC, y se obtuvieron de Sigma-Aldrich Chemical Co. - división Europa. Los marcadores empleados se adquirieron en Sigma-Aldrich (Ácido hipúrico código de catálogo 112003, Orto-metil-hipúrico, código 328006 y Para-metil-hipúrico, código 328022).

El agua utilizada en todo momento fue desionizada ultrapura Tipo I, grado Milli-Q (de Millipore), con un nivel de resistividad de 18,2 MegaOhmios/cm a 25° C.

Equipo cromatográfico

El análisis cromatográfico se llevó a cabo en un HPLC Beckman Coulter (Beckman Gold® HPLC system), controlado por el software 32Karat Workstation, mediante un ordenador personal, y constituido por un sistema de doble bomba "126 Solvent module", un inyector manual con un loop de 20 µl, y

un detector “168 photodiode array”. El equipo y el PC se interconectaron con un interfaz modelo SS420x de Scientific.



Figura 25.- Sistema de bomba y detector.



Figura 26.- Inyector manual

Las muestras han de ser aplicadas en el inyector mediante una microjeringa Hamilton (Hamilton Company USA).

Tanto para la determinación del ácido t,t-mucónico como para la de los hipúricos, las columnas correspondientes deben estar termoestabilizadas, para lo que se sumergieron en un baño termoestable programable como el que se indica en la siguiente fotografía.



Sistema de termoestabilización de la columna por inmersión 28.04.2010

Figura 27.- Cuba para baño termoestable y programable.



A fin de preservar el buen estado de la columna y para prolongar su vida útil, es necesario emplear un cartucho de precolumna que se dispone entre la salida de las bombas y la entrada de la columna, como la que se ve en la foto de la figura 28.

Figura 28.- Precolumna

En la determinación de **ácidos hipúricos** se utilizó la columna de la figura 29.



Figura 29.- Columna para determinación de ácidos hipúricos.



Figura 30.- Columna para determinación del ácido *t,t*-mucónico.

Muestras de orina

La toma de muestras de orina se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

La toma de muestras de orina se recoge siempre al final de cada turno, tras al menos 6 horas de posible exposición y siempre en trabajadores que han estado realizando jornada laboral normal desde al menos el día anterior a la toma de la muestra, para evitar el llamado “efecto fin de semana”, ya que se ha comprobado que tras varios días de no exposición, los valores tras una jornada laboral son menores que cuando se ha estado expuesto dentro de las 24-48 horas previas a los análisis.

De cada individuo fueron recolectados un total de 30 ml de orina en un frasco de polipropileno (ver figura), para la determinación de los niveles de los principales metabolitos urinarios que se generan tras la exposición a la mezcla benceno, tolueno y xileno, como son el ácido t,t-mucónico, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico, respectivamente. Para la corrección de los posibles efectos de dilución de la orina se determinaron también los niveles de creatinina (Faulkner y King, 1976) según se detalla en el protocolo descrito más adelante, ya que esta sustancia se filtra a nivel del glomérulo y no se secreta ni se reabsorbe en los túbulos renales, y por ello su utilización como factor de corrección posibilita la eliminación de la variabilidad interindividual en la velocidad de producción de orina. Todas las muestras fueron codificadas (para facilitar un estudio «ciego» y evitar posibles sesgos).

Las muestras fueron acidificadas mediante adición de ácido clorhídrico hasta alcanzar pH=1 y para mantener estables los niveles de metabolitos en la orina desde su recogida hasta su análisis en nuestros laboratorios.

Seguidamente se trasvasaron a tubos tipo Falcon® de 15 ml para proceder a la congelación a -20°C inmediatamente después de su recogida. Finalmente se congelaron en nieve carbónica a una temperatura de -78°C y se empaquetaron convenientemente para su transporte hasta los laboratorios de la Universidad de Huelva. En estas condiciones las muestras son estables por un período de 2 meses. A su recepción las muestras fueron almacenadas a -80°C hasta su análisis y en estas condiciones son estables por tiempo indefinido.

3.11.- Determinación de ácido t,t-mucónico en orina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

El procedimiento seguido es el descrito por Marrubini et al., 2001 y el aprobado por el INSHT, MTA/MB-026/A06, con modificaciones que se detallan a continuación.

Tras descongelar las muestras de orina a temperatura ambiente (unos 15 minutos) se procedió a su homogenizado por agitación con un agitador orbital tipo Vórtex, como se ve en la figura 31, para posteriormente ser filtradas con una jeringa desechable con émbolo de goma y un filtro de Nylon de 0.45 μm de VWR International Eurolab S.L.

Seguidamente se procedió a equilibrar un cartucho de intercambio iónico Supelclean LC-SAX de 3 ml de Supelco (Supelco Park Bellefonte, PA, USA) mostrada en la siguiente foto. El equilibrado consistió en hacer pasar 3 ml de metanol (HPLC grade) y luego otros 3 ml de agua desionizada.

Una vez equilibrado el cartucho, se pasó 1 ml de orina filtrada y a continuación 3 ml de ácido acético al 1%. Una vez eluído ese volumen, se recogerá la muestra eluída al hacer pasar por el cartucho 3 ml de ácido acético al 10%, empleando un matraz aforado de 10 ml que se enrasará con agua desionizada, como se ve en la figuras 32, 33 y 34; se agitará y quedará la muestra lista para ser inyectada en el HPLC, como puede verse en la figura 35.

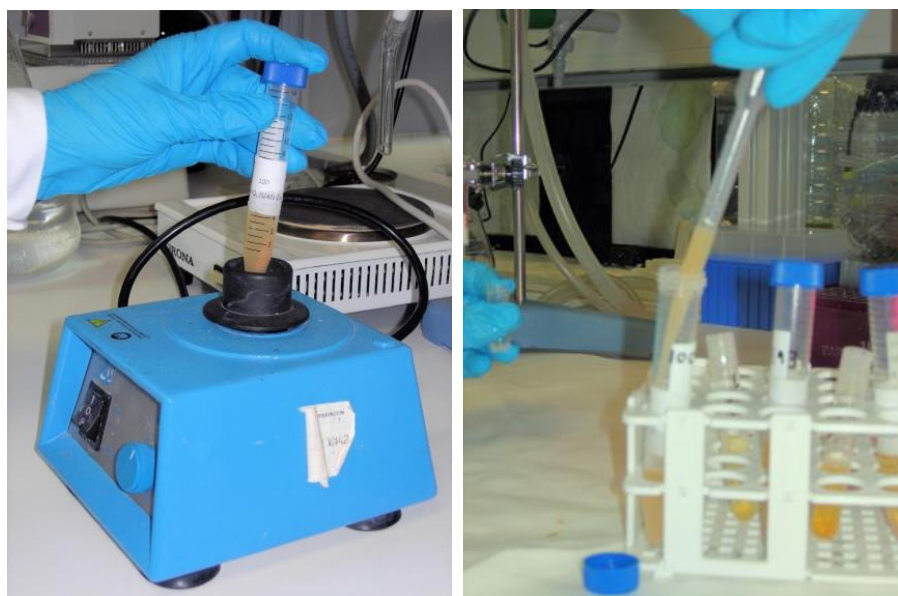


Figura 31.- Descongelación y homogeneizado de muestra de orina y toma de una parte alícuota para su filtrado.

Carga de la columna cromatográfica con la muestra cruda.



Figura 32.- Proceso de carga de la columna cromatográfica

Pasamos la muestra por la columna cromatográfica aplicando presión positiva.



Figura 33.- Paso de la muestra por columna cromatográfica

Recogida de la muestra eluída en un matraz aforado y enrasado del matraz.



Figura 34.- Recogida de la muestra y enrasado del matraz

La muestra así diluida queda lista para su análisis cromatográfico por HPLC.



Figura 35.- Muestra lista para análisis cromatográfico.

Condiciones cromatográficas.

Se montó una columna Sunfire® C₁₈ de fase reversa de 5µm, y 4.6x150 mm, (Waters™) con una precolumna estándar de la misma composición.

La temperatura de la columna se estabilizó a 28°C durante todo el tiempo de uso. La fase móvil empleada fue ácido acético al 1% y metanol en proporción 90:10. Dicha fase móvil fue desgasificada durante 30 minutos por ultrasonidos, inmediatamente antes de su uso.

La longitud de onda de detección fue de 259 nm. El loop de inyección de 20 µl y el flujo de elución se programó a 0.7 ml/min. Obteniéndose así un tiempo de retención para el ácido t,t-mucónico de 12.48 min.

El tiempo mínimo de inyección entre muestras fue de 40 minutos a flujo de trabajo para garantizar el lavado de la columna según especificaciones técnicas del fabricante.

3.12.- Determinación de ácido hipúrico y orto-metil-hipúrico en orina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

Especificaciones previas: Todo el material de vidrio debe lavarse con detergente y luego sumergirse 5 min. en ácido nítrico al 50% y finalmente ser enjuagado con agua desionizada.

El procedimiento seguido es el descrito por Kubota, et al., 1988 y el aprobado por el INSHT, MTA/MB-022/A95 (ver anexo) con modificaciones que se detallan a continuación.

Igual que se ha descrito en el caso anterior, tras descongelar las muestras de orina a temperatura ambiente (unos 15 minutos) se procedió a su homogeneizado por agitación con un agitador orbital tipo Vórtex, para posteriormente ser filtradas con una jeringa desechable con émbolo de goma y un filtro de Nylon de 0.45 µm de VWR International Eurolab S.L.

Tras recoger la muestra, se centrifugó en una microfuga de sobremesa Sigma (foto) a 14.000 rpm durante 5 minutos, quedando así el sobrenadante listo para ser inyectado en el HPLC.

Los dos primeros pasos son comunes al método anterior. A continuación se ilustra el resto del proceso:

Transvase de la muestra alícuota a un criotubo convenientemente etiquetado.

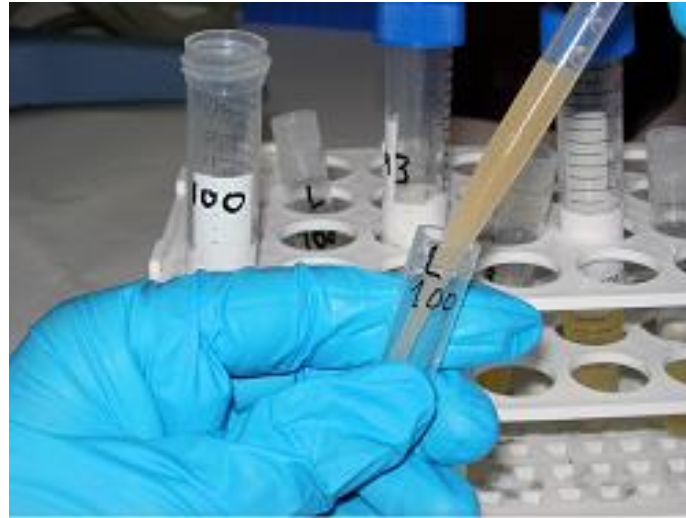


Figura 36.- Trasvase de la muestra a un criotubo

Llenado de la jeringa para su filtrado y eliminación del material desechable.



Figura 37.- Llenado de la jeringa



Figura 38.- Eliminación de residuos

La muestra filtrada se transvasa a un eppendorf etiquetado para su uso inmediato y el resto se congela para repetir las muestras por triplicado.

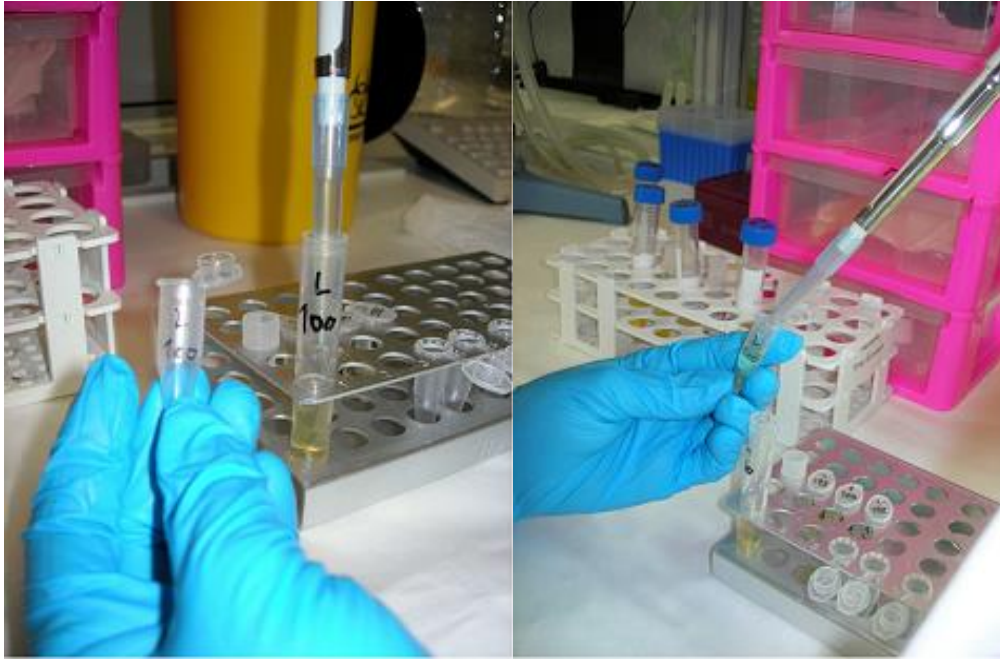


Figura 39.- Manipulación de las muestras

La muestra filtrada se centrifuga durante 10 minutos a unos 14.000 g.

Disposición de los eppendorf en la microfuga y cerrado de la cubierta.



Figura 40.- Ubicación de eppendorf en la microfuga y cerrado de la cubierta

Vista general de la microfuga con los eppendorf alojados en su rotor de ángulo fijo y del panel de mandos, donde puede apreciarse el tiempo de centrifugado y la fuerza centrífuga relativa (rcf) aplicada.



Figura 41.- Microfuga y detalle de su panel de mandos

Cargado de la jeringa Hamilton con la muestra centrifugada y cargado de la muestra en el inyector del HPLC para su análisis.

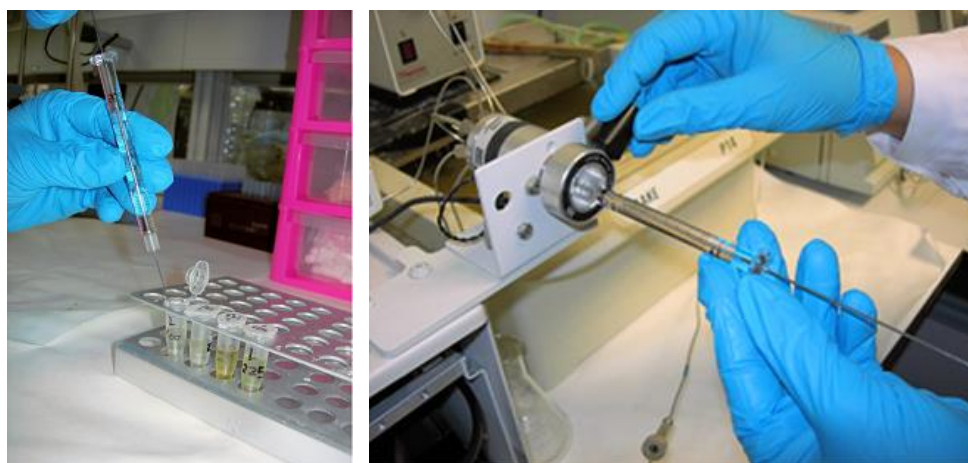


Figura 42.- Cargado de la jeringa y de la muestra en el inyector del HPLC

Condiciones cromatográficas:

Se montó una columna C₁₈ de fase reversa sílice fusionada con octadecilsilano XBridge® de 5µm, y 4.6x150 mm, (Waters™) con una precolumna estándar de la misma composición.

La temperatura de la columna se estabilizó a 40°C durante todo el tiempo de uso. La fase móvil empleada fue Metanol 5% y Ácido acético 1% en H₂O MiliQ. Dicha fase móvil fue desgasificada durante 30 minutos por ultrasonidos, inmediatamente antes de su uso.

La longitud de onda de detección fue de 254 nm. El loop de inyección de 20 µl y el flujo de elución se programó a 1 ml/min. Obteniéndose así un tiempo de retención de 7.48 min. para el ácido *Orto*-metil-hipúrico, de 14.83 min. para el ácido hipúrico y de 23.75 min. para el ácido *Para*-metil-hipúrico.

El tiempo mínimo de inyección entre muestras fue de 30 minutos a flujo de trabajo para garantizar el lavado de la columna según especificaciones técnicas del fabricante.

Determinación de creatinina en orina

La creatinina urinaria se determinó cuantitativamente según el ensayo basado en la reacción de la creatinina con el picrato alcalino descrita por Jaffé en 1886 con modificación del método de Murray, 1984. La creatinina reacciona con el picrato alcalino formando un complejo anaranjado. El intervalo de tiempo escogido para las lecturas permite eliminar gran parte de las interferencias conocidas del método. La intensidad del color formado es proporcional a la concentración de creatinina en la muestra ensayada (Murray, 1984).

SIGNIFICADO CLÍNICO: La creatinina es el resultado de la degradación de la creatina, componente de los músculos y puede ser transformada en ATP, fuente de energía para las células. La producción de creatinina depende de la modificación de la masa muscular. Varía poco y los niveles suelen ser muy estables. Se elimina a través del riñón. En una insuficiencia renal progresiva hay una retención en sangre de urea, creatinina y ácido úrico. Niveles altos de creatinina son indicativos de patología renal (Murray, 1984, Tietz, 1995, Vieth R., 2006). El diagnóstico clínico debe realizarse teniendo en cuenta todos los datos clínicos y de laboratorio.

REACTIVOS	Componente	
R1 Reactivo Pítrico	Ácido Pítrico	17,5 mol/L
R2 Reactivo alcalinizante	Hidróxido sódico	0,29 mol/L
CREATININE CAL.	Patrón primario acuoso de Creatinina 2 mg/dL	

Precauciones: Hidróxido sódico: Irritante (Xi): R36/38: Irrita ojos y la piel. S26: En caso de contacto con los ojos, lavar de inmediato con abundante agua y acudir al médico. S37/39: Usar guantes adecuados y proteger cara y ojos. S45: En caso de accidente o malestar, acudir inmediatamente al médico.

Preparación: Reactivo de trabajo (RT): Mezclar volúmenes iguales de R 1 Reactivo Pítrico y de R 2 Reactivo Alcalinizante. Estabilidad del reactivo de trabajo: 10 días a 15-25°C.

Conservación y estabilidad: Todos los componentes del kit son estables, hasta la fecha de caducidad indicada en la etiqueta, cuando se mantienen los frascos bien cerrados a 2-8°C, protegidos de la luz y se evita su contaminación. No usar reactivos fuera de la fecha indicada.

Creatinine cal: Una vez abierto, es estable 1 mes si se mantienen los viales bien cerrados a 2-8°C, protegidos de la luz y se evita su contaminación. Indicadores de deterioro de los reactivos: - Presencia de partículas y turbidez. - Absorbancia (A) del Blanco a 492 nm 1,80.

Material adicional: Espectrofotómetro o analizador para lecturas a 492 nm, cubetas desechables de 1,0 cm de paso de luz., micropipetas automáticas con puntas desechables y equipamiento habitual de laboratorio.

Preparación de la muestra: Descongelar la orina a T^a ambiente, homogeneizarla con agitador magnético y diluirla al 1/50 con agua destilada. Mezclar bien. Multiplicar el resultado obtenido por 50 (factor de dilución). En estas condiciones la dilución es estable 7 días a 2-8°C.

Procedimiento:

1. Condiciones del ensayo:

Longitud de onda: 492 nm (490-510)

Cubeta: 1 cm paso de luz

Temperatura. 37°C / 15-25°C

2. Ajustar el espectrofotómetro a cero frente al blanco de reactivo.

3. Pipetear en una cubeta desechable:

	Blanco	Patrón	Muestra
RT (mL)	1,0	1,0	1,0
Patrón (µL)	----	100	---
Muestra (µL)	----	-----	100

4. Mezclar y poner en marcha el cronómetro.

5. Leer la absorbancia (A1) al cabo de 30 segundos y al cabo de 90 segundos (A2) de la adición de la muestra.

6. Calcular: $\Delta A = A2 - A1$.

CÁLCULOS:

$$\frac{\Delta A \text{ Muestra}}{\Delta A \text{ Patrón}} \times 2 \text{ (Conc. Patrón)} = \text{mg/dL de creatinina en la muestra}$$

Factor de conversión: mg/dL x 88,4= µmol/L.

Para mantener las muestras y la mezcla de reacción a temperatura constante se empleó un baño seco como se muestra en la figura 43, lo cual garantizó la estabilidad del ensayo durante la medida.

En la figura 44 se muestra el espectrofotómetro que se empleó para las lecturas de absorbancia, fue un Thermo Evolution 300 Series UV-VIS (Thermo Electron Scientific Instruments LLC, Madison, WI USA).



Figura 43.- Baño seco



Figura 44.- Espectrofotómetro

Análisis estadístico

Todos los datos son expresados como la media de 3 repeticiones \pm la desviación estándar de la media. En el informe definitivo, la comparación de la media entre diferentes grupos y subgrupos será estudiada estadísticamente mediante el test t de Student. Valores de p inferiores a 0.05 se considerarán estadísticamente significativos.

3.13.- Estimación de la correlación entre las mediciones ambientales y los indicadores biológicos.

En el ámbito de la higiene industrial es conocido e internacionalmente aceptado que las concentraciones ambientales de un contaminante en la atmosfera de un lugar de trabajo concreto se distribuyen a lo largo del tiempo siguiendo una función de probabilidad conocida como logarítmico normal; así lo propone Rappaport en su artículo de la revista *Annals of Occupational Hygiene* "Assessment of long-term exposures to toxic substances in air.", (Rappaport, S. M. 1991).

En consecuencia, para estimar la correlación entre las variables de concentración ambiental de exposición diaria (ED) y el indicador biológico de exposición (IB), el primer paso consistirá en verificar la bondad del ajuste de nuestro conjunto de datos de muestras ambientales ($n = 403$) y biológicas ($n=403$).

Comprobamos si las variables siguen una distribución normal con la prueba de no paramétrica de Kolmogorov Smirnov. El test de Kolmogorov es una prueba de bondad de ajuste, es decir, del grado en que la distribución observada difiere de otra distribución. Verificando que nuestra muestra no se ajusta a la distribución normal.

Confirmado el ajuste de nuestros datos a la distribución logarítmica normal, procederemos a continuación a estimar la correlación entre las dos variables, utilizando la correlación de Spearman, más indicada que la de Pearson, cuando se trata de correlacionar variables que no se ajustan a la distribución normal.

La ventaja de la correlación es que toda la información de existencia de relación entre las variables, fortaleza y dirección, aparece sintetizada en un coeficiente de correlación (r) y un nivel de significación (sig.)

El nivel de significación indica si existe o no relación entre las dos variables. La correlación existe cuando la significación es menor de 0,01. El coeficiente de correlación (r) puede oscilar entre -1 y +1. El signo (negativo o positivo) de la correlación indica la dirección de la relación (directa o inversa). Cuando la relación es directa (signo positivo), si hay un incremento en una variable, lo hay proporcionalmente en la otra; y cuando la relación es inversa, si hay un incremento en una variable, la otra decrece proporcionalmente, porque los valores tienen signo negativo.

Por otra parte, la Rho de Spearman muestra la fuerza de las correlaciones existentes, cuanto más se aleje de 0 (en valor absoluto), más fuerte es la relación entre las dos variables.

.

4.- RESULTADOS.

4.1.- Características de la Población y de la muestra.

Se presenta a continuación datos descriptivos de la población y de la muestra, tratando de evidenciar que la muestra representa fielmente a la población.

Tabla 38.- Distribución por género en la Población (N) y en la muestra (n)

Distribución por Género	N	n
Masculino	1.139	368
Femenino	86	35
Total	1.225	403

La población objeto de estudio es esencialmente masculina, (93%) especialmente en el personal operativo o de campo, quedando la mujer relegada a tareas de asistente de cargos ejecutivos o apuestos de índole administrativa. Los porcentajes en la muestra se mantienen, si bien la representación femenina es ligeramente superior en la muestra (8,7%), como se puede ver en la figura 45.

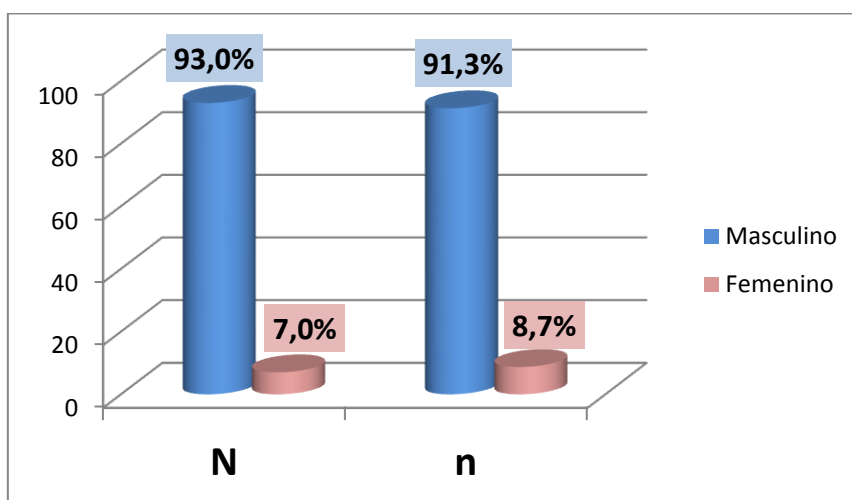


Figura 45.- Distribución por género en la Población (N) y en la muestra (n).

En relación con la edad de los trabajadores de las tres refinerías en estudio, cabe señalar que el perfil del trabajador es de una edad madura, con una media de edad de 42 años.

El grupo de edad con mayor presencia en la población de las tres refinerías es el comprendido entre los 41 y los 50 años (35,5%).

Los trabajadores que se encuentra por encima de los 40 años representan casi el 63% de la población, como podemos ver en la tabla 39.

Tabla 39.- Distribución por grupos de edad en la Población (N) y en la muestra (n)

Distribución por grupos de Edad	N	%	n	%
< = 31	154	12,6	70	17,4
31 - 40	303	24,7	105	26,1
41 - 50	435	35,5	138	34,2
51 - 60	282	23	83	20,6
>= 60	51	4,2	7	1,7
Total	1.225	100	403	100

El grupo de edad con mayor representación en la muestra es igualmente el de 41 a 50 años, como podemos ver el gráfico de la figura 46. Un dato que se diferencia entre la población y la muestra es el del porcentaje de trabajadores con edad inferior a 40 años; que en la población es del 37,3%, en tanto que en la muestra es del 43,5%; lo que podría explicarse por una mejor disposición de los trabajadores más jóvenes a participar en el estudio

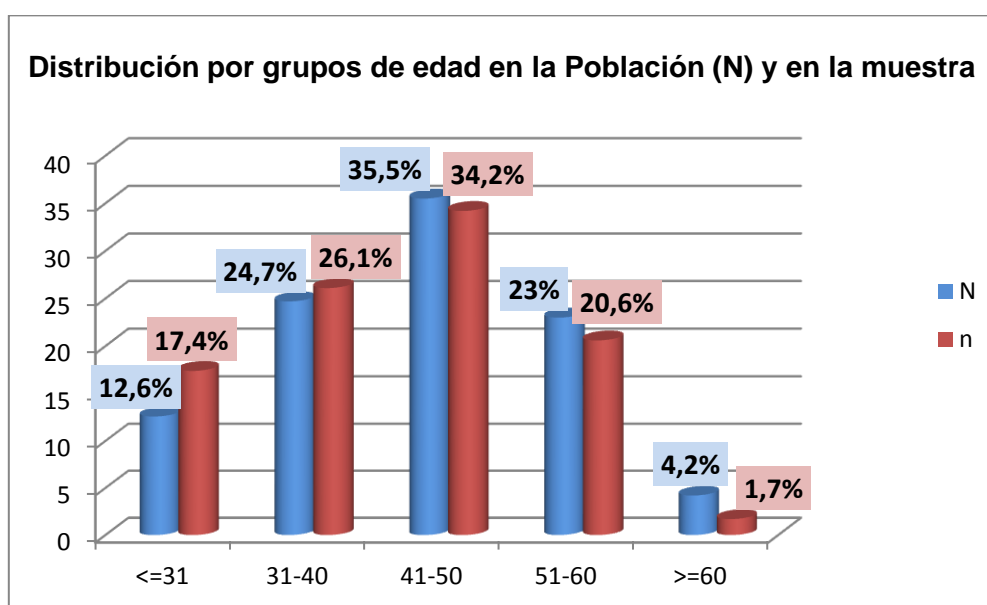


Figura 46.- Distribución por grupos de edad en la Población (N) y en la muestra (n).

En la tabla 40 podemos ver la distribución de la población y de la muestra por refinерías, observando que la refinерía 1 es la mayor de todas, representando casi un 70% de la población total. En la muestra se incrementó el porcentaje de representación en la refinерía 1, en detrimento de la refinерía 2; ya que los resultados de las mediciones de screening pusieron de manifiesto que la refinерía uno era la más contaminada y la dos la mejor controlada en relación con los contaminantes presentes en los lugares de trabajo. Ello nos permitió intensificar el monitoreo en la refinерía uno.

Tabla 40.- Distribución de la población y de la muestra, por Refinerías

Distribución por REFINERIAS	N	%	n	%
Refinería 1	845	69	298	73,9
Refinería 2	277	22,6	74	18,4
Refinería 3	103	8,4	31	7,7
TOTAL	1.225	100%	403	100%

La antigüedad en la empresa es elevada, presumiendo que en una actividad de alto riesgo, como lo son las refinерías de petróleo, se prefiera disponer de personal con amplia experiencia en el sector y en el puesto. La antigüedad media en la empresa en las tres refinерías se encuentra en torno a los 12 años y la antigüedad en el puesto de trabajo alcanza casi los 10 años (9,8 años).

Tabla 41.- Distribución por antigüedad en el Puesto de Trabajo.

ANTIGÜEDAD EN EL PUESTO DE TRABAJO	Población (N)	%	Muestra (n)	%
<=10 años	372	30,37	124	30,77
de 11 a 20 años	504	41,14	159	39,45
>=21 años	349	28,49	120	29,78
Total	1.225	100,00	403	100

En la figura 47, podemos observar, que más de 2/3 de la población cuenta con más de 10 años de antigüedad en el puesto de trabajo. Idéntico porcentaje de antigüedad en el puesto de trabajo se mantiene en la muestra para trabajadores con más de 10 años de antigüedad, con casi el 70% del total de los trabajadores (69,23%).

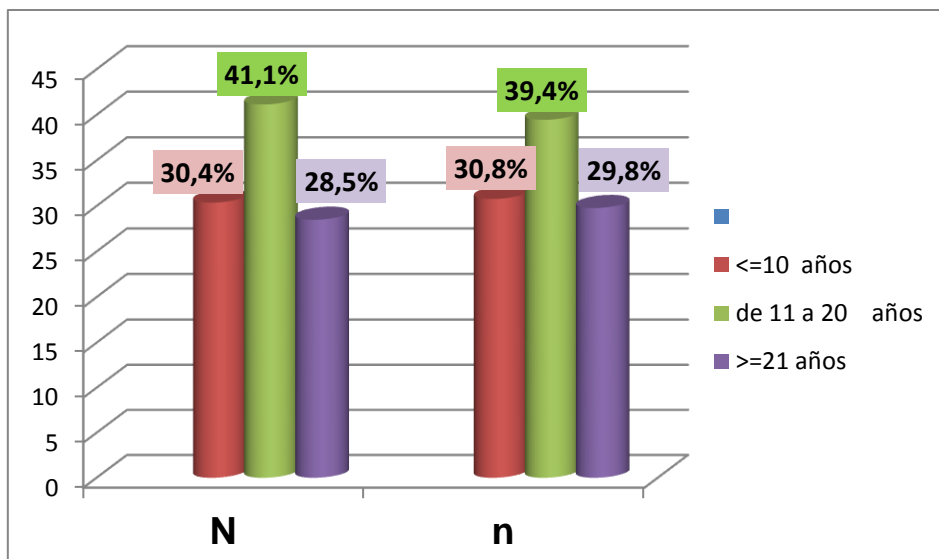


Figura 47.- Distribución por antigüedad en el puesto de trabajo, en la Población y en la muestra (n).

El tabaquismo no es un hábito muy arraigado en la población objeto de estudio; tan solo el 9,5 % del total de trabajadores son fumadores, como se ve en la figura 48. Este es un porcentaje muy bajo, si lo comparamos con el de la población general de América latina (22 al 32%) o la española, que se encuentra por encima del 34%.

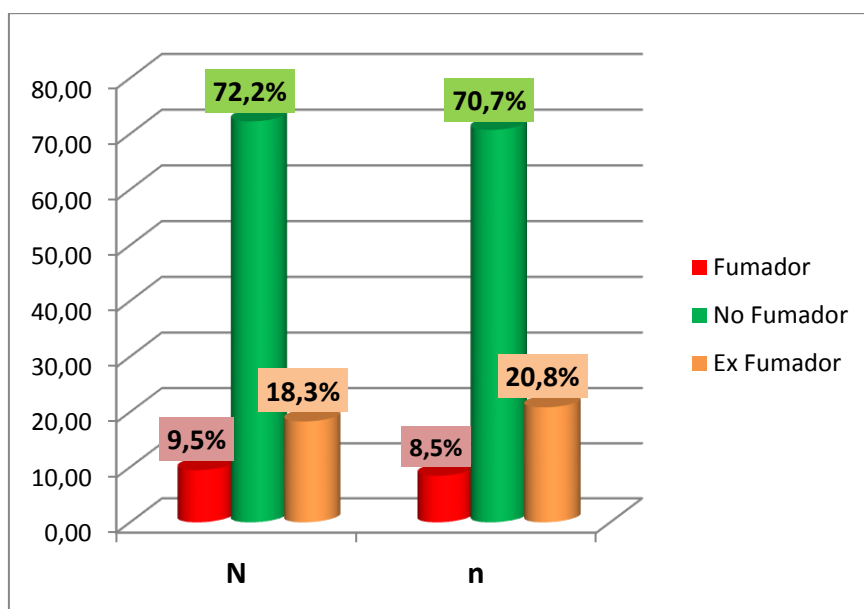


Figura 48.- Proporción de fumadores en la Población (N) y en la muestra (n)

Del total de la población de fumadores (107) en las tres refinerías, el 62,5% pertenecen a la refinería 1.

Siguiendo la Norma Europea (UNE_EN-689), la evaluación de la exposición se ha realizado, tomando muestras ambientales en el seno de los grupos homogéneos respecto de la exposición que se constituyeron a tal efecto. El número de trabajadores a muestrear en cada uno de los grupos homogéneos ha sido proporcional a su tamaño en la población

En consecuencia, se describe a continuación el tamaño y la distribución por refinерías de los grupos homogéneos de exposición (GHE), en la población (N) y en la muestra (n).

En la refinерía 1 se han constituido 13 grupos homogéneos, con el tamaño porcentual, en la población y en la muestra, que puede verse en la figura 49

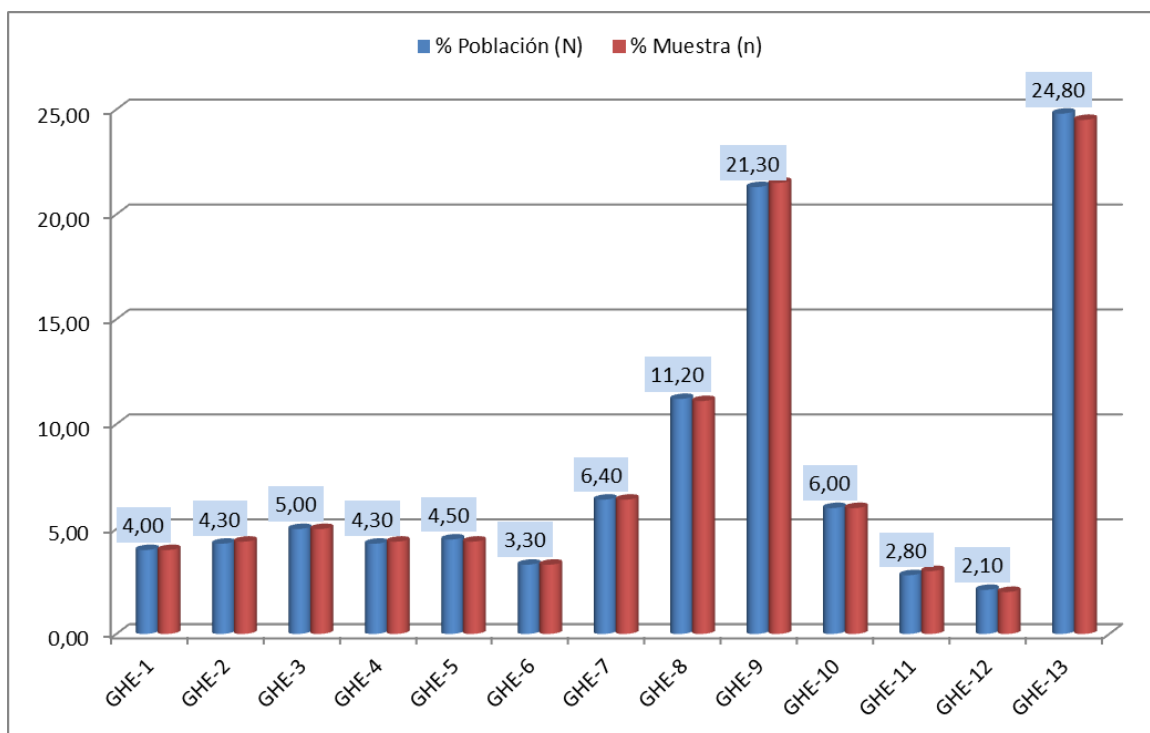


Figura 49.- Distribución porcentual del tamaño de los grupos en la población (N) y en la muestra (n) de la Refinería 1

En la refinерía 2 se han constituido 9 grupos homogéneos (del 14 al 22). La proporción de los elementos (trabajadores) de cada grupo en la población se ha tratado de mantener en la muestra; como puede verse en la figura 50

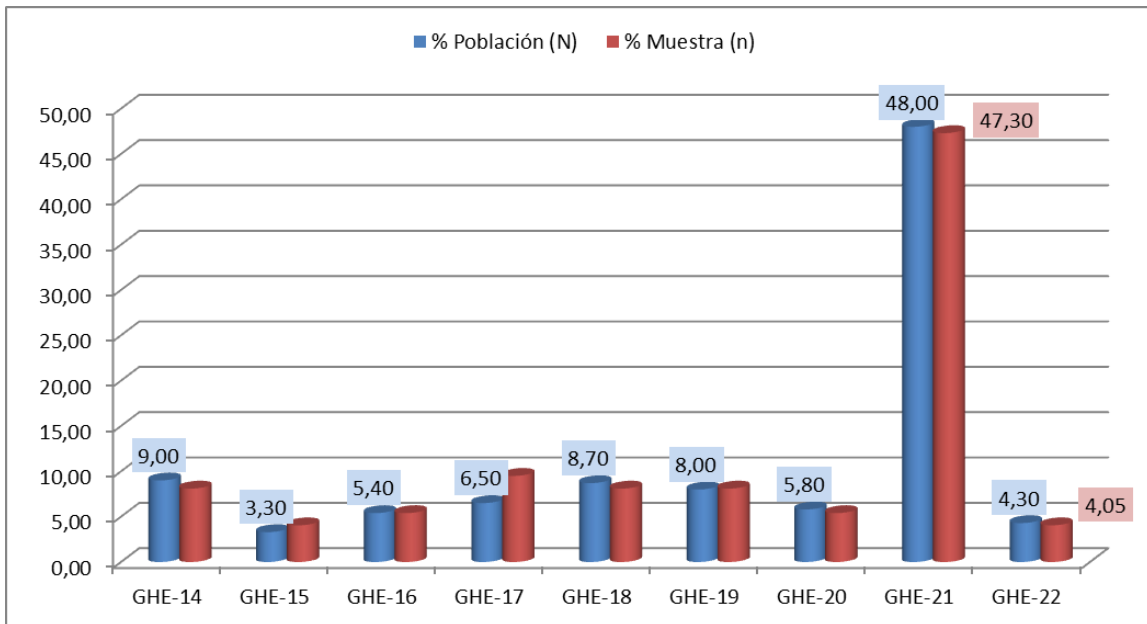


Figura 50.- Distribución porcentual del tamaño de los grupos en la población (N) y en la muestra (n) de la Refinería 2

En la refinería 3 se han constituido 6 grupos homogéneos (del 22 al 28). La proporción de los elementos (trabajadores) de cada grupo en la población se ha tratado de mantener en la muestra; como puede verse en la figura 51

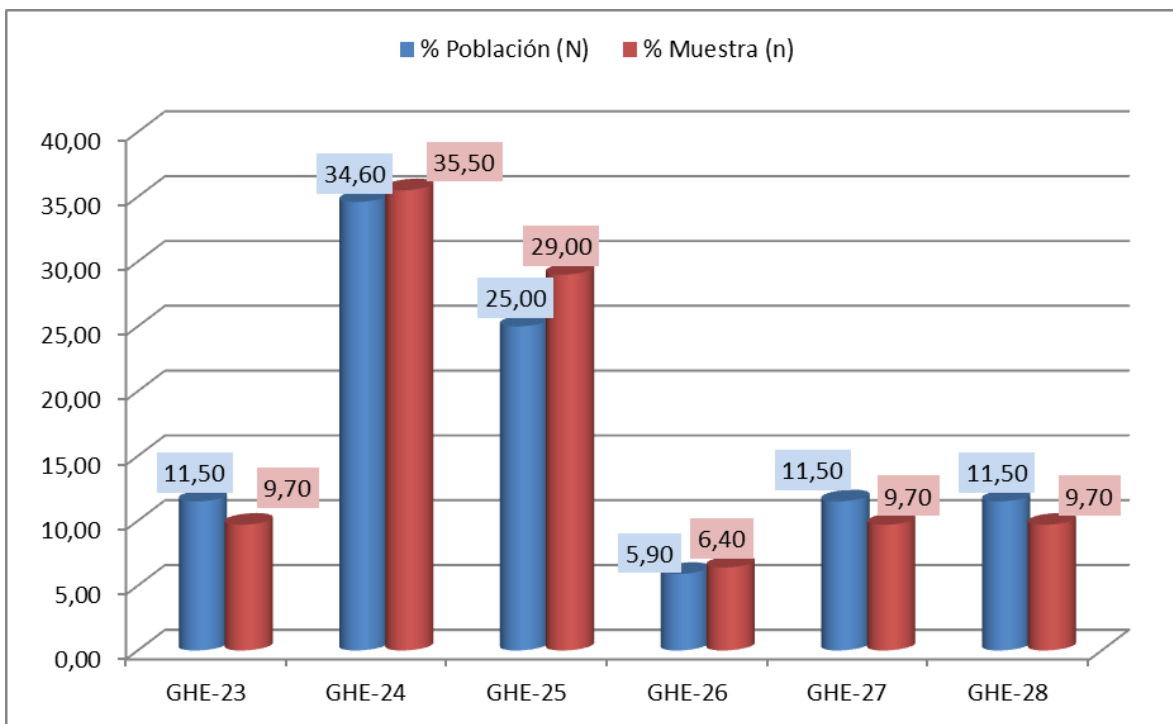


Figura 51.- Distribución porcentual del tamaño de los grupos en la población (N) y en la muestra (n) de la Refinería 3

4.2.- Resultados screening inicial.

Las mediciones iniciales, orientadas a verificar la presencia de contaminantes, se centraron en los Hidrocarburos Aromaticos Policiclicos (HAP's), los compuestos orgánicos volátiles (COV's) y muy especialmente en identificar la presencia de Benceno.

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos en las mediciones de screening inicial, que perseguían también el objetivo de conocer la magnitud de las concentraciones ambientales y la identificación de focos de emisiones fugitivas.

Tabla 42.- Hidrocarburos aromaticos policiclicos (HAP's)

Nº CAS	Nombre del agente	LD (µg/tubo)	DETECCIÓN	OBSERVACIONES
83-32-9	Acenafteno	0,003	SI R-45 cancerígeno	Asfaltos (petróleo) humoso, aerosoles solubles en benceno
	ACENAFTILENO		NO	
120-12-7	Antraceno	0,001	SI	R-45 /C2
56-55-3	Benzo(a)antraceno	0,002	NO	R-45 /C2
50-32-8	Benzo(a)pireno	0,008	NO	< 0,03 mg./lit. INSHT R-45 /C2/M2
205-99-2	Benzo(b)fluoranteno	0,004	NO	
	Benzo(e)Acenaftileno		NO	
192-97-2	Benzo(e)pireno	0,001	NO	R-45 /C2
207-08-9	Benzo(k)fluoranteno	0,002	NO	R-45 /C2
191-24-2	Benzo(ghi)pirileno	0,002	NO	
218-01-9	Criseno	0,002	NO	R-45-68-50/53 C2
53-70-3	Dibenzo(ah)antraceno	0,001	NO	R-45-50/53 C2
85-01-8	Fenantreno	0,004	SI	TLV-TWA= 0,2 mg./m3
206-44-0	Fluoranteno	0,005	NO	
86-73-7	Fluoreno	0,003	SI	
193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,006	NO	10 ppm (VLA-ED)
129-00-0	Pireno	0,003	SI	No clasificado como cancerígeno en humanos
91-20-3	Naftaleno	0,008	SI	10 ppm (VLA-ED)
90-12-0	1-Metilnaftaleno	0,004	SI	
91-57-6	2-Metilnaftaleno	0,004	SI	

Nº CAS = Nº de la sustancia en el Chemical Abstracts Service. LD = Limite de detección

Como se puede ver en la tabla 43, desde las primeras mediciones de cribado comienzan a identificarse valores significativos de Benceno, Benzo α pireno y COV's.

Tabla 43.- Resultado de las Mediciones del screening inicial en la Refinería 1

PLANTA/UNIDAD/AREA/SERVICIO		SO ₂	NO	NO ₂	H ₂ S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
Nº UTILIDADES / TRATAMIENTO DE AGUAS									
1	Y-B7005	2,88	2,00	0,43	0,62	2,00	2,00	N/D	N/D
2	Y-ME7007 TK1/TK2(Tk. DE SOSA Y ACIDO SULFURICO)	0,23	0,50	0,30	N/D	30,00	N/D	N/D	N/D
3	PISCINA DE NEUTRALIZACION	0,15	0,45	0,33	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
4	Y-ME 3003 A/B- TORRES DE ENFRIAMIENTO	0,20	0,48	0,35	N/D	6,00	N/D	N/D	N/D
5	Y-B 25001	3,07	0,62	0,37	0,50	0,50	0,75	N/D	N/D
6	YH25001	0,28	0,50	0,34	N/D	15,00	0,56	N/D	N/D
7	PALL-PISCINA AGUAS PLUVIALES	0,30	0,90	0,45	N/D	N/D	N/D	2,00	4,00
8	PISCINA DE LODOS	0,45	0,57	0,45	N/D	5,00	0,50	N/D	1,00
9	PISCINA DE ESTABILIZACION	0,38	1,23	0,20	1,13	N/D	N/D	N/D	1,00
10	SEPARADOR DE ACEITE POR PALETAS API+C41	0,34	1,57	0,25	1,03	44,20	0,51	N/D	N/D
11	TRATAMIENTO DE FANGOS ACTIVOS	0,38	0,75	0,40	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
12	CARGA AL BIOFILTRO	0,32	0,73	0,57	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
NO CATAÍTICA 2									
13	Entre VLH1 y TV1-H1 (bajo VLH1)	0,90	0,70	0,48	0,40	N/D	1,35	3,00	2,00
14	BOMBAS DE CARGA CP-18 (en pasillo central)	0,30	0,80	0,52	N/D	3,00	0,50	3,00	2,00
15	INTERCAMBIADOR VL-E1 (toma de muestras asfalto)	0,30	0,78	0,93	0,20	N/D	0,90	4,00	2,00
16	ZONA INTERCAMBIADORES TV1-E5 (TV1-TI 115)	0,36	1,17	1,07	N/D	N/D	0,50	2,00	2,00
17	Junto al VL-P3	0,40	1,08	0,90	1,00	9,00	0,50	2,50	1,00
18	VENTILADOR UVL-E11 MB (Nivel 3 de altura)	0,37	0,90	0,40	N/D	N/D	N/D	2,00	1,00
19	Cubierta caseta Nº 4	N/D	0,10	0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

SO₂= Dióxido de Azufre, NO = Oxido de Nitrógeno, NO₂ = Dióxido de Nitrógeno, H₂S = Ácido Sulhídrico.

N/D = No detectado.

	SO ₂	NO	NO ₂	H ₂ S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno	
NO CATALÌTICA 1									
20	INTERCAMBIADORES C-E3	3,20	5,17	1,65	15,08	25,00	0,83	2,00	1,00
21	Debajo de TVV7	1,95	2,38	0,30	1,18	14,33	2,33	2,00	3,00
22	Debajo TVV5	5,58	6,12	3,25	19,93	10,00	9,50	3,00	3,50
23	Bajo CH1	0,43	0,98	0,50	0,75	N/D	N/D	2,00	2,00
24	Bajo TVH1	1,37	0,88	0,33	0,80	168,50	0,83	8,00	4,50
25	C-P2 A-B	0,36	0,90	0,37	0,50	N/D	N/D	2,00	3,00
26	Entre CH1 y VH1	0,38	0,72	0,55	0,50	N/D	1,00	2,00	4,00
27	Bajo CV-7 (EN DRENAJE QUE SE REALIZA 4 VECES EN EL TURNO)	5,05	1,13	1,77	14,13	1,50	N/D	3,00	2,00
28	EYECTORES	2,93	1,67	0,93	4,07	5,00	0,50	N/D	2,00
29	TV-E1 y las TVP7	1,17	1,17	0,30	0,83	N/D	N/D	3,75	64,00
30	CP8 y CP9	0,58	0,73	0,30	N/D	N/D	N/D	2,00	2,00
1	Junto a válvula C-FV84A toma muestras de JET FUEL)	0,48	1,17	0,35	0,65	9,33	1,00	3,50	3,50
CATALÌTICA 1									
32	FV-6-DECANTADOR DE LODOS	3,38	0,93	0,30	2,33	344,00	1,00	43,00	65,00
33	FRACCIONADORA FV-7	1,30	0,92	0,60	0,85	51,00	N/D	133,00	67,00
34	DRENAJE DEL ACUMULADOR DE CATALIZADOR DEL FV-6	1,10	1,32	N/D	7,00	N/D	N/D	N/D	N/D
35	EN TOMA MUESTRAS DEL GV-7	0,45	1,03	0,55	3,00	9,50	3,00	81,00	36,50
36	DEBUTANIZADORA/EQUIPO GV-9	4,40	1,07	0,30	1,76	147,80	1,67	412,50	200,00
37	BOMBAS GP-7-B/A,EN PASILLO CENTRAL PLANTA	1,62	0,92	0,40	0,80	246,20	1,25	4,50	7,00
38	ME-V208 EN TOMA MUESTRAS DE SOSA CAÙSTICA	1,10	0,85	0,40	0,75	89,00	ND	5,00	N/D
39	TANQUE SC-T02 DE SOSA GASTADA/EN TOMA DE MUESTRAS	0,45	0,93	0,40	1,05	6,00	ND	38,00	3,00
40	ISLA DE DISOLUCION DE SOSA/MEV-318	0,33	0,87	0,40	1,00	N/D	ND	1,00	3,00
41	BOMBAS ME-P306 A/B	3,37	2,93	0,40	7,93	33,50	ND	2,00	5,00

SO₂

= Dióxido de Azufre, NO = Oxido de Nitrógeno, NO₂ = Dióxido de Nitrógeno, H₂S = Ácido Sulfhídrico.

N/D = No detectado.

CATALÌTICA 2		SO₂	NO	NO₂	H₂S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
42	P1-V2 EN TOMA DE MUESTRAS	9,50	2,24	0,45	7,70	211,60	1,00	6,50	16,00
43	P1-V20 DRENAJE DE GAS COMBUSTIBLE/K7	6,30	4,76	0,50	N/D	11,00	N/D	3,00	190,00
44	P1-V20 DRENAJE DE GAS COMBUSTIBLE/K7 (1)	6,28	4,86	0,37	20,00	12,00	N/D	N/D	N/D
45	P1-P5 EN TOMA DE MUESTRAS	2,26	1,08	3,68	N/D	887,00	N/D	460,00	473,00
46	P1-LC 108 EN TOMA DE MUESTRAS	0,48	1,16	0,63	2,05	7,75	N/D	2,00	6,50
47	P1-LC 105 EN TOMA DE MUESTRAS	0,70	1,16	0,40	1,25	2,40	N/D	N/D	3,50
48	P2-LC 210 EN TOMA DE MUESTRAS	0,45	3,34	0,63	N/D	103,50	N/D	420,00	435,00
49	P2-V9	0,40	1,64	0,38	N/D	N/D	1,00	96,50	88,00
50	PASILLO HORNOS DE CABINA (Junto a los PC de gas y aceite)	0,48	1,04	0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	5,00
51	PASILLO HORNOS CIRCULARES/PIC 175(P1-H2)	0,34	0,82	0,30	N/D	21,00	N/D	N/D	4,50
52	COMPRESOR DE AMONIACO (P2-C3)	0,44	0,85	0,20	N/D	2,50	N/D	N/D	4,50
53	TOMA DE MUESTRAS DEL DV-1	0,27	0,70	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
54	DV-2	0,30	0,75	0,25	N/D	5,00	N/D	N/D	N/D
55	DV-5 (DRENAJE)	0,23	0,73	0,25	N/D	2,00	N/D	N/D	N/D
56	DV-11	0,28	0,73	0,20	N/D	3,00	N/D	N/D	N/D
57	DV-12	0,23	0,58	0,20	N/D	1,00	N/D	N/D	N/D
58	DV-13	0,25	0,68	0,30	N/D	2,00	N/D	N/D	N/D
59	DV-06	0,27	0,60	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
60	DV-04	0,27	0,73	N/D	N/D	5,00	N/D	N/D	N/D
61	COMPRESOR CENTRIFUGO DC-02	0,38	0,73	N/D	N/D	5,00	N/D	N/D	N/D
62	DC-01	0,35	0,80	N/D	N/D	3,00	N/D	N/D	N/D
63	DH-01	0,30	0,78	N/D	N/D	25,00	N/D	N/D	N/D
64	BOMBAS DP2-A/B	0,30	0,80	N/D	N/D	6,00	N/D	N/D	N/D
65	DV-08 (EN ALTURA,4º NIVEL)	0,37	0,83	N/D	N/D	6,00	N/D	N/D	N/D

SO₂= Dióxido de Azufre, NO = Oxido de Nitrógeno, NO₂ = Dióxido de Nitrógeno, H₂S = Ácido Sulfídrico.

N/D = No detectado.

CATALÌTICA 3		SO₂	NO	NO₂	H₂S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
66	VP-1A	1,68	0,86	0,35	36,83	N/D	N/D	N/D	3,00
67	V1/VP1A TOMA DE MUESTRAS DE ANIMA POBRE	0,38	0,70	0,40	1,20	N/D	N/D	N/D	1,00
68	U- VENTILADORES EN PRIMER NIVEL DE ALTURA	4,36	100,58	0,33	109,60	N/D	N/D	N/D	2,00
69	Z1-P4	0,88	1,53	0,20	0,97	12,50	N/D	N/D	2,00
70	Z1-V1	0,98	1,14	0,55	1,40	5,00	N/D	N/D	2,00
71	POZO DEL ST1 y BOMBA DE REFLUJO Z1-V2/Z1-P4B	0,83	1,22	0,30	1,57	N/D	N/D	N/D	2,00
72	U1P1/UP1-B TOMA DE MUESTRAS DE ANIMAS RICAS	3,65	2,00	0,40	20,25	6,00	N/D	N/D	2,00
73	U1-P4	0,33	1,10	0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	1,00
74	Und. de AZUFRE/SMEO-1, EN SELLOS HIDRAÙLICOS	8,50	10,60	1,15	58,72	N/D	N/D	N/D	3,00
75	U1-V10/TOMA MUESTRAS DE ANIMAS POBRES	0,47	1,26	0,33	2,20	N/D	2,20	N/D	N/D
SETRIA									
76	BOMBAS	N/D	N/D	0,70	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
77	CASETA ENTRE TRAMPA RASCADORES Y TOMA DE CRUDO	N/D	0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
78	JUNTO A YP-8010 (SECUESTRANTE DE H2S)	N/D	0,20	0,80	0,40	N/D	N/D	2,00	2,00
79	CASETA	N/D	0,50	N/D	N/D	N/D	N/D	2,00	N/D
80	PATIO DE BOMBAS	0,20	0,40	0,60	0,40	N/D	N/D	6,00	64,00
81	UNIDAD DE TRANSFERENCIA UT-B-CASETA	N/D	1,40	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
82	PATIO DE BOMBAS (ZONA CENTRAL PASARELA)	N/D	0,70	0,90	N/D	N/D	N/D	3,00	2,00
83	CASETA DE PESADO DE TINTURACION (se presume presencia de xileno)	N/D	1,40	0,70	N/D	N/D	N/D	3,00	3,00
84	BANCO DE BOMBAS DE ESFERAS	N/D	0,40	0,60	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
85	BANCO DE BOMBAS	N/D	1,30	0,50	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
86	UNIDAD DE TRANSFERENCIA-UT-F-CASETA	N/D	2,70	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
87	ISLA DE CARGA DE NAFTA-5011	N/D	1,70	0,50	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
88	ISLA DE CARGA DE DIÉSEL-5007	N/D	1,70	,070	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

SO₂= Dióxido de Azufre, NO = Oxido de Nitrógeno, NO₂ = Dióxido de Nitrógeno, H₂S = Ácido Sulfhídrico.

N/D = No detectado.

SETRIA		SO ₂	NO	NO ₂	H ₂ S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
89	ISLA DE CARGA DE GASOLINA EXTRA 5001 Y GASOLINA	N/D	1,30	0,50	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
90	ISLA DE CARGA DE ASFALTOS-5020/AP-3 ASFALTO B-5020	N/D	1,30	0,50	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
91	ISLA DE CARGA DE LPG	N/D	1,30	0,40	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
CONTROL DE CALIDAD									
92	LABORATORIOS DE ANÁLISIS	0,40	1,27	0,43	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

SO₂= Dióxido de Azufre, NO = Oxido de Nitrógeno, NO₂ = Dióxido de Nitrógeno, H₂S = Ácido Sulhídrico.

N/D = No detectado.

Llama la atención las elevadas concentraciones puntuales de Benceno medidas en la planta Catalítica 1, con valores de 412 ppm en la DEBUTANIZADORA/EQUIPO GV-9 y 133 ppm en la FRACCIONADORA FV-7.

En la planta Catalítica 2, se llegan a medir valores puntuales de Benceno de 460 y 420 ppm y de 473 y 435 ppm de Benzo α pireno, en los puntos de Toma de muestras. A partir de este momento el equipo investigadores y de técnicos, comenzamos a utilizar protección personal respiratoria.

En la refinería 2, como podemos ver en la tabla 44, aparecen algunos valores de concentración puntual de Benceno moderadamente elevados, 35 ppm en la purga de gasolinas estabilizadas, 26 ppm en el aljibe número 1 del separador API y 16 ppm en el toma de muestras mainfoult de productos, como valores más altos.

Tabla 44.- Resultado de las Mediciones del screening inicial en la Refinería 2

UNIDAD DE TRATAMIENTO UNIVERSAL		SO₂	NO	NO₂	H₂S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
DESTILACION ATMOSFERICA									
1	INSTALACION PREPARACION DE QUIMICOS	0,30	0,58	0,23	N/D	5,00	N/D	1,50	N/D
2	HORNO TH-2	0,20	0,30	0,20	N/D	4,50	1,00	1,00	N/D
3	ENFRIADORES CE11A Y CE11B	0,50	0,52	1,08	0,60	14,50	1,17	4,00	34,67
4	INTERCAMBIADOR CE-4 ^a //CE-6B(1 ^o TOMA MUESTRAS)	0,30	0,67	0,50	N/D	5,50	0,50	5,00	4,00
5	C-PR 17/ CP5B (GASOLINA)	0,50	0,44	N/D	N/D	33,50	0,50	7,00	2,50
6	DESCARGA DE AGUA PLANTA ESTABILIZACION DE GAS	0,20	0,46	N/D	N/D	12,00	0,50	2,50	1,50
7	GPI 44	0,40	0,64	0,25	N/D	13,00	0,50	3,50	2,00
8	PURGA GASOLINAS ESTABILIZADAS LC89	0,30	0,52	0,30	N/D	25,50	0,50	35,00	2,50
UNIDAD DE TRATAMIENTO PARSONS									
DESTILACION ATMOSFERICA									
9	TOMA DE MUESTRAS DESALADORA	N/D	0,44	0,50	N/D	10,00	N/D	4,00	6,00
10	TOMA DE MUESTRAS MAINFOULT DE PRODUCTOS	N/D	0,58	0,26	N/D	9,00	N/D	16,00	2,00
11	PASILLO DEL PP1A A PP8A	N/D	0,52	0,35	N/D	5,00	0,50	3,00	N/D
12	PREPARACION DE QUIMICOS (DRENAJE DEL DETECTOR DE REFLUJOS DE GAS-OÍL Y GASOLINA)	N/D	0,44	0,30	N/D	10,00	1,00	3,00	N/D
13	BOMBAS DE VERTIDO-TORRES DE REFRIGERACION	N/D	0,40	0,20	N/D	4,00	N/D	1,00	N/D
14	HORNO PH1	N/D	0,47	0,20	N/D	3,00	0,50	1,00	N/D
15	TANQUES DE COMBUSTIBLE PARA HORNO F7-F8	N/D	0,50	0,30	N/D	3,00	N/D	N/D	N/D
16	TANQUES 35-36 DE GASOLINA NATURAL/NO ESTABILIZADA	N/D	0,70	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
SEPARADOR DE ACEITES									
17	BOMBAS DE SLOP	N/D	0,50	N/D	N/D	6,50	N/D	3,50	N/D
18	ALJIBE Nº1-SEPARADOR API	N/D	0,50	0,35	N/D	84,50	N/D	26,00	21,00

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE GASES		SO ₂	NO	NO ₂	H ₂ S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
19	LPG-TANQUE G-3	0,15	0,60	SO ₂	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
CASAS BOMBAS									
20	CASA BOMBA 1- BOMBAS DE TRANSFERENCIA	N/D	0,58	0,18	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
EL CAUTIVO TRATAMIENTO DE LODOS									
21	SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS	N/D	0,50	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA									
22	CRUDO C 1 P 1 A M	0.28	0,76	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
23	DIÉSEL PESADO C1P-13B	0.70	0,67	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
24	TOMA MUESTRAS C1.Pr 73	N/D	0,63	0,30	N/D	N/D	N/D	2,00	N/D
25	BOMBAS DE COMBUSTIBLE- SECCION COMPRESORES	N/D	0,67	0,25	N/D	N/D	N/D	N/D	1,00
26	PISCINA DE ENFRIAMIENTO	0,20	0,65	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
27	C1V-5/C1V-21 (frente a las bombas)	0,43	0,82	0,20	N/D	N/D	N/D	2,00	N/D
28	HORNO C1H-2A	0,35	0,65	0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
29	ALJIBE	0,35	0,80	0,25	N/D	N/D	N/D	2,00	N/D
30	TRATAMIENTO DE FENOLES	0,27	0,65	0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
31	PISCINA DE LODOS/SEDIMENTOS	0,20	0,60	0,20	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
32	CUARTO DE GENERADORES	N/D	0,82	0,28	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
CONTROL DE CALIDAD									
33	LABORATORIOS	N/D	0,54	0,20	1,00	16,00	2,00	5,50	3,50
PATIO DE DESPACHOS									
34	ISLA Nº1-DIÉSEL SPRAY	0,75	2,68	0,78	N/D	N/D	1,00	N/D	1,00
PATIO DE DESPACHOS									
35	ISLA Nº3-GASOLINA	OR>12,5	1,45	0,43	N/D	6,00	0,50	5,00	10,00
PLANTA ELÉCTRICA									
36	TURBINAS	N/D	0,53	0,30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
37	CALDERA	N/D	0,67	0,28	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

SO₂= Dióxido de Azufre, NO = Oxido de Nitrógeno, NO₂ = Dióxido de Nitrógeno, H₂S = Ácido Sulfhídrico.

N/D = No detectado.

En relación con la identificación de contaminantes químicos en la refinería 2, cabe destacar los siguientes comentarios:

- ✓ En la planta UNIVERSAL se ha detectado presencia de dióxido de azufre, de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's).
- ✓ En la planta PARSONS se detecta, en casi todos los puntos de monitoreo, presencia de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) y de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)
- ✓ En el separador de aceites y en el aljibe, se ha detectado alta concentración de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) y de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's).
- ✓ En la zona de tratamiento de gases, Área de Tanques y Bombas, no se han detectado concentraciones significativas de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's), ni de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's).
- ✓ En la planta de EL CAUTIVO, se han identificado algunos puntos con presencia de Dióxido de Azufre, y dos puntos con presencia de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) y de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's).
- ✓ En los Laboratorios de CONTROL DE CALIDAD se ha detectado presencia de Dióxido de Azufre, Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) y de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's).
- ✓ En los patios de despacho (Isla 3 de Gasolina), se ha identificado una elevada concentración de Dióxido de Azufre y presencia de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's) y de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's).
- ✓ En la planta ELECTRICA, no se han detectado concentraciones significativas de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's), ni de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX's).

Tabla 45.- Resultado de las Mediciones del screening inicial en la Refinería 3

AMAZONAS 1		SO₂	NO	NO₂	H₂S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
Nº									
1	BOMBAS DE CARGA	0,40	0,57	0,45	N/D	9,00	0,50	2,00	8,00
2	TOMA DE MUESTRAS DE DIÉSEL	0,30	0,62	0,30	N/D	9,00	N/D	N/D	10,00
3	TOMA MUESTRAS DE GASOLINA	0,27	0,70	0,50	N/D	N/D	0,50	3,00	4,50
4	BOMBAS DE PROCESOS	0,27	0,72	0,50	N/D	15,00	0,40	N/D	10,00
5	BOMBAS DE CARGA DE FUEL OIL:Y-P 501	0,30	0,73	0,40	N/D	10,00	N/D	N/D	7,00
6	ENTRADA DE GAS COMBUSTIBLE PARA HORNOS Y CALDERAS:Y-V 501	0,33	0,77	0,47	0,70	8,00	0,50	3,00	3,50
7	FOSA DE LODOS	0,27	0,75	N/D	0,40	7,00	N/D	1,00	4,00
8	PIT TANK- SEPARADORES CPI	1,82	6,65	0,56	2,60	410,00	1,98	157,00	119,50
9	PISCINAS DE LODOS	0,70	1,13	0,30	0,70	11,00	N/D	4,00	2,50
10	HORNO DE CALENTAMIENTO DE CRUDO	0,58	1,20	0,33	0,60	7,00	0,50	2,00	2,00
11	TANQUE Y-U 701-03V B	0,56	1,22	0,35	0,50	6,00	N/D	2,00	2,00
CONTROL DE CALIDAD									
12	LABORATORIO DE HIDROCARBUROS	0,58	1,80	N/D	N/D	7,00	N/D	2,00	N/D
13	LABORATORIO DE AGUAS	0,56	1,56	0,30	N/D	3,50	N/D	2,00	N/D
14	LABORATORIO DE GASES	0,54	1,48	0,50	N/D	3,00	N/D	1,00	N/D
15	ÁREA DE OCTANAJE	0,63	1,58	0,30	N/D	5,50	N/D	2,00	N/D
16	HORNO	0,48	0,93	0,50	N/D	7,00	0,50	N/D	1,00
17	BOMBAS DE FUEL OIL Y2P501C y D	0,45	1,05	0,35	N/D	5,00	N/D	N/D	N/D
18	BOMBAS DE PROCESO	0,70	1,07	0,30	N/D	4,00	N/D	1,00	1,00
19	BOMBAS DE GASOLINA C2P005A y B	0,48	1,12	0,38	N/D	11,00	0,75	4,50	1,00
20	TOMA MUESTRAS DIÉSEL	0,53	1,08	0,20	N/D	15,00	N/D	2,00	N/D
21	TOMA MUESTRAS DE GASOLINA	0,46	1,12	0,40	N/D	53,00	N/D	10,00	N/D
22	SEPARADOR PRIMARIO DE ACEITES Y2P-406	0,43	1,17	0,20	N/D	7,00	N/D	21,00	N/D
23	PIT TANK R2	0,50	1,23	0,48	N/D	545,50	N/D	44,00	102,50
24	PISCINAS	0,44	1,23	N/D	N/D	9,00	N/D	2,00	1,00

PLANTA DE GAS		SO ₂	NO	NO ₂	H ₂ S	COV's	Mercaptanos	Benceno	Benzo α pireno
25	COMPRESORES DE GAS C2.P0011A/C2.C001.01.VA	0,60	1,22	0,20	N/D	N/D	N/D	N/D	7,00
26	SEPARADOR DE ENTRADA GV 16-01	0,43	1,35	N/D	N/D	25,50	N/D	N/D	N/D
27	DEPURADOR DE GAS DE REGERACION (METANO-ETANO) GV 163D	0,50	1,33	0,43	0,90	40,00	1,50	7,00	N/D
28	TOMA MUESTRAS PROPANO	0,48	1,23	0,40	N/D	11,00	0,50	N/D	N/D
29	TOMA MUESTRAS LGP	0,38	1,23	0,50	N/D	21,50	N/D	12,00	N/D
30	SEPARADOR FRIO GV-1607	0,44	1,38	,030	N/D	470,00	N/D	2,00	N/D
PATIO DE DESPACHO									
31	LLENADERAS								
CAPTACION DE GAS SECOYA									
32	SISTEMA DE GLICOL	N/D	0,20	0,40	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
33	VALVULA DE VENATEO P385A	N/D	0,20	0,40	N/D	8,00	N/D	N/D	N/D
34	INTERCAMBIADOR-VENTEO E.320 PROPANO-SCHILLER	N/D	0,20	0,30	N/D	3,00	N/D	N/D	N/D
35	LINEA DE ACEITE TERMICO	N/D	0,30	0,20	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
36	SISTEMA DE REFRIGERACION V520	N/D	0,20	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
37	ACEITE TERMINO	N/D	0,20	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
38	UNIDADES DE CAPTACION	N/D	0,40	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
39	PLANTA DE CO2 V230/SEPARADOR ENTRADA PLANTA	N/D	0,50	0,30	N/D	192,00	N/D	N/D	N/D
40	PLANTA DE CO2 SISTEMA DE MEMBRANAS	N/D	0,70	0,70	N/D	116,00	N/D	N/D	N/D
41	ACUMULADOR DE BAJA-DRENAJE	0,90	N/D	0,80	N/D	17,00	N/D	N/D	N/D

SO₂
=
Dió
xido
de
Azu
fre,
NO
=
Oxi
do
de
Nitr
óge
no,
NO
2 =

Dióxido de Nitrógeno, H₂S = Ácido Sulhídrico. N/D = No detectado.

En esta refinería, como se puede ver en la tabla 45, se encontraron valores de concentraciones puntuales a COV's muy elevados en el PIT TANK- SEPARADORES CPI (410 ppm), en el PIT TANK R2 (545,5 ppm) de la planta Amazonas 1 y en el SEPARADOR FRIO GV-1607 de la Planta de Gas (470 ppm), como valores más importantes. Las concentraciones puntuales de benceno más elevadas se encontraron en el PIT TANK- SEPARADORES CPI (157 ppm), en el que también se midieron concentraciones de Benzo α pireno de 119,50 ppm.

4.3.- RESULTADOS DE LAS MEDICIONES AMBIENTALES, POR GHE.

4.3.1.- Contraste de la Exposición diaria (ED) con el valor Límite VLA-ED

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de las mediciones ambientales para la determinación de la exposición diaria (ED) de los trabajadores, por Grupos Homogéneos de Exposición, conforme a lo establecido en la Norma UNE-EN-689.

Los resultados los presentamos como índices de exposición, relativizando de esta manera la variable exposición diaria (ED), al referirla a la unidad, dividiendo la exposición diaria (ED), por el Valor Límite de exposición diaria (VLA-ED), establecido para cada sustancia. Los índices de exposición así obtenidos, los hemos categorizado conforme se describe en la tabla 46, de elaboración propia, en 5 categorías, para una mejor y más rápida comprensión del nivel de exposición diaria.

Tabla 46.- Categorización de los Índices de Exposición

RANGO	CATEGORIA
Ind. Exp. > 1 (Sobree Exposición)	4
Ind. Exp. > 0,5 y < 1	3
Ind. Exp. > 0,25 y <= 0,5	2
Ind. Exp. > 0 y <= 0,25	1
Ind. Exp. = 0 (No exposición)	0

Tabla 47.- Exposición a Benceno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 1

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	Ind. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
NO CATALITICAS 1	1	0,76	1,0	0,76	3
NO CATALITICAS 2	2	0,78	1,0	0,78	3
CATALITICAS 1	3	0,63	1,0	0,63	3
CATALITICAS 2	4	2,58	1,0	2,58	4
CATALITICAS 3	5	0,23	1,0	0,23	1
GENER. VAPOR / UTILIDADES	6	0,17	1,0	0,17	1
TRATº AGUAS/EFLUENTES	7	0,51	1,0	0,51	3
SETRIA	8	0,98	1,0	0,98	3
ADMINISTRACION / S.G.	9	0,08	1,0	0,08	1
LABORATORIOS	10	0,23	1,0	0,23	1
LLENADERAS	11	0,07	1,0	0,07	1
BUNKER	12	0,01	1,0	0,01	1
MANTENIMIENTO	13	0,44	1,0	0,44	2

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

Como podemos ver en la tabla 47, en la Refinería 1, se han medido concentraciones de exposición diaria a Benceno en el GHE-4 (Planta Catalítica 2), que superan en 2,5 veces el valor límite VLA-ED establecido para el Benceno (categoría 4, según nuestra clasificación), encontrándose 5 grupos más de esta refinería en la categoría 3 (ED > 50% del Valor Límite VLA-ED).

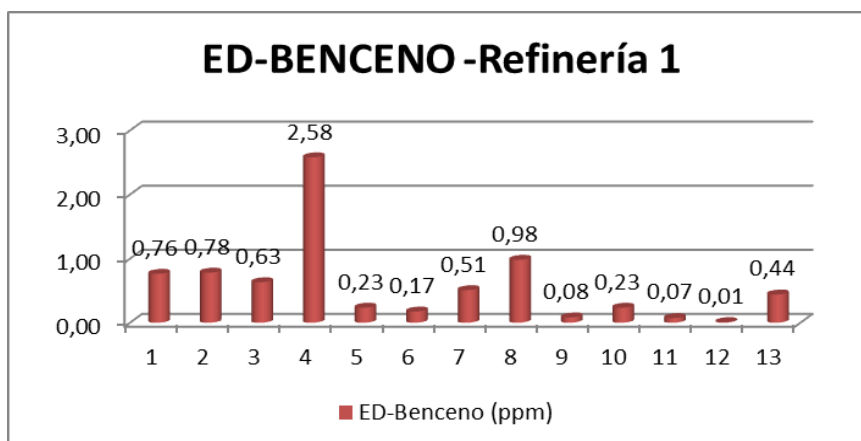


Figura 52.- Exposición a Benceno por GHE en la Refinería 1

En la Refinería 2, no se han medido concentraciones de exposición diaria (ED) a Benceno, con índices de exposición de categoría 4; existiendo tan sólo una planta con un índice de exposición de categoría 3, otra de categoría 2 y dos de categoría 1. En 5 de los 9 Grupos Homogéneos de Exposición no se ha detectado exposición a Benceno, como podemos ver en la tabla 48.

Tabla 48.- Exposición a Benceno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 2

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
CASA BOMBAS	14	0,00	1,0	0,00	0
EL CAUTIVO	15	0,23	1,0	0,23	1
LLENADERAS / DESPACHO	16	0,39	1,0	0,39	2
PARSONS Y UNIVERSAL	17	0,10	1,0	0,10	1
TRATAMIENTO DE AGUAS	18	0,00	1,0	0,00	0
LABORATORIOS	19	0,64	1,0	0,64	3
GENERACION ELECTRICA	20	0,00	1,0	0,00	0
MANTENIMIENTO	21	0,00	1,0	0,00	0
ADMINISTRACION / SS. GG.	22	0,00	1,0	0,00	0

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

En la figura 53, se observan los cuatro grupos homogéneos que presentan índices de exposición a Benceno significativos y los 5 grupos en los que no se ha detectado presencia de benceno.

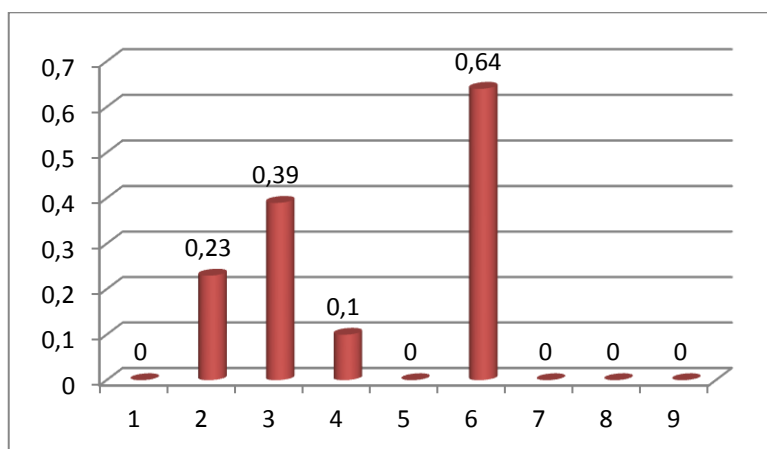


Figura 53.- Exposición a Benceno por GHE en la Refinería 2

Como podemos observar en la tabla 49, en la Refinería 3 el Índice de exposición a Benceno más elevado (categoría 3) se ha medido en el área de Laboratorios de control de calidad; otras dos áreas presentan índices de exposición de categoría 1 y en las tres restantes no se ha detectado presencia de benceno (ED < LD).

Tabla 49.- Exposición a Benceno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 3

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
TRATAMIENTO DE GAS	23	0,00	0,50	0,00	0
REFINERIA AMAZONAS 1 Y 2	24	0,07	0,50	0,14	1
ADMINISTRACION / SS. GG.	25	0,00	0,50	0,00	0
LLENADERAS	26	0,01	0,50	0,02	1
LABORATORIOS	27	0,35	0,50	0,69	3
MANTENIMIENTO	28	0,00	0,50	0,00	0

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

Los niveles de exposición a Tolueno en la refinería 1 se pueden considerar bajos en general, con la única excepción de la planta Catalítica 2, que podríamos calificarla como moderada, ya que presenta un índice de exposición de categoría 2, como se observa en la tabla 50.

Tabla 50.- Exposición a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 1

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
NO CATALITICAS 1	1	0,98	50	0,020	1
NO CATALITICAS 2	2	0,19	50	0,003	1
CATALITICAS 1	3	2,26	50	0,045	1
CATALITICAS 2	4	12,78	50	0,260	2
CATALITICAS 3	5	0,63	50	0,013	1
GENER. VAPOR / UTILIDADES	6	1,10	50	0,022	1
TRATº AGUAS/EFLUENTES	7	1,46	50	0,030	1
SETRIA	8	3,93	50	0,079	1
ADMINISTRACION / S.G.	9	0,31	50	0,006	1
LABORATORIOS	10	1,50	50	0,03	1
LLENADERAS	11	0,22	50	0,004	1
BUNKER	12	0,36	50	0,007	1
MANTENIMIENTO	13	1,78	50	0,036	1

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

Los niveles de exposición a Tolueno en la Refinería 2 se pueden considerar muy bajos en general y como podemos ver en la tabla 51, las exposiciones diarias se encuentran por debajo de 1 ppm siendo el Valor Limite VLA-ED de 50 ppm.

Tabla 51.- Exposición a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 2

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
CASA BOMBAS	14	0,00	50	0,000	0
EL CAUTIVO	15	0,60	50	0,012	1
LLENADERAS / DESPACHO	16	0,15	50	0,003	1
PARSONS Y UNIVERSAL	17	0,17	50	0,003	1
TRATAMIENTO DE AGUAS	18	0,08	50	0,001	1
LABORATORIOS	19	1,15	50	0,023	1
GENERACION ELECTRICA	20	0,05	50	0,001	1
MANTENIMIENTO	21	0,03	50	0,0006	1
ADMINISTRACION / SS. GG.	22	0,28	50	0,006	1

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

La exposición a Tolueno en la Refinería 3 es poco significativa con índices de exposición muy bajos, como podemos ver en la tabla 52

Tabla 52.- Exposición a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 3

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
TRATAMIENTO DE GAS	23	0,16	50	0,0032	1
REFINERIA AMAZONAS 1 Y 2	24	0,08	50	0,0016	1
ADMINISTRACION / SS. GG.	25	0	50	0	0
LLENADERAS	26	0,03	50	0,0006	1
LABORATORIOS	27	0,29	50	0,0058	1
MANTENIMIENTO	28	0	50	0	0

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

Las mediciones ambientales de Xileno medidas en el seno de los grupos de exposición homogénea, en la Refinería 1 sólo presentan valores de exposición diaria (ED) relevantes en la Plantas Catalítica 1 (ED = 1,81 ppm) y Catalítica 2 (ED = 7,35 ppm) , en el área de Setria (ED = 4,73 ppm), área de Efluentes (ED=1,06 ppm) y en el servicio de Mantenimiento (ED = 1,01 ppm). En los restantes grupos de esta refinería, como puede verse en la tabla 53 y en la figura 54, la exposición diaria se encuentra por debajo de 1 ppm (siendo VLA-ED = 50 ppm).

Tabla 53.- Exposición a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición GHE de la Refinería 1

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
NO CATALITICAS 1	1	0,30	50	0,006	1
NO CATALITICAS 2	2	0,65	50	0,013	1
CATALITICAS 1	3	1,81	50	0,036	1
CATALITICAS 2	4	7,35	50	0,147	1
CATALITICAS 3	5	0,20	50	0,004	1
GENER. VAPOR / UTILIDADES	6	0,17	50	0,003	1
TRATº AGUAS/EFLUENTES	7	1,06	50	0,021	1
SETRIA	8	4,73	50	0,095	1
ADMINISTRACION / S.G.	9	0,05	50	0,001	1
LABORATORIOS	10	0,40	50	0,008	1
LLENADERAS	11	0,09	50	0,002	1
BUNKER	12	0,00	50	0,000	0
MANTENIMIENTO	13	1,01	50	0,020	1

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

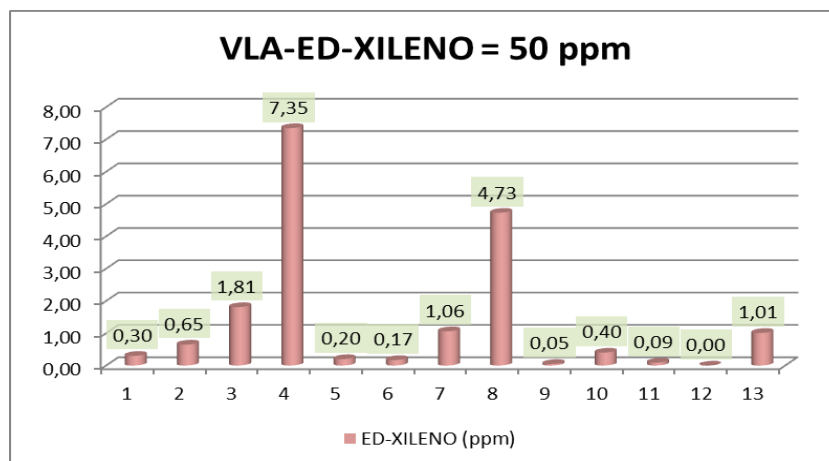


Figura 54.- Exposición a Xileno por GHE en la Refinería 1

En las Refinerías 2 y 3, la exposición a Xileno es testimonial y poco significativa, la exposición diaria (ED) se encuentra muy por debajo del valor límite de exposición diaria (VLA-ED), como se puede ver en las tablas 54 y 55.

Tabla 54.- Exposición a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 2

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
CASA BOMBAS	14	0	50	0	0
EL CAUTIVO	15	0,35	50	0,0070	1
LLENADERAS / DESPACHO	16	0,05	50	0,0010	1
PARSONS Y UNIVERSAL	17	0	50	0	0
TRATAMIENTO DE AGUAS	18	0,02	50	0,0004	1
LABORATORIOS	19	0,29	50	0,0058	1
GENERACION ELECTRICA	20	0,01	50	0,0002	1
MANTENIMIENTO	21	0,03	50	0,0006	1
ADMINISTRACION / SS. GG.	22	0	50	0	0

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria

Tabla 55.- Exposición a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 3

PLANTA	GHE	ED-(ppm)	VLA-ED	I. Exp-ED	Índice Expos. Categorizado
TRATAMIENTO DE GAS	23	0,32	50	0,0064	1
REFINERIA AMAZONAS 1 Y 2	24	0	50	0	0
ADMINISTRACION / SS. GG.	25	0	50	0	0
LLENADERAS	26	0	50	0	0
LABORATORIOS	27	0,08	50	0,0016	1
MANTENIMIENTO	28	0,03	50	0,0006	1

ED: Exposición diaria, VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria.

4.3.2.- Contraste de las Exposiciones de Corta Duración (EC) con el Valor Límite de referencia VLA-EC para el Tolueno y el Xileno.

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos en la medición ambiental realizada para determinar las exposiciones de corta duración (EC) y su comparación con los Valores Límite de corta duración (VLA-EC); mediante este contraste con el estándar de referencia se controla en la praxis de la Higiene Industrial los efectos de naturaleza aguda de aquellas sustancias, como el Tolueno y el Xileno, que siendo la naturaleza de su efecto principal de carácter crónico, también tiene reconocido algún efecto de naturaleza aguda y este último se controla con el VLA-EC, que actúa como valor TLV-STEEL en el sistema de valores límite de los TLV's de la ACGIH americana.

En la tabla 56 y en la Figura 55 podemos ver que en la Refinería 1 se supera el valor límite de corta duración (VLA-EC) establecido para el Tolueno, en tres de los 13 grupos (GHE). La planta Catalítica 2 aparece con el mayor índice de exposición de corta duración a Tolueno (Ind.exp. = 7,8), seguida de la planta Catalítica 1 (con Ind.exp= 3,15) y la No Catalítica 1 (Con un Ind.exp. = 3).

Tabla 56.- Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) de la Refinería 1

PLANTA	GHE	EC-(ppm) Tolueno	VLA-EC Tolueno	I. Exp-Ec	Índice Expos. Categorizado
NO CATALITICAS 1	1	300	100	3	4
NO CATALITICAS 2	2	50	100	0,5	2
CATALITICAS 1	3	315	100	3,15	4
CATALITICAS 2	4	780	100	7,8	4
CATALITICAS 3	5	3,6	100	0,036	1
GENER. VAPOR / UTILIDADES	6	50	100	0,5	2
TRATº AGUAS/EFLUENTES	7	35	100	0,35	2
SETRIA	8	80	100	0,8	3
ADMINISTRACION / S.G.	9	9	100	0,09	1
LABORATORIOS	10	16	100	0,16	1
LLENADERAS	11	4	100	0,04	1
BUNKER	12	12	100	0,12	1
MANTENIMIENTO	13	90	100	0,9	3

EC:Exposición de corta duración, VLA-EC:Valor Límite Ambiental de corta duración.

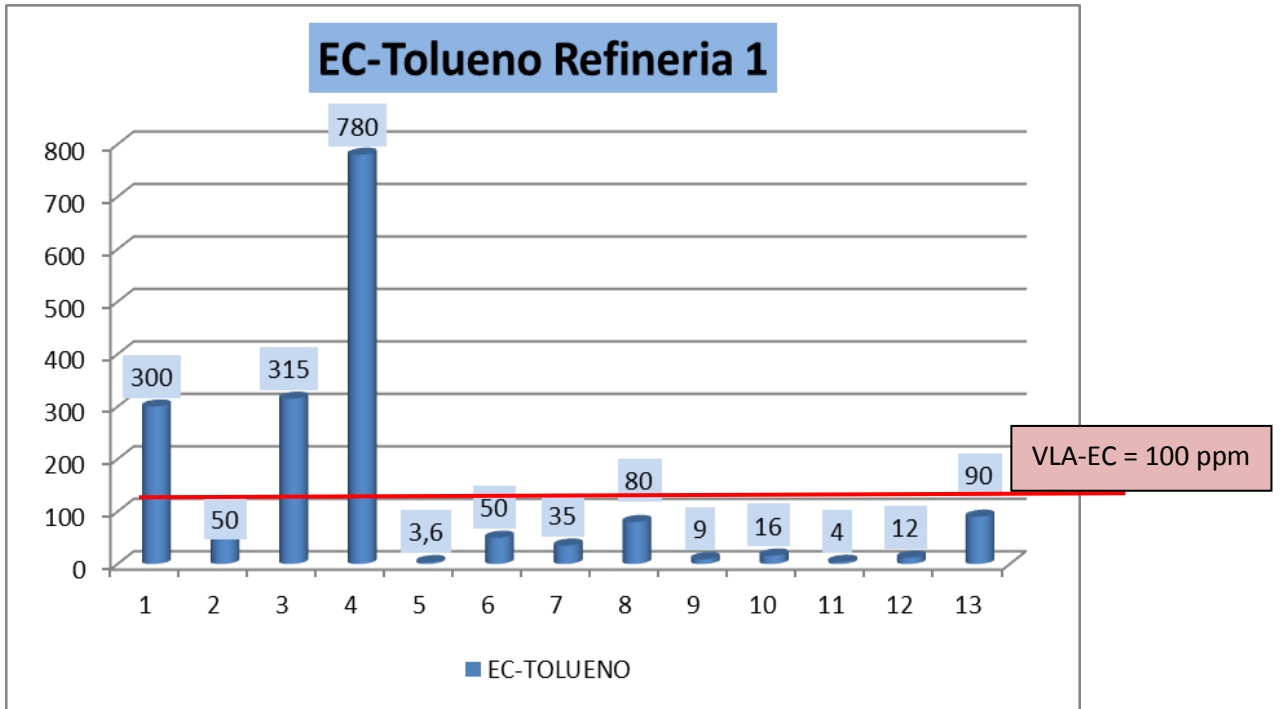


Figura 55.- Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homógenos de Exposición (GHE) de la Refinería 1

Las sobre-exposiciones de corta duración más elevadas que se encontraron en esta refinería se corresponden con tareas de toma de muestras como las que pueden verse en las fotos de la figura 56



Figura 56.- Puntos de toma de muestras, en las que se libera el contaminante, pasando directamente a la atmósfera del lugar de trabajo

En la Refinería 2 las exposiciones de corta duración (EC) a Tolueno se pueden calificar de moderadas, hallándose tan solo un grupo con un índice de exposición de categoría 3 (en el área de laboratorios con una EC = 68 ppm). Los restantes grupos homogéneos (GHE) presentan índices de exposición de categoría 1 (EC > 0 y < 25 ppm), como podemos ver en la tabla 57 y en la Figura 57.

Tabla 57.- Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 2

PLANTA	GHE	Tolueno EC (ppm)	VLA-EC TOLUENO	I. exp- EC TOLUENO	Índice Expos. Categorizado
CASA BOMBAS	14	0	100	0	0
EL CAUTIVO	15	9	100	0,09	1
LLENADERAS	16	10	100	0,1	1
PARSONS Y UNIVERSAL	17	20	100	0,2	1
TRATAMIENTO DE AGUAS	18	10	100	0,1	1
LABORATORIOS	19	68	100	0,68	3
GENERACION ELECTRICA	20	6	100	0,06	1
MANTENIMIENTO	21	5	100	0,05	1
ADMINISTRACION/S.G.	22	8	100	0,08	1

EC:Exposición de corta duración, VLA-EC:Valor Límite Ambiental de corta duración.

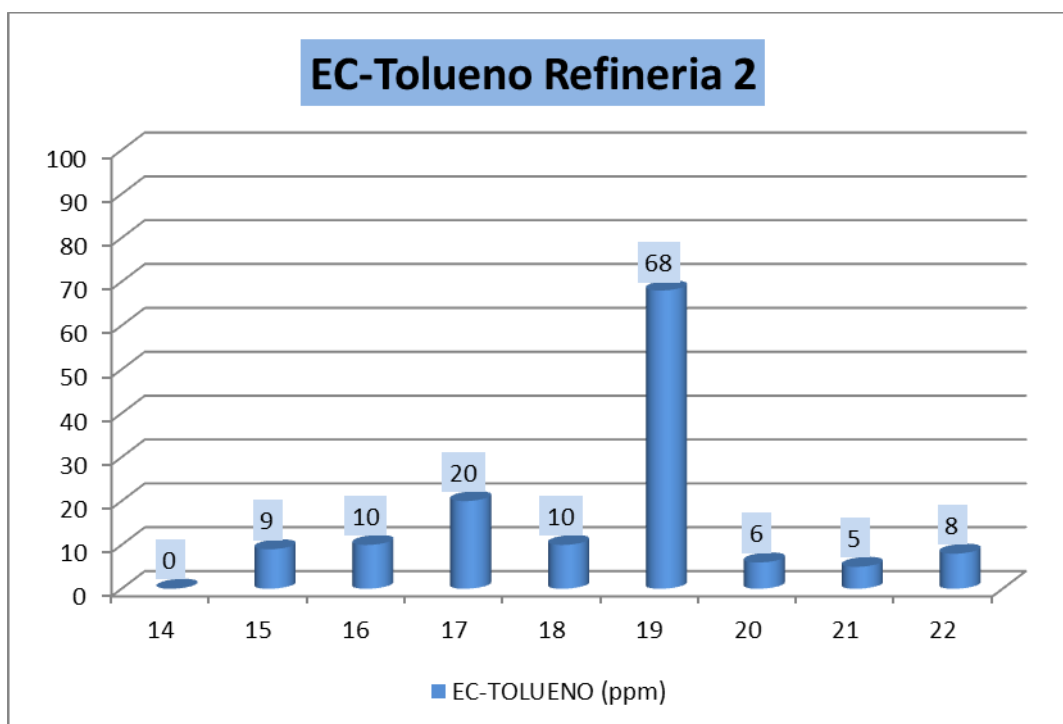


Figura 57.- Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 2

En la tabla 58 y en la figura 58 podemos ver que en la Refinería 3, se han medido concentraciones de corta duración (EC) para Tolueno que superan el valor límite establecido, en el Grupo GHE-24 que corresponde a las Plantas Amazonas 1 y 2 (EC = 320 ppm). En la planta de Tratamiento de Gas se han medido concentraciones de corta duración (EC), de categoría 3 (EC = 60 ppm), que se encuentra por encima del 50% del valor límite. En los restantes grupos los índices de exposición son de categoría 1 y en el grupo de administración y servicios no se ha detectado exposición a Tolueno (categoría 0).

Tabla 58.- Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 3.

PLANTA	GHE	TOLUENO EC (ppm)	VLA-EC Tolueno	I. exp- EC Tolueno	Índice Expos. Categorizado
TRATAMIENTO DE GAS	23	60	100	0,6	3
REFINERIA AMAZONAS 1 Y 2	24	320	100	3,2	4
ADMINISTRACION/S.G.	25	0	100	0	0
LLENADERAS	26	10	100	0,1	1
LABORATORIOS	27	22	100	0,22	1
MANTENIMIENTO	28	18	100	0,18	1

EC:Exposición de corta duración, VLA-EC:Valor Límite Ambiental de corta duración.

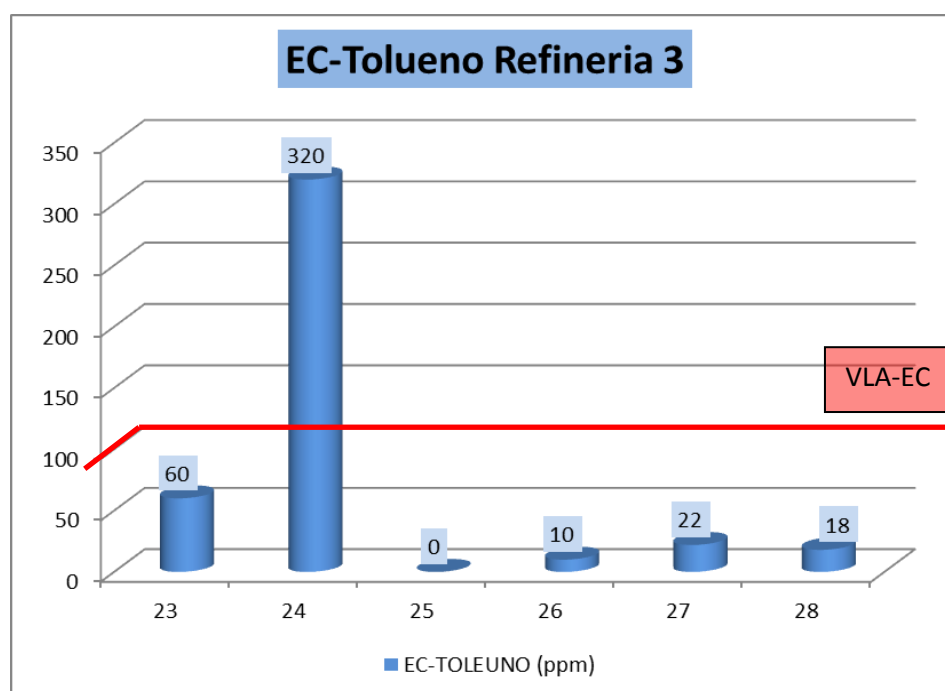


Figura 58.- Exposición de corta duración (EC) a Tolueno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 3

Las exposiciones de corta duración a Xileno medidas en la refinería 1 se pueden calificar como muy elevadas, superando el valor límite establecido en cuatro de los grupos homogéneos de exposición, como puede verse en la tabla 59 y en la figura 59

Tabla 59.- Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 1

PLANTA	GHE	XILENO EC (ppm)	VLA-EC XILENO	I. exp- EC- XILENO	Índice Expos. Categorizado
NO CATALITICAS 1	1	120	100	1,2	4
NO CATALITICAS 2	2	45	100	0,45	2
CATALITICAS 1	3	490	100	4,9	4
CATALITICAS 2	4	920	100	9,2	4
CATALITICAS 3	5	9	100	0,09	1
GEN. VAPOR / UTILIDADES	6	10	100	0,1	1
TRATº AGUAS / EFLUENTES	7	30	100	0,3	2
SETRIA	8	120	100	1,2	4
ADMINISTRACION/SS. GG.	9	5	100	0,05	1
LABORATORIOS	10	17,6	100	0,176	1
LLENADERAS	11	6	100	0,06	1
BUNKER	12	0	100	0	0
MANTENIMIENTO	13	60	100	0,6	3

EC:Exposición de corta duración, VLA-EC:Valor Límite Ambiental de corta duración

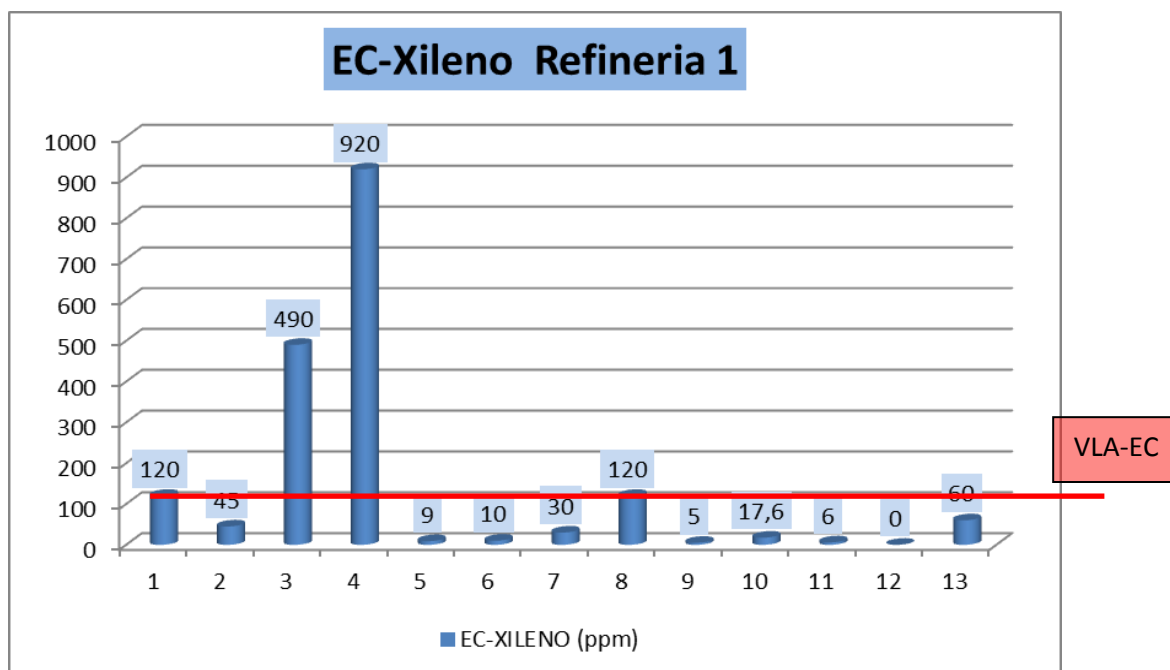


Figura 59.- Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 1

Como podemos ver en la tabla 60, las exposiciones de corta duración a Xileno medidas en la refinería 2 se pueden calificar de bajas, destacando como la más elevada la del grupo de la planta “El Cautivo” con una EC = 25 ppm (siendo el VLA-EC = 100 ppm).

Tabla 60.- Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 2

PLANTA	GHE	XILENO EC (ppm)	VLA-EC XILENO	I. exp- EC- XILENO	Índice Expos. Categorizado
CASA BOMBAS	14	0	100	0	0
EL CAUTIVO	15	25	100	0,25	2
LLENADERAS	16	5	100	0,05	1
PARSONS Y UNIVERSAL	17	8	100	0,08	1
TRATº DE AGUAS	18	7	100	0,07	1
LABORATORIOS	19	10	100	0,1	1
GENERACION ELECTRICA	20	2	100	0,02	1
MANTENIMIENTO	21	5	100	0,05	1
ADMINISTRACION / S.G.	22	0	100	0	0

EC:Exposición de corta duración, VLA-EC:Valor Límite Ambiental de corta duración

En la tabla 61 y de manera más gráfica en al figura 60, podemos ver las exposiciones de corta duración a Xileno medidas en los grupos homogéneos de la Refinería 3, destacando la exposición del grupo de la Planta de Amazonas 1 y 2, en donde se supera ampliamente el valor Límite establecido para el Xileno , con una EC = 348 ppm. (VLA-EC = 100 ppm), destaca también el grupo de la planta de tratamiento de gas (GHE-23), con una EC = 80 ppm, próxima al valor límite.

Tabla 61.- Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), de la Refinería 3

PLANTA	GHE	XILENO EC (ppm)	VLA-EC XILENO	I. exp- EC- XILENO	Índice Expos. Categorizado
TRATAMIENTO DE GAS	23	80	100	0,8	3
REFIN. AMAZONAS 1 Y 2	24	348	100	3,48	4
ADMINISTRACION / SS. GG.	25	0	100	0	0
LLENADERAS	26	15	100	0,15	1
LABORATORIOS	27	30	100	0,3	2
MANTENIMIENTO	28	20	100	0,2	1

EC: Exposición de corta duración, VLA-EC: Valor Límite Ambiental de corta duración

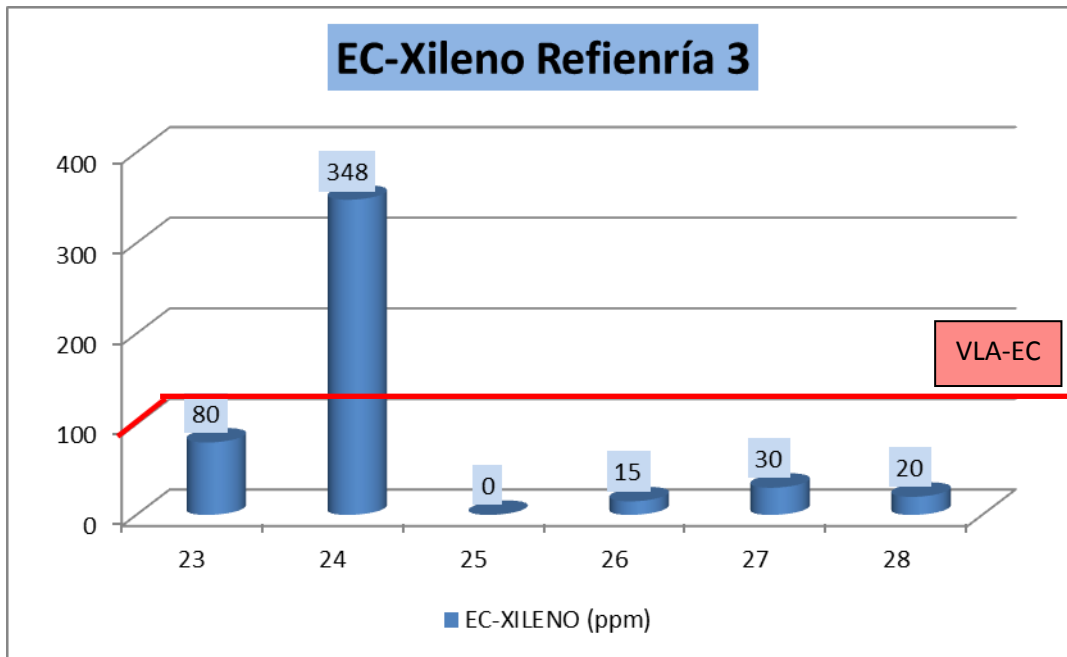


Figura 60.- Exposición de corta duración (EC) a Xileno en los Grupos Homogéneos de Exposición (GHE), la Refinería 3

4.4.- Resultados de las mediciones ambientales y de los controles biológicos, por puestos de trabajo.

4.4.1.- Resultados de las mediciones ambientales y controles biológicos para determinación de la Exposición Diaria (ED) a Benceno, por puestos de trabajo y Grupos Homogéneos de Exposición GHE).

Se presentan a continuación los resultados de exposición diaria (ED) obtenidos mediante mediciones ambientales, por una parte y biomarcadores de exposición o Indicadores biológicos (IB) de exposición, por otra.

En cada tabla se presentan los resultados correspondientes a un Grupo Homogéneo de exposición, con los puestos de trabajo que lo integran.

Los resultados se presentan como índices de exposición, relativizando las variables Exposición Diaria (ED) e Indicador Biológico (IB), al referirlos a la unidad, dividiendo la exposición diaria (ED), por el Valor Límite de exposición diaria (VLA-ED) y el IB por el Valor Límite Biológico (VLB) establecido para el agente químico en estudio; Benceno, en este caso.

Se han omitido en este apartado las tablas de aquellos Grupos Homogéneos cuyos resultados de exposición sean poco relevantes por encontrarse por debajo del límite de detección del método, tanto de la exposición ambiental como del Indicador Biológico. Estas tablas se pueden consultar en el Anexo 1.

En la tabla 62 se puede ver que en el puesto de trabajo de operador de hornos, de la planta No catalítica 1 se supera el Valor Límite de exposición diaria establecido para el benceno (índice de exposición = 1,51).

En esta misma planta llama la atención los resultados obtenidos para el puesto de trabajo de operador de Viscoreductora, que presenta una muy baja exposición ambiental a Benceno como exposición diaria (ED) y una moderada exposición según el índice de exposición biológico (IB); ello podría explicarse por la condición de fumador (20 cigarrillos /día) del operador de cuya muestra de orina se obtuvo el dato del Índice Biológico de exposición.

Tabla 62.- Exposición Diaria (ED) a Benceno, en los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 1 (GHE-1)

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico ¹⁰	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR DE HORNOS	1,51	1	1,51	2,209	2	1,104
OPERADOR VISCOREDUCTORA	0,06	1	0,06	0,359	2	0,180
OPERADOR VACIO	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR CRUDO	< LD	1	--	< LD	2	--

OBSERVACIONES:

El GHE-1 está integrado por los trabajadores de la Planta No Catalítica 1, de la Refinería 1

VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico.

En la tabla 63 aparece el puesto de trabajo de operador de hornos, como el de mayor exposición a Benceno, superando el Valor Límite de exposición diaria establecido para esta sustancia. (índice de exposición = 1,46); comparando este resultado con el índice biológico, observamos que existe correspondencia y que también se supera el valor límite biológico (Índice. .Biológico = 1,325).

En esta misma planta llama la atención los resultados obtenidos para el puesto de trabajo de Operador de Vacío, que no presenta exposición ambiental a Benceno como exposición diaria (ED) y sin embargo presenta una exposición baja según el índice de exposición biológico (IB). Esto se podría explicar, como ocurría en el grupo anterior, por la condición de fumador (10 cigarrillos /día) del operador de cuya muestra de orina se obtuvo el dato del Índice Biológico de exposición para este puesto de trabajo.

Tabla 63.- Exposición diaria a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 2, (GHE-2)

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED ppm	VLA-ED BENCENO	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERV / JEFE TURNO	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR DE TV1	0,11	1	0,11	0,191	2	0,095
OPERADOR HORNOS	1,46	1	1,46	2,65	2	1,325
OPERADOR CRUDO	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR VACIO	< LD	1	--	0,348	2	0,174

El GHE-2 está integrado por los trabajadores de la Planta No Catalítica 2, de la Refinería 1

VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico.

¹⁰ El Valor Limite Biológico (VLB) para el Benceno, t-t-mucónico en orina, está expresado en mg./Litro.

En el grupo homogéneo que constituyen los operadores de la Planta Catalítica 1 (GHE-3), ninguno de los puestos de trabajo supera el valor límite establecido para la exposición diaria a Benceno, como puede verse en la Tabla 64. Se observa correspondencia entre los resultados de las mediciones ambientales y biológicas; si bien, como ocurre en los dos grupos anteriores, se da la circunstancia de que el Jefe de Turno no presenta exposición ambiental a benceno y, en cambio los resultados de su indicador biológico arrojan resultados de exposición moderada a benceno. Consultando nuestra base de datos, encontramos que el Jefe de Turno que ha proporcionado la muestra biológica es un fumador de 10 cigarrillos diarios.

Tabla 64.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 3, (GHE-3)

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
JEFE TURNO	< LD	1	--	< LD	2	--
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR DE MEROX	0,95	1	0,95	1,497	2	0,749
OPERADOR DE CRAKING	0,64	1	0,64	1,466	2	0,733
OPERADOR DE GASCON	< LD	1	--	< LD	2	--
OPER. FRACCIONAMIENTO	0,30	1	0,30	0,568	2	0,284

El GHE-3 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica1, de la Refinería 1

VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico.

El grupo que constituye la planta Catalítica 2 (GHE-4) es el que presenta una mayor exposición diaria a Benceno en las tres refinerías, superándose los valores límite establecidos en los puestos de trabajo de operador especial CCR y de Operador estático, con exposiciones diarias de 3,34 ppm y 1,08 respectivamente. Los resultados obtenidos con los indicadores biológicos en estos dos puestos confirman los datos de la exposición ambiental, como podemos comprobar en la tabla 65.

Tabla 65.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 4 (GHE-4).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
JEFE TURNO / SUPERVISOR	0,43	1	0,43	0,674	2	0,337
POERADOR ESTÁTICO	1,08	1	1,08	1,803	2	0,901
OP. ESTATICO ISOMERIZADORA	0,25	1	0,25	0,333	2	0.166
OPERADOR ESPECIAL CCR	3,34	1	3,34	5,973	2	2,986
COMPRESOR ISOMERIZADORA	0,24	1	0,24	0,580	2	0,290

El GHE-4 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 2, de la Refinería 1

VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico.

En la tabla 66 podemos ver que el único puesto de trabajo con exposición a Benceno en la planta Catalítica 3 es el de Operador de Unidades S y S1, con una exposición diaria a Benceno ligeramente superior al 50% del valor Límite. El valor del indicador biológico confirma los datos de exposición ambiental.

Tabla 66.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 5, (GHE-5).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
JEFE TURNO	< LD	1	--	< LD	2	--
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERAD. UNIDADES S y S ₁	0,53	1	0,53	1,103	2	0,551
OP. UNIDADES "U", U ₁ , Z ₁ y Z ₂	< LD	1	--	< LD	2	--
OP. EQUIPO ESTATICO HDS	< LD	1	--	< LD	2	--
OP. EQUIPO ROTATIVO HDS	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-5 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 3, de la Refinería 1

VLA-ED = Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico.

En el grupo homogéneo 6 correspondiente al Área de Generación de Vapor y Utilidades la exposición a Benceno es muy baja, encontrándose todos los valores de exposición diaria por debajo de 0,17 ppm, como podemos ver en la tabla 67

Tabla 67.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 6, (GHE-6).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
JEFE TURNO	< LD	1	--	< LD	2	--
SUPERVISOR	0,17	1	0,17	0,282	2	0,141
OPERADOR DE AIRE	0,08	1	0,08	0,152	2	0,076
OPERADOR DE CALDERA	< LD	1	--	< LD	2	--
TABLERISTA MARK V	< LD	1	--	< LD	2	--
OP. TORRES ENFRIAMIENTO	< LD	1	--	< LD	2	--
OP. DESMINERALIZADORA	0,10	1	0,10	0,294	2	0,147

El GHE-6 está integrado por los trabajadores de la Planta de Generación de Vapor y Área de Utilidades de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En el área de Tratamiento de Aguas de la refinería 1, se han medido concentraciones de exposición diaria moderadas en los puestos de trabajo de Operador y Auxiliar de Efluentes. Hallándose valores de concentración ambiental de ED = 0,36 ppm y ED = 0,65 ppm, respectivamente. Los resultados de los indicadores biológicos confirman los de la medición ambiental, como puede verse en la tabla 68.

Tabla 68.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 7, (GHE-7).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
CLARIFICADOR	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR EFLUENTES	0,36	1	0,36	0,786	2	0,393
AUXILIAR EFLUENTES	0,65	1	0,65	1,146	2	0,573
OP. AGUAS SERVIDAS	< LD	1	--	< LD	2	--
TEC. OPERAC. AGUA CRUDA	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-7 está integrado por los trabajadores del Área de Tratamiento de Aguas de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

La mayor parte de los puestos de trabajo del área de tanques (Setría) de la refinería 1 presentan una exposición moderada a benceno; siendo las más elevadas la del Coordinador de unidades UTB, UTA, UTE +F, con una exposición diaria próxima al valor límite (ED= 0,91 ppm) y al del tablerista con una ED = 0,50 ppm. Como podemos ver en la tabla 69, los índices biológicos de exposición a benceno confirman los valores de las mediciones ambientales.

Tabla 69.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 8, (GHE-8).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	0,07	1	0,07	0,143	2	0,071
OPERARIO UTE + F	0,35	1	0,35	0,638	2	0,319
DOCUMENTALISTA UTB	< LD	1	--	< LD	2	--
TRAMPA RASCADORES	< LD	1	--	< LD	2	--
COORD. UTB , UTA, UTE +F	0,91	1	0,91	1.590	2	0.795
TABLERISTA	0,50	1	0,50	0,907	2	0,454
OPERARIO UTA	0,07	1	0,07	0,06	2	0,03
OPERARIO UTC + D	0,22	1	0,22	0,27	2	0,135

El GHE-8 está integrado por los trabajadores del Área de SETRIA (Tanques) de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El grupo de Administración y Servicios Generales de esta refinería (GHE-9), constituye uno de los grupos homogéneos de menor exposición, ya que la mayor parte de las personas que ocupan estos puestos de trabajo permanecen en los edificios administrativos y no visitan las áreas operativas con exposición ambiental a benceno; no obstante lo anterior, algunos de los puestos que integran este grupo, como los de Supervisor, Técnico de Seguridad Industrial o Técnico Ambiental, por la propia naturaleza de sus funciones, visitan con cierta frecuencia las plantas y áreas operativas. Esto hecho queda reflejado en los resultados de exposición ambiental a benceno que se recogen en la tabla 70.

Como puede verse en la tabla 70, en el puesto de trabajo de Técnico de Seguridad Industrial se ha encontrado un índice Biológico de exposición a benceno superior al índice de exposición ambiental; a lo que podría haber contribuido la condición de fumador del trabajador sobre el que se realizó el monitoreo biológico de este puesto de trabajo.

Tabla 70.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 9, (GHE-9).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	0,07	1	0,07	< LD	2	--
SECRETARIA	< LD	1	--	< LD	2	--
SERVICIOS ADMINISTRATIVOS	< LD	1	--	< LD	2	--
CONSERJE	< LD	1	--	< LD	2	--
CHOFER	< LD	1	--	< LD	2	--
MENSAJERO	< LD	1	--	< LD	2	--
MEDICO	< LD	1	--	< LD	2	--
ENFERMERA	< LD	1	--	< LD	2	--
TRABAJADORA SOCIAL	< LD	1	--	< LD	2	--
AUXILIAR DE ENFERMERIA	< LD	1	--	< LD	2	--
LCDA. LABORATORIO CLINICO	< LD	1	--	< LD	2	--
BOTICARIO	< LD	1	--	< LD	2	--
CONDUCTOR AMBULANCIA	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA DE SISTEMAS	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA DE TESORERIA	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA CONTABLE	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA DE GESTION	< LD	1	--	< LD	2	--
TECNICO DE SEGURIDAD IND.	0,08	1	0,08	0,248	2	0,124
COORD. GESTION AMBIENTAL	0,08	1	0,08	< LD	2	--
TECNICO AMBIENTAL	0,08	1	0,08	< LD	2	--
ABOGADO	< LD	1	--	< LD	2	--
PROGRAMADOR INFORMAT.	< LD	1	--	< LD	2	--
JEFE DE COMUNICACIÓN	< LD	1	--	< LD	2	--
ASISTENTE DE ARCHIVO	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-9 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria.

VLB: Valor Límite Biológico

En los laboratorios de control de calidad de las refinerías se analizan gran cantidad de sustancias, productos y compuestos derivados del petróleo; por lo que podrían esperarse concentraciones elevadas a los agentes químicos en estudio, como el benceno. Sin embargo, las medidas de control técnico tales como vitrinas de flujo laminar y extracciones localizadas, mantienen la atmosfera del laboratorio en niveles de concentración relativamente bajos, como podemos ver en los resultados que se presentan en la tabla 71; por otra parte, el uso generalizado de equipos de protección respiratoria de los trabajadores de este grupo hace que los indicadores biológicos de exposición, sean muy bajos también.

Tabla 71.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 10, (GHE-10).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	0,09	1	0,09	0,198	2	0,099
TEC. LAB. CONTROL DESTILACIÓN	< LD	1	--	< LD	2	--
TEC. LABORATORIO DE GASES	0,10	1	0,10	< LD	2	--
TEC. LABORATORIO ANALÍTICA	< LD	1	--	< LD	2	--
TEC. LABORATORIO DE AGUAS	0,19	1	0,19	0,200	2	0,100
TEC. LABOR. CONTROL OCTANOS	< LD	1	--	< LD	2	--
TEC. LAB. CONTROL VISCOCIDAD	0,09	1	0,09	< LD	2	--
AUXILIAR DE LABORATORIO	< LD	1	--	< LD	2	--

El Grupo GHE-10 está integrado por los trabajadores de Laboratorios de Control de Calidad de la Refinería 1

Nota.- Los técnicos de laboratorio trabajan haciendo uso de mascarilla de respiración con filtro.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En el grupo constituido por los puestos de trabajo del área de Despacho de combustibles limpios de la Refinería 1, el puesto de operador de despacho presenta una exposición ambiental a Benceno moderada (ED = 0,18 ppm). Este dato, como podemos ver en la tabla 72, se confirma con el indicador biológico de exposición (IB = 0,199 ppm).

Tabla 72.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 11, (GHE-11)

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
OPERADOR DE DESPACHO	0,18	1	0,18	0,199	2	0,099
TÉCNICO DE ALMACENAMIENTO	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-11 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles limpios de la Refinería 1. Esta área es conocida coloquialmente como LLENADERAS,

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El grupo homogéneo GHE-12 está integrado por los operadores de control del Centro de Control electrónico de la refinería, conocido coloquialmente como “El Bunker”. El Bunker es un edificio hermético, desde donde se controlan, mediante pantallas, monitores y paneles electrónicos todos los procesos y plantas de la refinería. Como podemos observar en la tabla 73, la exposición ambiental a benceno en los puestos de trabajo de este grupo es prácticamente nula. Llama la atención, sin embargo el índice de exposición biológica que presenta el Puesto de Tablerista¹¹ de Crudo y Visbreaking, lo que podría explicarse por la condición de fumador (16 cigarrillos/día) del trabajador que facilitó la muestra de orina para obtener el indicador biológico de benceno de este puesto de trabajo.

Tabla 73.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 12, (GHE-12).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
TABLERISTA CRACKING - GASCON	< LD	1	--	< LD	2	--
TABLERISTAS CATALITICA 2 Y 3	< LD	1	--	< LD	2	--
TABLERISTA DE CRUDO Y VISBREAKING	< LD	1	--	0,320	2	0,160
TABLERISTA VISBRECKING Y C/V	0,02	1	0,02	< LD	2	--
TABLERISTA DCS	< LD	1	--	< LD	2	--
TABLERISTA SETRIA	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-12 está integrado por los trabajadores del Centro de Control electrónico, edificio conocido como BUNKER, de la Refinería 1.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

¹¹ En Latinoamérica se conoce como tablerista a los operadores de control de pantallas (tablero)

El Servicio de Mantenimiento de la Refinería 1 constituye el grupo homogéneo más amplio en número de todos los grupos (210 trabajadores) y el más heterogéneo en variedad de profesionales, ya que en él se integran ingenieros, supervisores, electricistas, soldadores, mecánicos, caldereros, tuberos e instrumentistas, que realizan tareas tanto en los talleres como por las distintas plantas de la refinería. Como podemos ver en la tabla 74, los puestos con mayor exposición corresponde a los técnicos de mantenimiento eléctrico, a los de calderería y soldadura y a los mecánicos de mantenimiento rotativo, que son los que con mayor frecuencia realizan trabajos fuera de los talleres, visitando las plantas y áreas operativas de la refinería.

Tabla 74.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 13, (GHE-13)

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
TECNICO MANT. ELECTRICO	0,30	1	0,30	0.430	2	0,215
TECN. CALDERERIA Y SOLDADURA	0,03	1	0,03	< LD	2	--
MECANICO Y MANT. ROTATIVO	0,56	1	0,56	0,879	2	0,439
TEC. MANTENIM. INDUSTRIAL	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERARIO MANT. INDUSTRIAL	< LD	1	--	< LD	2	--
TECN. MANTEN. DE EQUIPOS	< LD	1	--	< LD	2	--
TECNICO INSTRUMENTISTA	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-13 está integrado por los trabajadores del Servicio de mantenimiento de la Refinería 1.

COMENTARIO:

Una de las 22 muestras biológicas analizadas, correspondientes al puesto de trabajo de Técnico de Mantenimiento Industrial dio un Índice biológico de exposición de 0,133, cuando la exposición ambiental se encontraba por debajo de los límites de detección del método; lo que podría explicarse por la condición de fumador del trabajador que proporcionó la muestra biológica.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El Grupo homogéneo de exposición GHE-14, pertenece a la Refinería 2 y está integrado por los puestos de trabajo de las estaciones o casetas de bombeo de esta refinería. Los niveles de exposición ambiental a benceno en este grupo son muy bajos como podemos ver en la tabla 75 y esto será lo habitual, salvo puntuales excepciones, en el resto de grupos que no pertenecen a la refinería 1, que es la que presenta niveles de exposición a benceno más elevados.

Tabla 75.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 14, (GHE-14).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR MEDIDOR	0,014	1	0,014	< LD	2	--
MOTORISTA CASA BOMBAS	0,012	1	0,012	< LD	2	--

El GHE-14 está integrado por los trabajadores del Área de estaciones (casetas) de Bombeo, conocidas coloquialmente como "CASA BOMBAS", de la Refinería 2.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El único puesto de trabajo con exposición a benceno en la planta de El Cautivo es el de Supervisor, con una exposición diaria de 0,23 ppm. Como puede verse en la tabla 76, el Índice Biológico de exposición a benceno confirma el dato de la exposición ambiental.

Tabla 76.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 15, (GHE-15).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	0,23	1	0,23	0,380	2	0,19
OPERADOR CALDERAS	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR PTA ELÉCTRICA	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-15 está integrado por los trabajadores de La Unidad de Producción o Planta conocida como "CAUTIVO", de la Refinería 2.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como podemos ver en la tabla 77, el único puesto de trabajo con exposición a Benceno en planta de El Cautivo es el de Operario del terminal marítimo, con una exposición ambiental moderada (ED = 0,24 ppm), cuyo resultado se ve ratificado por el indicador biológico de exposición.

Tabla 77.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 16, (GHE-16).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
DESPACHADOR	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERARIO de T.M.	0,24	1	0,24	0,402	2	0,201

El GHE-16 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles del Terminal Marítimo, conocido coloquialmente como LLENADERAS, de la Refinería 2

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El grupo homogéneo 17, integrado por los puestos de trabajo de las Plantas Parsons y Universal no presenta exposición a benceno, a excepción del puesto de Auxiliar Ayudante de Turno, con una exposición diaria que podemos calificar de baja (ED = 0,10 ppm), como puede verse en la tabla 78.

Tabla 78.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 17, (GHE-17).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
TABLERISTA UNIVERSAL	< LD	1	--	< LD	2	--
TABLERISTA PARSONS	< LD	1	--	< LD	2	--
FOGONERO UNIVERSAL	< LD	1	--	< LD	2	--
FOGONERO PARSONS	< LD	1	--	< LD	2	--
MEDIDOR	< LD	1	--	< LD	2	--
MECÁNICO DE GUARDIA	< LD	1	--	< LD	2	--
AUXILIAR AYUDANTE DE TURNO	0,10	1	0,10	< LD	2	--

El GHE-17 está integrado por los trabajadores de las Plantas PARSONS y UNIVERSAL de la Refinería 2

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El Grupo Homogéneo de exposición GHE-18, integrado por los puestos de trabajo del Área de Tratamiento de Aguas de la Refinería 2, no presenta exposición ambiental a benceno. Los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no han detectado presencia de benceno¹².

El único puesto de trabajo con exposición significativa a benceno, en el grupo del laboratorio de control de calidad de la Refinería 2 es el del técnico de laboratorio de aguas con un índice de exposición ambiental de 0,49, que se ratifica con un índice de exposición biológico de 0,36, como se puede observar en la tabla 79.

Tabla 79.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 19, (GHE-19)

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
TEC. LABORAT. HIDROCARBUROS	0,08	1	0,08	< LD	2	--
TEC. LABORATORIO DE AGUAS	049	1	0,49	0,722	2	0,361
COORDINADOR, BODEGUERO, SECRETARIA.	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-19 está integrado por trabajadores del Laboratorio de C. Calidad, de la Refinería 2

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Las exposiciones ambientales registradas para el grupo de generación eléctrica de la refinería 2 se pueden calificar como muy bajas y como puede verse en la tabla 80, sus índices de exposición oscilan entre 0,03 y 0,08.

Tabla 80.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 20, (GHE-20).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR / TABLERISTA	0,08	1	0,08	< LD	2	--
COMPRESORISTA	0,04	1	0,04	< LD	2	--
CALDERERISTA	0,03	1	0,03	< LD	2	--
OPERADOR DE TURBINAS	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-20 está integrado por los trabajadores de la Planta de Generación Eléctrica.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

¹² La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 1

Como podemos ver en la tabla 81, los puestos de trabajo que integran el grupo del Servicio de Mantenimiento no presentan exposición alguna a benceno; a excepción del puesto de trabajo de Técnico de Mantenimiento que registra un índice de exposición muy bajo (I exp. = 0,07).

Tabla 81.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 21, (GHE-21).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
TÉCNICO MANTENIMIENTO	0,07	1	0,07	< LD	2	--
AUXILIAR MANTENIMIENTO	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR DE TRANSPORTE MARINO	< LD	1	--	< LD	2	--
TÉCNICO INSTRUMENTACIÓN	< LD	1	--	< LD	2	--
MECANICO EQUIPO PESADO						
AUXILIAR EQUIPO PESADO	< LD	1	--	< LD	2	--
MOTORISTA	< LD	1	--	< LD	2	--
TÉCN. DE SEGURIDAD Y SALUD	< LD	1	--	< LD	2	--
TÉC SOLDADOR Y CALDERERIA	< LD	1	--	< LD	2	--
ASISTENTE CONTABLE	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA DE APLICACIONES	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA GESTIÓN DE PROYECTOS	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-21 está integrado por los trabajadores del Servicio de mantenimiento de la Refinería 2

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-22, integrado por los puestos de trabajo Administración y Servicios Generales de la Refinería 2, NO presenta exposición ambiental a Benceno. Los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no han detectado presencia de benceno en este grupo¹³.

¹³ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 1

En la Planta de Tratamiento de Gas de la Refinería 3, las exposiciones ambientales a Benceno se pueden calificar como muy bajas, oscilando sus índices de exposición entre 0,025 y 0,050. Como puede verse en la tabla 82, no se han registrado indicadores biológicos de exposición en las muestras analizadas para este grupo.

Tabla 82.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 23, (GHE-23).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	0,026	1	0,026	< LD	2	--
TABLERISTA	0,025	1	0,025	< LD	2	--
OPERADOR TÉCNICO	0,050	1	0,050	< LD	2	--

El GHE-23 está integrado por los trabajadores de la Planta de Tratamiento de GAS de la Refinería 3

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico.

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-24, integrado por los puestos de trabajo de las Plantas Amazonas 1 y 2 de la Refinería 3, NO presenta exposición ambiental a Benceno. Los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no han detectado presencia de benceno en este grupo¹⁴.

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-25, integrado por los puestos de trabajo de Administración y Servicios Generales de la Refinería 3, NO presenta exposición ambiental a Benceno. Los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no han detectado presencia de benceno en este grupo¹⁵

El único puesto de trabajo con exposición significativa a Benceno, en el grupo homogéneo 26, del área de despacho de combustible limpio, de la Refinería 3, es el del Operador de Cisterna, con un Índice de exposición ambiental muy bajo de 0,02, como puede verse en la tabla 83.

¹⁴ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 1

¹⁵ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 1

Tabla 83.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 26, (GHE-26).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
OPERADOR	0,02	1	0,02	< LD	2	--
OPERADOR/DESPACHADOR	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-26 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles limpios, conocida coloquialmente como LLENADERAS, de la Refinería 3

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como podemos ver en la tabla 84, el único puesto de trabajo con exposición a Benceno, en el grupo del laboratorio de control de calidad de la Refinería 3 es el del Auxiliar de Laboratorio, con un índice de exposición ambiental de 0,69, que se ratifica con un índice de exposición biológico de 0,56.

Tabla 84.- Exposición diaria (ED) a Benceno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 27, (GHE-27).

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERVISOR	< LD	1	--	< LD	2	--
AUXILIAR DE LABORATORIO	0,69	1	0,69	1,128	2	0,564
TEC. LAB. CONTROL CALIDAD	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-27 está integrado por los trabajadores del Área de Control de Calidad y Laboratorios, de la Refinería 3

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-28, integrado por los puestos de trabajo del Servicio de Mantenimiento Administración y Servicios Generales de la Refinería 3, NO presenta exposición ambiental a benceno. Los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no han detectado presencia de benceno en este grupo¹⁶

¹⁶ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 1

4.4.2.- Resultados de las mediciones ambientales y controles biológicos para determinación de la Exposición Diaria (ED) a Tolueno, por puestos de trabajo y Grupos Homogéneos de Exposición GHE).

Se presentan a continuación los resultados de exposición diaria (ED) a Tolueno, obtenidos mediante mediciones ambientales, por una parte y biomarcadores de exposición o Indicadores biológicos (IB), por otra.

En cada tabla se presentan los resultados correspondientes a un Grupo Homogéneo de exposición, con los puestos de trabajo que lo integran.

Los resultados se presentan como Índices de exposición, relativizando las variables Exposición Diaria (ED) e Indicador Biológico (IB), al referirlos a la unidad, dividiendo la exposición diaria (ED), por el Valor Límite de exposición diaria (VLA-ED) y el IB por el Valor Límite Biológico (VLB) establecido para el agente químico en estudio; Tolueno, en éste caso.

Se han omitido en este apartado las tablas de aquellos Grupos Homogéneos cuyos resultados sean de no exposición; es decir, aquellos grupos en los que en los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de Tolueno.

Las exposiciones a Tolueno en el grupo homogéneo GHE-1, que integran los puestos de trabajo de la Planta No Catalítica 1, de la Refinería 1, no presenta exposición a Tolueno; a excepción del puesto de Operador de Hornos, con una exposición diaria de ED = 0,50 ppm, como podemos ver en la tabla 85.

Tabla 85.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 1, (GHE-1).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-TOLUENO	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina ¹⁷	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR DE HORNOS	0,50	50	0,01	< LD	1,5	--
OPERADOR VISCOREDUCTORA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR VACIO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR CRUDO	< LD	50	--	< LD	1,5	--

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

¹⁷ El Valor Limite Biológico (VLB) para el Xileno, Metil Hipúrico en orina, es de 1,0 g./g. creatinina.

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-2, integrado por los puestos de trabajo de la Planta No Catalítica 2, de la Refinería 1, NO presenta exposición ambiental a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de tolueno en este grupo¹⁸

Como puede verse en la tabla 86, en el grupo homogéneo de exposición 3, de la refinería 1, los únicos puestos con exposición a Tolueno son el de Operador de Merox y el Operador de Craking, con unas exposiciones diarias de 1 y 0,5 ppm, respectivamente. Los índices de exposición son tan bajos (0,02 y 0,01), que se puede admitir que no sea necesario ir más allá en el control de la exposición a tolueno dentro de este grupo.

Tabla 86.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 3, (GHE-3)

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-TOLUENO	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
JEFE TURNO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR DE MEROX	1	50	0,02	< LD	1,5	--
OPERADOR DE CRAKING	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
OPERADOR GASCON	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OP. DE FRACCIONAMIENTO	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-3 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 1, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Las exposiciones a tolueno, medidas en el seno del grupo homogéneo GHE-4, integrado por los puestos de trabajo de la Planta Catalítica 2, de la refinería 1, son muy bajas; a excepción de las registradas para el puesto de trabajo de Operador especial CCR, con un índice de exposición ambiental de 0,17, ratificado por un índice biológico de 0,216. Los restantes puestos de trabajo presentan índices ambientales y biológicos por debajo de 0,05, como podemos comprobar en los registros de la tabla 87.

¹⁸ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 2

Tabla 87.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 4, (GHE-4).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
JEFE TURNO - SUPERVISOR	2,5	50	0,05	0,064	1,5	0,043
OPERADOR ESTATICO	1,5	50	0,03	0,045	1,5	0,030
OP. ESTATICO ISOMERIZADORA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
OPERADOR ESPECIAL CCR	8,5	50	0,17	0,323	1,5	0,216
OP. COMPRES ISOMERIZADORA	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--

El GHE-4 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 2, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como se puede ver en la tabla 88, las mediciones de Tolueno en el grupo homogéneo GHE-5, que integran los puestos de trabajo de la Planta Catalítica 3, de la Refinería 1, no presentan exposición a Tolueno, a excepción del puesto de Operador de las Unidades U, U₁ Z₁ y Z₂, con una exposición diaria muy baja (ED = 0,50 ppm) y un índice de exposición ambiental de 0,01.

Tabla 88.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 5, (GHE-5).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-TOLUENO	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
JEFE TURNO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
SUPERVISOR	< LD	50	---	< LD	1,5	--
UNIDADES "S", "S1"	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
UNIDADES "U", "U1", "Z1", "Z2"	< LD	50	---	< LD	1,5	--
EQUIPO ESTÁTICO HDS	< LD	50	---	< LD	1,5	--
EQUIPO ROTATIVO HDS	< LD	50	---	< LD	1,5	--

El GHE-5 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 3, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Los puestos de trabajo del grupo homogéneo de exposición GHE-6, integrado por los trabajadores de la Planta de Generación de Vapor y Área de Utilidades de la Refinería 1, no presentan exposición a Tolueno, a excepción de los puestos de Supervisor y del de Operador de Aire, con una exposición diaria de 0,5 ppm cada uno, como podemos ver en la tabla 89.

Tabla 89.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 6, (GH -6).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-TOLUENO	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
JEFE TURNO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
SUPERVISOR	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
OPERADOR DE AIRE	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
OPERADOR CALDERA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
TABLERISTA MARK V	< LD	50	---	< LD	1,5	--
TORRES DE ENFRIAMIENTO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
DESMINERALIZADORA	< LD	50	---	< LD	1,5	--

El GHE-6 está integrado por los trabajadores de la Planta de Generación de Vapor y Área de Utilidades de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como podemos ver en la tabla 90, los puestos de trabajo del grupo homogéneo de exposición GHE-7, integrado por los trabajadores de la Planta de Tratamiento de Aguas y Efluentes, de la Refinería 1, no presenta exposición a Tolueno, a excepción de los puestos de Operador y Auxiliar de Efluentes, con una exposición diaria de 0,5 ppm cada uno.

Tabla 90.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 7, (GHE-7).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED Tolueno	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
OPEDOR CLARIFICADOR	< LD	50	---	< LD	1,5	--
OPERADOR DE EFLUENTES	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
AUXILIAR EFLUENTES	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
AGUAS SERVIDAS Y TOMA AGUA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
TEC. OPERAC. AGUA CRUDA	< LD	50	---	< LD	1,5	--

El GHE-7 está integrado por los trabajadores del Área de Tratamiento de Aguas de Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Las exposiciones a Tolueno, medidas en el seno del grupo homogéneo GHE-8, integrado por los puestos de trabajo del Área de Setría, de la refinería 1, son muy bajas; los puestos de trabajo con exposición, presentan índices ambientales por debajo de 0,03 (ED = 1,5 ppm), como podemos comprobar en los registros de la tabla 91.

Tabla 91.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 8, (GHE-8).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERARIO UTE + F	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
DOCUMENTALISTA UTB	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TRAMPA RASCADORES	< LD	50	--	< LD	1,5	--
COORD. UTB , UTA, UTE +F	1	50	0,02	< LD	1,5	--
TABLERISTA	1,5	50	0,03	< LD	1,5	--
OPERARIO UTA	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
OPERARIO UTC + D	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-9, integrado por los puestos de trabajo de los trabajadores de Administración y Servicios, de la Refinería 1, no presenta exposición ambiental a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras no se ha detectado presencia de Tolueno en este grupo¹⁹

Como podemos ver en la tabla 92, los puestos de trabajo del grupo homogéneo de exposición GHE-10, integrado por los trabajadores del Laboratorio de control de Calidad, no presenta exposición a Tolueno, a excepción de los puestos de Supervisor y del Laboratorio de Analítica, con una exposición diaria ambos de 0,5 ppm.

Tabla 92.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 10, (GHE-10).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
LAB. CONTROL DESTILACION	< LD	50	--	< LD	1,5	--
LAB. GASES	< LD	50	--	< LD	1,5	--
LAB. ANALITICA	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
LAB. AGUAS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
LAB. COTROL OCTANOS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
LAB. CONTROL VISCOSIDAD	< LD	50	--	< LD	1,5	--
AUXILIAR LABORATORIO	< LD	50	--	< LD	1,5	--

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

¹⁹ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 2

Los puestos de trabajo del grupo homogéneo de exposición GHE-11, que integran los puestos de trabajo del Área de despacho de combustibles limpios, de la Refinería 1, no presenta exposición a Tolueno; a excepción del puesto de Operador de Despacho, con una exposición diaria de ED = 0,50 ppm, como podemos ver en la tabla 93.

Tabla 93.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 11, (GHE-11).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
OPERADOR DE DESPACHO	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
TEC. ALMACENAMIENTO	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-11 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles limpios, conocida coloquialmente como LLENADERAS, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-12, integrado por los puestos de trabajo del centro de control telemático, conocido como “El Bunker”, de la Refinería 1, no presenta exposición ambiental a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de tolueno en este grupo²⁰.

En el grupo homogéneo GHE-13, conformado por el personal del Servicio de Mantenimiento de la refinería 1, la exposición a tolueno es extremadamente baja, registrándose alguna pequeña concentración en los puestos de trabajo de técnico de mantenimiento eléctrico (ED = 0,50 ppm) y en el de Mecánico y Mantenimiento rotativo (ED = 0,25 ppm). No se ha detectado presencia del determinante (ácido hipúrico en orina) en las muestras biológicas analizadas, como podemos ver en la tabla 94

²⁰ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 2

Tabla 94.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 13, (GHE-13).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED Tolueno	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TECNICO MANT. ELECTRICO	0,50	50	0,01	< LD	1,5	--
TEC. CALDERERIA Y SOLDADURA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
MECANICO Y MANT. ROTATIVO	0,25	50	0,005	< LD	1,5	--
TEC. MANTENIM. INDUSTRIAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERARIO MANT. INDUSTRIAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TECN. MANTEN. DE EQUIPOS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TECNICO INSTRUMENTISTA	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-13 está integrado por los trabajadores del Servicio de mantenimiento de Refinería 1.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-14, integrado por los puestos de trabajo del personal adscrito al área de bombeo, conocida como Casa Bombas, de la Refinería 2, no presenta exposición ambiental a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de tolueno en este grupo²¹.

Como podemos ver en la tabla 95, la exposición a tolueno en el grupo homogéneo de exposición GHE-15, que integran los puestos de trabajo de la planta "El Cautivo" de la Refinería 2, es testimonial. Se ha registrado tan solo una exposición diaria de 0,5 ppm en el puesto de trabajo de Supervisor .

Tabla 95.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 15, (GHE-15).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED Tolueno	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	0,50	50	0,01	< LD	1,5	--
OPERADOR CALDERAS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OP TURBINAS P. ELÉCTRICA	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-15 está integrado por los trabajadores de La Unidad de Producción ó Planta conocida como "CAUTIVO", de la Refinería 2.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

²¹ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 2

El Grupo Homogéneo de Exposición GHE-16, integrado por el personal del Área de despacho de combustibles limpios, de la Refinería 2, no presenta exposición ambiental a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de tolueno en este grupo²².

La exposición diaria del puesto de trabajo de Fogonero de Parsons, (con un valor de ED = 0,5 ppm), es la única que se ha registrado en el grupo homogéneo de exposición GHE-17, integrado por el personal de las Plantas Parsons y Universal de la Refinería 2, como podemos ver en la tabla 96.

Tabla 96.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 17, (GHE-17).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA UNIVERSAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA PARSONS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
FOGONERO UNIVERSAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--
FOGONERO PARSONS	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
MEDIDOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
MECÁNICO DE GUARDIA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
AUXILIAR AYUDANTE DE TURNO	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-17 está integrado por los trabajadores de las Plantas PARSONS y UNIVERSAL de la Refinería 2

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como podemos ver en la tabla 97, la exposición a tolueno en el grupo homogéneo de exposición GHE-18, integrado por los puestos de trabajo del Área de Tratamiento de Aguas de la refinería 2, es extremadamente baja y testimonial. Se ha registrado tan sólo una exposición diaria de 0,5 ppm en el puesto de trabajo de Operador de El Cautivo.

²² La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 2

Tabla 97.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 18, (GHE-18).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
OPERADOR UNIVERSAL Y PARSONS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR TRATAMIENTO AGUAS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR CAUTIVO	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
<i>El GHE-18 está integrado por los trabajadores del Área de Tratamiento de Aguas de la Refinería 2</i>						

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

La exposición diaria del puesto de trabajo de Técnico del Laboratorio de Aguas, (con un valor de ED = 0,5 ppm), es la única que se ha registrado en el grupo homogéneo de exposición GHE-19, integrado por el personal del Laboratorio de Control de Calidad de la Refinería 2, como podemos ver en la tabla 98.

Tabla 98.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 19, (GHE-19).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
TEC. LABORAT. HIDROCARBUROS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TEC. LABORATORIO DE AGUAS	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
COORDINADOR, BODEGUERO, SECRETARIA.	< LD	50	--	< LD	1,5	--
<i>El GHE-19 está integrado por los trabajadores del Área de Control de Calidad y Laboratorios, de la Refinería 2</i>						

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En el grupo homogéneo de exposición GHE-20 se ha registrado una sola exposición testimonial a tolueno en el puesto de trabajo de Supervisor, con un índice de exposición ambiental de 0,01 (ED = 0,5 ppm), como se puede ver en los registros de la tabla 99.

Tabla 99.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 20, (GHE-20).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED Tolueno	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR / TABLERISTA	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
COMPRESORISTA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
CALDERERISTA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR DE TURBINAS	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-20 está integrado por los trabajadores de la Planta de Generación Eléctrica de la Refinería 2

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En los Grupos Homogéneos de Exposición GHE-21 y GHE-22 integrados por el personal del Servicio de Mantenimiento y el de Administración y Servicios Generales, respectivamente, de la Refinería 2, no se ha registrado ninguna exposición a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de tolueno (ni de sus determinantes en el control biológico), en ninguno de los puestos de trabajo de estos grupos²³.

Como puede verse en la tabla 100, en el grupo homogéneo de exposición GHE-23, integrado por los puestos de trabajo de la Planta de Tratamiento de Aguas de la Refinería 3, sólo se ha registrado exposición a tolueno en el puesto de trabajo de Operador Técnico, con un índice de exposición ambiental de 0,01 (ED = 0,5 ppm).

Tabla 100.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 23, (GHE- 23).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR TÉCNICO	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--

El GHE-23 está integrado por los trabajadores de la Planta de Tratamiento de GAS de la Refinería 3

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

²³ La tabla de datos de exposición a benceno de estos dos grupos puede consultarse en el Anexo 2

En los puestos de trabajo de las Plantas Amazonas 1 y 2, de la Refinería 3, que conforman el grupo homogéneo de exposición GHE-24, sólo se ha detectado presencia de benceno en las muestras ambientales de los puestos de trabajo de Operador de Turbina y Jefe de Turno, con exposiciones diarias muy bajas, como puede verse en la tabla 101.

Tabla 101.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 24, (GHE-24).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
TEC. OPERADOR DE TURBINAS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TECNICO DE SEG. INDUSTRIAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR INDUSTRIAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR DE TURBINA	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
JEFE DE TURNO /COORDINADOR	0,25	50	0,05	< LD	1,5	--
ANALISTA EQUIPO ESTÁTICO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TECNICO DE INSTRUMENTACIÓN	< LD	50	--	< LD	1,5	--
AUXILIAR MATERIALES /LABORAT.	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-24 está integrado por los trabajadores de las Plantas AMAZONAS 1 y 2, de la Refinería 3

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En el Grupo Homogéneo de Exposición GHE-25, integrado por el personal de administración y servicios generales de la Refinería 3, no se ha registrado ninguna exposición a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de Tolueno (ni de sus determinantes en el caso del control biológico), en este grupo²⁴.

²⁴ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 2

En el grupo de exposición homogénea GHE-26, integrado por el personal de despacho de combustibles limpios, de la Refinería 3, solo se ha registrado exposición ambiental en el puesto de trabajo de operador del terminal, con un índice de exposición testimonial, como puede verse en la tabla 102.

Tabla 102.- Exposición diaria (ED) a Tolueno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 26, (GHE-26).

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
OPERADOR	0,5	50	0,01	< LD	1,5	--
OPERADOR/DESPACHO	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-26 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles limpios, conocida coloquialmente como LLENADERAS, de la Refinería 3

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En los Grupos Homogéneos de Exposición GHE-27 y GHE-28, integrados por el personal de Laboratorios y del Servicio de Mantenimiento, respectivamente, de la Refinería 3, no se ha registrado ninguna exposición a Tolueno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de Tolueno, ni de sus determinantes (en el caso del control biológico), en ninguno de los puestos de trabajo de estos dos grupos²⁵.

²⁵ La tabla de datos de exposición a benceno de estos dos grupos puede consultarse en el Anexo 2

4.4.3.- Resultados de las mediciones ambientales y controles biológicos para determinación de la Exposición Diaria (ED) a XILENO, por puestos de trabajo y Grupos Homogéneos de Exposición GHE).

Se presentan a continuación los resultados de exposición diaria (ED) a Xileno, obtenidos mediante mediciones ambientales, por una parte y biomarcadores de exposición o controles biológicos (IB), por otra.

En cada tabla se presentan los resultados correspondientes a un Grupo Homogéneo de exposición, con los puestos de trabajo que lo integran.

Los resultados se presentan como Índices de exposición, relativizando las variables Exposición Diaria (ED) e Indicador Biológico (IB), al referirlos a la unidad, dividiendo la exposición diaria (ED) por el Valor Límite de exposición diaria (VLA-ED) y el Indicador Biológico (IB) por el Valor Límite Biológico (VLB) establecido para el agente químico en estudio; Xileno, en éste caso.

Se han omitido en este apartado las tablas de aquellos Grupos Homogéneos cuyos resultados han sido de no exposición; es decir, aquellos grupos en los que en los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de Tolueno, ni de sus determinantes, en el caso del control biológico.

Las exposiciones a Xileno en el grupo homogéneo GHE-1, que integran los puestos de trabajo de la Planta No Catalítica 1, de la Refinería 1, no presenta exposición a Xileno; a excepción del puesto de Operador de Hornos, con una exposición diaria de ED = 0,50 ppm, como podemos ver en la tabla 103

Tabla 103.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 1, (GHE-1).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR DE HORNOS	0,50	50	0,01	< LD	1	--
OPERADOR VISCOREDUCTORA	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR VACIO	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR CRUDO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-1 está integrado por los trabajadores de la Planta No Catalítica 1, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como podemos ver en la tabla 104, el único puesto de trabajo, del grupo homogéneo GHE-2, de la refinería 1, con exposición a Xileno es el de Operador de hornos, con una exposición que podríamos calificar de testimonial, (ED = 0,05 ppm).

Tabla 104.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 2, (GHE-2).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
JEFE DE TURNO - SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR TV1	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR HORNOS	0,50	50	0,01	< LD	1	--
OPERADOR CRUDO	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR DE VACIO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-2 está integrado por los trabajadores de la Planta No Catalítica 2, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como puede verse en la tabla 105, en el grupo homogéneo de exposición 3, de la refinería 1, los únicos puestos con exposición a Xileno son el de Operador de Merox y el Operador de Cracking, con unas exposiciones diarias de 0,5 y 1 ppm, respectivamente. Los índices de exposición son tan bajos (0,01 y 0,02), que se puede admitir que no sea necesario ir más allá en el control de la exposición a Xileno dentro de este grupo

Tabla 105.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 3, (GHE-3).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
JEFE TURNO	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR DE MEROX	0,50	50	0,01	< LD	1	--
OPERADOR DE CRAKING	1,00	50	0,02	< LD	1	--
OPERADOR GASCON	< LD	50	--	< LD	1	--
OP. FRACCIONAMIENTO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-3 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 1, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Las exposiciones a Xileno, medidas en el seno del grupo homogéneo GHE-4, integrado por los puestos de trabajo de la Planta Catalítica 2, de la refinería 1, son muy bajas; a excepción de las registradas para el puesto de trabajo de Operador especial CCR, con una exposición ambiental diaria de 5 ppm, ratificada por un índice biológico de 0,096. Los restantes puestos de trabajo presentan índices ambientales y biológicos por debajo de 0,04, como podemos comprobar en los registros de la tabla 106

Tabla 106.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 4, (GHE-4).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
JEFE TURNO - SUPERVISOR	2,00	50	0,04	0,034	1	0,034
OPERADOR ESTATICO	1,50	50	0,03	0,022	1	0,022
OP. ESTATICO ISOMERIZADORA	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR ESPECIAL CCR	5,00	50	0,1	0,096	1	0,096
OP. COMPRES ISOMERIZADORA	< LD	50	--	< LD	1	--
JEFE TURNO - SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-4 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 2, de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En los Grupos Homogéneos de Exposición GHE-5 y GHE-6 de la refinería 1, integrados por el personal de la planta Catalítica 2 y el de la planta de Generación de Vapor y Utilidades, respectivamente, no se ha registrado ninguna exposición a Xileno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de Xileno (ni de sus determinantes en el control biológico), en ninguno de los puestos de trabajo de estos dos grupos²⁶.

²⁶ La tabla de datos de exposición a benceno de estos dos grupos puede consultarse en el Anexo 3

Como podemos ver en la tabla 107, los puestos de trabajo del grupo homogéneo de exposición GHE-7, integrado por los trabajadores de la Planta de Tratamiento de Aguas y Efluentes, de la Refinería 1, no presenta exposición a Xileno, a excepción de los puestos de Operador y Auxiliar de Efluentes, con una exposición testimonial de 0,5 ppm cada uno.

Tabla 107.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 7, (GHE-7).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
OPEDOR CLARIFICADOR	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR DE EFLUENTES	0,50	50	0,01	< LD	1	--
AUXILIAR EFLUENTES	0,50	50	0,01	< LD	1	--
AGUAS SERVIDAS Y TOMA AGUA	< LD	50	--	< LD	1	--
TEC. OPERAC. AGUA CRUDA	< LD	50	--	< LD	1	--

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Las exposiciones a Xileno, medidas en el seno del grupo homogéneo GHE-8, integrado por los puestos de trabajo del Área de SETRIA, de la Refinería 1, son muy bajas y solo se han registrado 3 puestos de trabajo con pequeñas concentraciones, destacando el puesto de Tablerista con una exposición diaria de 3,5 ppm (siendo el VLA-ED = 50 ppm). Los indicadores biológicos de exposición para este grupo se encuentran por debajo del límite de detección, como podemos ver en la tabla 108

Tabla 108.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 8, (GHE-8).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERARIO UTE + F	1	50	0,02	< LD	1	--
DOCUMENTALISTA UTB	< LD	50	--	< LD	1	--
TRAMPA RASCADORES	< LD	50	--	< LD	1	--
COORD. UTB , UTA, UTE +F	1	50	0,02	< LD	1	--
TABLERISTA	3,5	50	0,07	< LD	1	--
OPERARIO UTA	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERARIO UTC + D	< LD	50	--	< LD	1	--

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Como vemos en la tabla 109, en el grupo homogéneo de exposición GHE-9, integrada por el personal de administración y servicios generales, no se ha registrado ningún puesto de trabajo con exposición a Xileno, con la única excepción del puesto de trabajo de Supervisor que presenta una exposición diaria ambiental de 0,5 ppm (que puede deberse a sus tareas de visita e inspección a las plantas y áreas operativas). Todos los indicadores biológicos de exposición para este grupo se encuentran por debajo del límite de detección

Tabla 109.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 9, (GHE-9).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	0,5	50	0,01	< LD	1	--
SECRETARIA	< LD	50	--	< LD	1	--
SERVICIOS ADMINISTRATIVOS	< LD	50	--	< LD	1	--
CONSERJE	< LD	50	--	< LD	1	--
CHOFER	< LD	50	--	< LD	1	--
MENSAJERO	< LD	50	--	< LD	1	--
MEDICO	< LD	50	--	< LD	1	--
ENFERMERA	< LD	50	--	< LD	1	--
TRABAJADORA SOCIAL	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR DE ENFERMERIA	< LD	50	--	< LD	1	--
LCDA. LABORATORIO CLINICO	< LD	50	--	< LD	1	--
BOTICARIO	< LD	50	--	< LD	1	--
CONDUCTOR AMBULANCIA	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA DE SISTEMAS	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA DE TESORERIA	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA CONTABLE	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA DE GESTION	< LD	50	--	< LD	1	--
TECN. DE SEGURIDAD IND.	< LD	50	--	< LD	1	--
COORD. GESTION AMBIENTAL	< LD	50	--	< LD	1	--
TECNICO AMBIENTAL	< LD	50	--	< LD	1	--
ABOGADO	< LD	50	--	< LD	1	--
PROGRAMADOR INFORMAT.	< LD	50	--	< LD	1	--
JEFE DE COMUNICACIÓN	< LD	50	--	< LD	1	--
ASISTENTE DE ARCHIVO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-9 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 1

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En el Grupo Homogéneo de Exposición GHE-10, integrado por el personal del Laboratorio de control de calidad de la Refinería 1, no se ha registrado ninguna exposición a Xileno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de Xileno (ni de sus determinantes en el caso del control biológico), en este grupo²⁷.

En los dos puestos de trabajo del grupo homogéneo de exposición GHE-11, que integra el Área de despacho de combustibles limpios, solo en el de Operador de despacho se ha detectado presencia de Xileno, con una muy baja exposición (ED = 0,24 ppm), como vemos en la tabla 110.

Tabla 110.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 11, (GHE-11)

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
OPERADOR DE DESPACHO	0,24	50	0,0048	< LD	1	--
TEC. ALMACENAMIENTO	< LD	50	--	< LD	1	--

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

Las exposiciones a Xileno, medidas en el grupo homogéneo GHE-12, integrado por los puestos de trabajo del Área del Centro de Control (Bunker), de la refinería 1, son muy bajas y solo se han registrado 2 puestos de trabajo con exposiciones diarias de 1 y 1,5 ppm, como puede ver se en la tabla 111

Tabla 111.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 12, (GHE-12)

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
TABLERISTA CRACKING - GASCON	< LD	50	--	< LD	1	--
TABLERISTAS CATALITICA 2 Y 3	1	50	0,02	< LD	1	--
TABLERISTA DE CRUDO Y VISBREAKING	< LD	50	--	< LD	1	--
TABLERISTA VISBRECKING Y C/V	1,5	50	0,03	< LD	1	--
TABLERISTA DCS	< LD	50	--	< LD	1	--
TABLERISTA SETRIA	< LD	50	--	< LD	1	--

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

²⁷ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 3

En el grupo homogéneo GHE-13, conformado por el personal del Servicio de Mantenimiento de la refinería 1, la exposición a xileno es extremadamente baja, registrándose alguna pequeña concentración en los puestos de trabajo de técnico de mantenimiento eléctrico (ED = 0,23 ppm) y en el de Mecánico y Mantenimiento rotativo (ED = 0,13 ppm). No se ha detectado presencia del determinante (ácidos metilhipúricos en orina) en las muestras biológicas analizadas, como podemos ver en la tabla 112.

Tabla 112.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 13, (GHE-13).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
TECNICO MANT. ELECTRICO	0,23	50	0,0045	< LD	1	--
TEC. CALDERERIA Y SOLDADURA	< LD	50	--	< LD	1	--
MECANICO Y MANT. ROTATIVO	0,13	50	0,0026	< LD	1	--
TEC. MANTENIM. INDUSTRIAL	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERARIO MANT. INDUSTRIAL	< LD	50	--	< LD	1	--
TECN. MANTEN. DE EQUIPOS	< LD	50	--	< LD	1	--
TECNICO INSTRUMENTISTA	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-13 está integrado por los trabajadores del Servicio de mantenimiento de Refinería 1.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite

En el Grupo Homogéneo de Exposición GHE-14, integrado por el personal del Área de estaciones de bombeo (Casa Bombas), de la refinería 2, no se ha registrado ninguna exposición a Xileno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de Xileno (ni de sus determinantes en el caso del control biológico), en este grupo²⁸.

Como puede ver se en la tabla 113, en los puestos de trabajo del grupo homogéneo GHE-15, integrado por el personal adscrito a la Planta de El Cautivo, de la refinería 2, no presentan registros con exposición a Xileno, a excepción del puesto de supervisor con una exposición diaria de 0,5 ppm, que resulta testimonial.

²⁸ La tabla de datos de exposición a benceno de este grupo puede consultarse en el Anexo 3

Tabla 113.- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 15, (GHE-15).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	0,5	50	0,01	< LD	1	--
OPERADOR CALDERAS	< LD	50	--	< LD	1	--
OPER. TURBINAS P. ELÉCTRICA	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-15 está integrado por los trabajadores de La Unidad de Producción ó Planta conocida como "CAUTIVO", de la Refinería 2.

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En los Grupos Homogéneos de Exposición GHE-16, GHE-17, GHE-18 y GHE-19 de la refinería 2, integrados por el personal del Área de despacho de combustibles limpios, Plantas Parsons y Universal, Área de tratamiento de aguas y Laboratorios de control de calidad, respectivamente, no se ha registrado ninguna exposición a Xileno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de xileno (ni de sus determinantes en el control biológico), en ninguno de los puestos de trabajo de estos dos grupos²⁹.

En el grupo homogéneo GHE-20, conformado por los trabajadores de la Planta de Generación Eléctrica de la Refinería 2, la exposición a Xileno es muy baja, registrándose alguna pequeña concentración en los puestos de trabajo de Supervisor (ED = 1 ppm), Compresorista (ED = 0,75 ppm) y en el de Operador de Turbinas (ED = 0,13 ppm). No se ha detectado presencia del determinante (ácidos metilhipúricos en orina) en las muestras biológicas analizadas, como podemos ver en la tabla 114.

²⁹ La tabla de datos de exposición a benceno de estos dos grupos puede consultarse en el Anexo 3

Tabla 114- Exposición diaria (ED) a Xileno de los puestos de trabajo del Grupo Homogéneo de Exposición 20, (GHE-20).

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR / TABLERISTA	1	50	0,020	< LD	1	--
COMPRESORISTA	0,75	50	0,015	< LD	1	--
CALDERERISTA	0,50	50	0,010	< LD	1	--
OPERADOR DE TURBINAS	< LD	50	--	< LD	1	--
<i>El GHE-20 está integrado por los trabajadores de la Planta de Generación Eléctrica de la Refinería 2</i>						

VLA-ED: Valor Límite Ambiental de exposición diaria. VLB: Valor Límite Biológico

En los restantes dos Grupos Homogéneos de Exposición GHE-21 y GHE-22, de la refinería 2, integrados por el personal del Servicio de Mantenimiento y por el de Administración y servicios generales, respectivamente, no se ha registrado ninguna exposición a Xileno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de xileno (ni de sus determinantes en el control biológico), en ninguno de los puestos de trabajo de estos dos grupos³⁰.

En ninguno de los seis Grupos Homogéneos de Exposición (GHE-23 y GHE-24, GHE-25, GHE-26, GHE-27 y GHE-28) de la Refinería 3, se ha registrado exposición a Xileno. En los resultados de los análisis de las muestras ambientales y biológicas no se ha detectado presencia de xileno (ni de sus determinantes en el control biológico), en ninguno de los puestos de trabajo de estos seis grupos³¹.

³⁰ La tabla de datos de exposición a benceno de estos dos grupos puede consultarse en el Anexo 3

³¹ La tabla de datos de exposición a benceno de estos dos grupos puede consultarse en el Anexo 3

4.5.- Análisis de correlación entre los resultados de la medición ambiental y los resultados de las mediciones biológicas.

Se comprueba mediante la prueba de Kolmogórov Smirnov que la distribución de las variables concentración ambiental (ED) y de control biológico (IB) de nuestra base de datos no se ajusta a la distribución normal, teniendo una ligera asimetría que se ajusta mejor a una función de probabilidad Log-normal.

Según la prueba de ajuste a la normalidad de Kolmogórov-Smimov la significación nos da inferior al valor del estadístico de contraste (p -valor= 0,05), por lo que las variables analizadas no siguen una distribución normal.

Para analizar el grado de correlación bivariada, que nos proporciona el nivel de significación y el coeficiente de correlación entre las variables, utilizamos la correlación de Spearman, prueba no paramétrica indicada para las variables cuya distribución no se ajusta a la normalidad.

Correlaciones Obtenidas:

Tabla 115.- Correlación entre Exposición Ambiental y Biológica a **BENCENO**

Prueba de Correlación	Variabes	Concepto estadístico	Índice BIO exposición a Benceno	Índice de Exp BENCENO = ED/VLA-ED
Rho de Spearman	Índice Biológico de exposición a Benceno	Coeficiente de correlación	1,000	0,875(**)
		Significación (bilateral)		0,000
		N	403	403
	Índice Ambiental de Exposición a BENCENO	Coeficiente de correlación	,875(**)	1,000
		Significación (bilateral)	,000	.
		N	403	403

** La correlación es significativa al nivel $p < 0,01$ (bilateral).

La correlación entre las concentraciones de exposición ambiental y los indicadores biológicos de exposición a Benceno es significativa ($p < 0,01$) y su relación es fuerte ($r = 0,875$).

Tabla 116.- Correlación entre Exposición Ambiental y Biológica a **TOLUENO**

Prueba de Correlación	Variables	Concepto estadístico	Índice Bio-exp tolueno	Índice de Expos. TOLUENO = ED / VLA-ED
Rho de Spearman	Índice BIOLÓGICO de exp a TOLUENO	Coeficiente de correlación	1,000	0,345(**)
		Significación (bilateral)	.	0,000
		N	403	403
	Índice Ambiental de Exposición a TOLUENO	Coeficiente de correlación	0,345(**)	1,000
		Significación (bilateral)	0,000	.
		N	403	403

** La correlación es significativa al nivel $p < 0,01$ (bilateral).

La correlación entre las concentraciones de exposición ambiental y los indicadores biológicos de exposición a Tolueno es significativa ($p < 0,01$) y su relación es débil ($r = 0,345$).

Tabla 117.- Correlación entre Exposición Ambiental y Biológica a **XILENO**

Prueba de Correlación	Variables	Concepto estadístico	Índice Bio-exp Xileno	Índice de Expos. XILENO = ED / VLA-ED
Rho de Spearman	Índice BIOLÓGICO de exp a TOLUENO	Coeficiente de correlación	1,000	0,476(**)
		Significación (bilateral)	.	0,000
		N	403	403
	Índice Ambiental de Exposición a TOLUENO	Coeficiente de correlación	0,476(**)	1,000
		Significación (bilateral)	0,000	.
		N	403	403

** La correlación es significativa al nivel $p < 0,01$ (bilateral).

La correlación entre las concentraciones de exposición ambiental y los indicadores biológicos de exposición a Xileno es significativa ($p < 0,01$) y su relación es intermedia ($r = 0,476$).

5. Discusión.

5.1. Principales resultados obtenidos.

Es importante comenzar destacando el hecho de que el presente estudio se realiza al amparo de un contrato de asesoramiento técnico del cual el autor de esta tesis fue responsable e investigador principal. Gracias a ello hemos podido acceder a una industria y sus instalaciones (refinerías de petróleo), tradicionalmente bastante herméticas y poco accesibles a los investigadores. Ello nos ha permitido caracterizar el nivel de exposición de un colectivo de trabajadores difícilmente accesible, incluyendo en nuestro estudio sustancias de elevada toxicidad y con graves efectos para la salud como puede ser el Benceno, por su reconocida naturaleza cancerígena; téngase en cuenta que el benceno tiene como efecto asociado más grave la leucemia mieloide aguda.

Entre los hallazgos más importantes de nuestro estudio hay que destacar el hecho de que hemos encontrado cinco puestos de trabajo en los que se supera ampliamente el valor límite de exposición diaria (VLA-ED) establecido para el benceno; lo que representa que la salud de los trabajadores que ocupan estos puestos de trabajo está gravemente comprometida.

5.2. Resultados obtenidos en la fase inicial de screening:

- ✓ Del estudio y análisis de las muestras tomadas para la determinación cualitativa y cuantitativa de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, (HAP's) se concluye que de los 20 compuestos analizados, los únicos que se han identificado con alguna concentración son acenafteno, antraceno, fenantreno, fluoreno, pireno, naftaleno, 1-metilnaftaleno y 2-metilnaftaleno. Las concentraciones que se han medido de estos agentes químicos son muy bajas y de ellos los que presentan una mayor toxicidad, por su condición de carcinógenos, son los dos primeros (Acenafteno y Antraceno).

- ✓ Del estudio y análisis de las muestras tomadas para la determinación cualitativa y cuantitativa de los Compuestos Orgánicos Volátiles, (COV's), se concluye que de los 13 compuestos analizados los únicos que se han identificado con alguna concentración significativa son los isómeros de pentano, el n-hexano y de heptano y por supuesto benceno, tolueno y xileno. En todo caso Las concentraciones halladas son bajas.
- ✓ En las mediciones ambientales realizadas en la fase inicial de cribado (screening), para identificar tareas o localizaciones con picos de sobreexposición, llama la atención las elevadas concentraciones puntuales³² de Benceno y Benzo-a-pireno, halladas en las Unidades Catalítica 1 y Catalítica 2 de la Refinería 1, encontrándose valores de hasta 412 ppm de Benceno y 200 ppm de Benzo- α -pireno en la desbutanizadora de Catalítica 1 y de 460 ppm y 473 ppm, respectivamente en el "toma muestras" (simulando la tarea), del P1-P5 de Catalítica 2, como valores pico, en la Refinería 1.
- ✓ En la Refinería 2, los únicos valores que se superan ocasional y puntualmente son los de Benceno y Benzo- α -pireno, pero en concentraciones muy inferiores a las medidas en la Refinería 1 (valor máximo de Benceno 35 ppm., en la purga de Gasolina estabilizada y 34 ppm de Benzo-a-pireno en enfriadores CE11A y C11B, de la Unidad de Tratamiento Universal). Otras locaciones en las que se han observado picos de sobreexposición en la Refinería 2, son el Aljibe nº 1 – Separador API (26 ppm. de Benceno); La toma de Muestras del Manifault de Productos en la Parsons y en Laboratorios de Control de Calidad (5,5 ppm de Benceno).
- ✓ El Complejo Industrial de la Refinería 3, los únicos valores significativos son los del Benceno y del Benzo- α -pireno, que superan en algunos de los puntos de monitoreo seleccionados el Valor Límite Umbral-STEEL, establecido por la ACGIH de USA (TLV-STEEL = 2,5 ppm). Llama la atención un pico de sobreexposición encontrado en el Pit-tank-Separadores de Aceite -, con una concentración puntual de Benceno de hasta 157 ppm y 119 de Benzo- α -pireno.

³² Las concentraciones puntuales fueron medidas con equipos de lectura directa y son instantáneas, sin tiempos de muestreo de referencia, ni ponderación alguna. Por lo tanto, no tienen el carácter de exposiciones de corta duración (como EC).

5.3. Principales resultados obtenidos en la estimación de la Exposición Diaria (ED) y de corta duración (EC) por GHE.

- ✓ En el Análisis realizado por Grupos de Exposición Homogénea en la Refinería 1 se han determinado exposiciones diarias (ED) a Benceno que superan el Valor Límite establecido en las Plantas No catalíticas 1 y 2 y Catalíticas 1 y 2; destacando la Planta No catalítica 2 con una sobreexposición tres veces superior al valor Límite de referencia (Índice de exposición de 3,24).
- ✓ Las exposiciones diarias (ED) a Tolueno son bajas, no superándose en ningún caso el Valor Límite de Exposición diaria (VLA-ED ó TLV-TWA). Sin embargo en el contraste con el valor de corta duración (VLA-EC ó TLV-STEEL), se han identificado sobreexposiciones en las plantas No Catalítica 1, Catalíticas 1 y 2, derivadas de exposiciones durante la realización de tareas puntuales tales como la de toma de muestras, que superan ampliamente los valores límite establecidos (encontrando un índice de exposición de 7,8 en la planta Catalítica 2).
- ✓ Las exposiciones diarias a Xileno son bajas, muy alejadas del valor límite de exposición diario (VLA-ED ó TLV-TWA). En el contraste con el Valor de corta duración (VLA-EC ó TLV-STEEL), se han identificado, al igual que en el caso del Tolueno, sobreexposiciones en las Plantas No Catalítica 1, Catalíticas 1 y 2 y Setría, derivadas de exposiciones durante la realización de tareas puntuales tales como la de toma de muestras.
- ✓ La exposición diaria a Benceno en la Refinería 2 es baja, registrándose algunas exposiciones moderadas en los laboratorios, pero siempre por debajo del Valor Límite.
- ✓ Las exposiciones diarias y de corta duración a Tolueno medidas en la Refinería 2 son muy bajas. Cabe mencionar alguna exposición diaria moderada, medida en los Laboratorios, con un Índice de exposición de 0,7, como la más elevada.
- ✓ Las exposiciones a Xileno (tanto las diarias como las de corta duración) medidas en la Refinería 2, son muy bajas.
- ✓ La exposición diaria (ED) a Benceno en el Complejo industrial de la refinería 3 solo alcanza valores significativos en el personal del control de Calidad en los Laboratorios.

- ✓ Las exposiciones diarias a Tolueno y Xileno medidas en la Refinería 3 son muy bajas. Sin embargo, las exposiciones de corta duración superan el valor Límite en Refinería Amazonas 1 y 2 (Índice de exposición de 3); siendo moderadas en el Grupo 23 (Tratamiento de Gas).

5.4. Principales resultados obtenidos en la estimación de la Exposición Diaria (ED) y de los Índices Biológicos (IBE), por Puestos de Trabajo.

- ✓ En relación con las exposiciones diarias (ED) a Benceno por puestos de trabajo, estimadas mediante mediciones personales, en el seno de los Grupos Homogéneos de Exposición, cabe destacar que los puestos de trabajo más expuestos corresponden al Operador de Hornos de las plantas No Catalíticas 1 y 2; al Operador de Merox de la Planta Catalítica 1 y a los operadores de equipo estático y especial CCR, de catalítica 2 de la Refinería 1.
- ✓ Los indicadores biológicos de exposición obtenidos del análisis de las muestras de orina tomadas al final del turno, evidencian que los puestos de trabajo con mayor exposición se corresponden con los que se relacionan en el párrafo anterior, mediante muestreos personales de la concentración ambiental de exposición diaria.
- ✓ El coeficiente de correlación de Spearman aplicado a las variables Índice de exposición ambiental a Benceno (I_{exp} -ED) versus Índice de exposición biológico a Benceno (I_{exp} BEI), indica que la correlación es significativa ($p < 0,01$), fuerte (0,875) y directa (+).
- ✓ El coeficiente de correlación de Spearman aplicado a las variables Índice de exposición ambiental a Tolueno (I_{exp} -ED) versus Índice de exposición biológico a Tolueno (I_{exp} BEI), indica que la correlación entre ambas variables es significativa ($p < 0,01$), relativamente débil (0,345) y directa (+).

- ✓ El coeficiente de correlación de Spearman aplicado a las variables índice de exposición ambiental a Xileno (I_{exp-ED}) versus Índice de exposición biológico a Xileno ($I_{exp BEI}$), indica que la correlación entre estas variables es significativa ($p < 0,01$), moderada (0,476) y directa (+).
- ✓ En algunos de los puestos de trabajo del área administrativa o técnica que no se encuentran entre los grupos de exposición a benceno, se han encontrado resultados positivos en los biomarcadores de orina analizados (Índices biológicos de exposición a Benceno), si bien estos casos coinciden siempre con trabajadores que son fumadores activos.

5.5. Comparación con otros estudios

- ✓ Los valores de concentración ambiental de exposición diaria a benceno halladas en nuestro estudio ($n= 403$) se encuentran en el rango de 0,020-3,85 ppm, con una media de 0,43 ppm y una SD = 0,41; que son valores algo más elevados, aunque similares a los encontrados en otros estudios tales como el de Gaffney (Gaffney, S.H., 2010).
- ✓ La correlación encontrada entre los índices de exposición ambiental y biológico a Benceno, confirma los estudios de Mariella Carrieri y colaboradores del Departamento de Medicina Ambiental y Salud Pública de la Universidad de Padova, Italia (Carrieri M., 2006 y 2010), en el sentido de que si bien el monitoreo ambiental parece ser el mejor método de evaluar la exposición individual en condiciones de bajos niveles de concentración de benceno, el monitoreo biológico sigue siendo útil como medición complementaria y una medida de la evaluación de la exposición.

5.6. Ventajas.

Entre las ventajas cabe mencionar el hecho de que en nuestro estudio no sólo hemos realizado mediciones de la exposición diaria (ED), de los distintos puestos de trabajo; sino que también hemos realizado mediciones de las exposiciones de corta duración (EC), cuando las sustancias a monitorear tenían asignado valor límite corta duración (VLA-EC), como es el caso del Tolueno y del Xileno; práctica poco habitual fuera del ámbito de la higiene industrial.

5.7. Limitaciones.

- ✓ Cabe mencionar que las muestras ambientales y biológicas fueron tomadas en un país de América del Sur, en el que no existen laboratorios de higiene industrial, ni tampoco instituciones u organismos con posibilidades de ofrecer una determinación analítica con garantías de calidad; por lo que todas las muestras fueron enviadas vía aérea a Sevilla y de allí por vía terrestre a Huelva; todo el trayecto en embalajes refrigerados, evitando que se rompiera la cadena de frío.

Ello supuso un importante esfuerzo de coordinación logística para evitar que el intervalo transcurrido desde la toma de la muestra hasta su llegada a los laboratorios de la Universidad de Huelva, no superase el límite máximo de conservación (< 20 días), recomendado por el método de determinación analítica. Si se consideran además los trámites burocráticos en las aduanas de salida y entrada de los países implicados y la dificultad añadida que representa la exportación-importación de muestras biológicas (muestras de orina humana), se entenderá que superar estas dificultades supuso uno de los mayores retos en nuestro estudio y en honor a la verdad hay que decir que algunas muestras se perdieron por esta causa.

- ✓ Por otra parte, cabe señalar como limitación, el hecho de que pese a conocer que el Ácido S-Fenilmercaptúrico es mejor biomarcador para niveles bajos de exposición al benceno que el t,t, Mucónico (Melikian AA., et al, 2002), decidimos utilizar el t,t-Mucónico debido a que en aquel momento era más viable montar la técnica de determinación del ácido t,t,-Mucónico, que la del Ácido S-Fenilmercaptúrico.

5.8. Recomendaciones.

- ✓ Sería conveniente establecer programas de monitoreo periódico en aquellas industrias que manipulen o fabriquen sustancias cancerígenas como el benceno. El establecimiento de un programa de mediciones periódicos basado en la metodología que se propone en la Norma UNE-EN-689, permite conocer no sólo las concentraciones ambientales que

determinan la Exposición laboral de los Trabajadores, sino que permite conocer el patrón de exposición y la tendencia del mismo; con lo cual las acciones preventivas se pueden anticipar maximizando su eficacia.

- ✓ La Unión Europea debería considerar la posibilidad de someter a revisión el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria a Benceno (VLA-ED = 1ppm), si consideramos los graves efectos asociados y reconocidos para esta sustancia (Carcinógeno catalogado como C1A) y Mutagénico (M1B) y teniendo en cuenta que en los Estados Unidos el Valor Límite de la ACGIH establecido para el benceno como TLV.-TWA es de 0,5 ppm.

5.9. Líneas futuras de investigación.

En la búsqueda bibliográfica realizada, se ha puesto de manifiesto que los estudios de caracterización de la exposición a contaminantes químicos en general y a Benceno en particular son escasos, (especialmente en América del Sur) centrándose más en las correlaciones entre monitoreo ambiental y biológico o en la caracterización de los efectos sobre la salud de los trabajadores que en el de la exposición laboral (como ED) de los trabajadores.

Sí se encuentran en la bibliografía estudios de revisión de datos retrospectivos de exposición a benceno, pero muy pocos de mediciones actuales para caracterizar la exposición a benceno en los trabajadores de refinerías de petróleo.

En consecuencia, se debería realizar un esfuerzo para potenciar la investigación en la línea de caracterizar con mayor precisión las exposiciones laborales a benceno de los trabajadores de refinerías de petróleo, bien sea mediante las mediciones ambientales de las concentraciones en los puestos de trabajo; o bien, mediante los indicadores biológicos de exposición tales como el ácido S-Fenilmercaptúrico o el ácido t, t,-Mucónico, a determinar mediante la creatinina en orina.

6. Conclusiones

1. El nivel diario de exposición a benceno en los puestos de trabajo de las tres refinerías objeto de estudio se puede considerar bajo, a excepción de cinco puestos de trabajo de la Refinería 1 en los que se superaban ampliamente los valores Límite de exposición profesional a benceno (VLA-ED = 1 ppm).
2. La exposición diaria a Tolueno y Xileno en las tres refinerías estudiadas es poco significativa y los valores de concentración hallados de estas sustancias, como valor de exposición diaria, (ED) se encuentran muy alejados del Valor Límite de exposición diaria establecido para ambas sustancias, (VLA-ED = 50 ppm).
3. Las exposiciones de corta duración a Tolueno y Xileno (como EC), sin embargo, superan el Valor Límite establecido (VLA-EC = 100 ppm), en algunos grupos Homogéneos de Exposición (GHE), concretamente se superan en tres grupos de la Refinería 1 y en un grupo de la Refinería 3.
4. El monitoreo biológico, mediante el índice biológico de exposición, ácido t, t,-Mucónico en orina, ofrece una aceptable evaluación de la exposición a benceno; observándose una ligera tendencia a la subestimación, pero con un coeficiente de correlación significativo ($p < 0,01$) y su relación con la variable de exposición ambiental es fuerte (Rho de spearman = 0,875) y directa.
5. El hábito de fumar se ha revelado en nuestro estudio como un factor de confusión, al encontrarnos con algunos casos de fumadores con exposición biológica, cuando no se había detectado exposición ambiental a benceno y otros en los que la exposición biológica era superior a la ambiental (rompiendo la tendencia). Se confirma que fumar sigue siendo una fuente importante de exposición a benceno en individuos ocupacionalmente expuestos y no expuestos.

6. La falta de un mantenimiento preventivo deriva en un foco continuo de emisiones fugitivas, que constituyen la principal fuente de origen de la exposición laboral continuada de los trabajadores en las refinerías estudiadas; especialmente en la refinería 1.

7.-BIBLIOGRAFIA

- ACGIH. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values (TLVs) for chemical substances and physical agents biological exposure indices for 2013. Cincinnati, USA: ACGIH; 2013. [[Links](#)]
- AENOR, UNE-EN 689. “*Atmosferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición*”. Madrid, 1996.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry , ATSDR (2000). Case studies in environmental medicine: Benzene toxicity. Atlanta, US Department of Health and Human Services.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2007). *Benzene. ATSDR minimal risk levels (MRLS)*. Atlanta, Public Health Service. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/Toxprofiles/tp3> [Consultado en Diciembre 2010]
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (ATSDR, 2000). Toxic Substances Portal - Toluene. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts56.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2000). *Toluene Toxicity Physiologic Effects ATSDR-CHEM*. Disponible en www.atsdr.cdc.gov/csem/toluene . [Consultado en Diciembre 2010]
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological Profile for Xylene. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp71.html> [Consultado en Diciembre 2010]
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Interaction profile for benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX). 1a ed. Atlanta: ATSDR; 2004
- Angerer, J., Y Horsch, B. (1992): «Determination of aromatic hydrocarbons and their metabolites in human blood and urine, J. Chromatogr, vol. 580, pp. 229-255.
- Baarson KA, Snyder CA. (1991). Evidence for the disruption of the bone marrow microenvironment by combined exposures to inhaled benzene and ingested ethanol. Arch Toxicol. ;65(5):414-20.
- Brugnone, F. et. al. (1998). Benzene in environmental air and human blood. Int Arch Occup Environ Health, 71, 554--559.

- Capleton, A. C., & Levy, L. S. (2005). An overview of occupational benzene exposures and occupational exposure limits in europe and north america. *Chemico-Biological Interactions*, 153–154(0), 43-53.
doi:<http://0-dx.doi.org.columbus.uhu.es/10.1016/j.cbi.2005.03.007>
- Carrieri, M., Bonfiglio, E., Scapellato, M. L., Maccà, I., Tranfo, G., Faranda, P., Bartolucci, G. B. (2006). Comparison of exposure assessment methods in occupational exposure to benzene in gasoline filling-station attendants. *Toxicology Letters*, 162(2–3), 146-152. doi:10.1016/j.toxlet.2005.09.036
- Carrieri, M., Tranfo, G., Pigini, D., Paci, E., Salamon, F., Scapellato, M. L., . . . Bartolucci, G. B. (2010). Correlation between environmental and biological monitoring of exposure to benzene in petrochemical industry operators. *Toxicology Letters*, 192(1), 17-21.
doi:<http://0-dx.doi.org.columbus.uhu.es/10.1016/j.toxlet.2009.07.015>
- Cavallé, N. y Van der Haar, R. (2014). *Evaluación Cualitativa del riesgo por exposición a agentes químicos: modelos de control banding*. En Ruiz-Frutos C., Delclós, J., Ronda, E., García, A.M. y Benavides, F. (Ed.) *Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales*, (pp.225-238). Barcelona, España: Elsevier MASSON.
- Chakroun R, Kaabachi N, Hedhili A, Feki M, Nouaigui H, Ben Laiba M, Mebazaa A (2002) Benzene exposure monitoring of Tunisian workers. *J Occup Environ Med* 44:1173–1178
- Crebelli R., Tomei F, Zijno A, Ghittori S, Imbriani M, Gamberale D, Martini A, Carere A., (2001). Exposure to benzene in urban workers: environmental and biological monitoring of traffic police in Rome. *Occup Environ Med*. 2001 Mar; 58(3):165-71.
- De Wilde, P. E., & De Smedt, E. (2005). La dosimétrie, Un élément indispensable de la gestion du risque d'exposition au benzène. *Archives Des Maladies Professionnelles Et De l'Environnement*, 66(1), 12-17.
doi:10.1016/S1775-8785(05)79040-8
- Deschamps, D., Geraud, C., & Dally, S. (2001). Cognitive functions in workers exposed to toluene: Evaluation at least 48 hours after removal from exposure. *Int Arch Occup Environ Health*., 74(4), 285-288.
- Gaffney, S. H., Burns, A. M., Kreider, M. L., Unice, K. M., Widner, T. E., Paustenbach, D. J., . . . Panko, J. M. (2010). Occupational exposure to benzene at the ExxonMobil refinery in beaumont, TX (1976–2007).

International Journal of Hygiene and Environmental Health, 213(4), 285-301.
doi: 10.1016/j.ijheh.2010.04.004

- Gandjean, P. (1995). Biomarkers in epidemiology. Clin Chem, 41((12)), 1800--3.
- Garcia A.M., Ruiz-Frutos C., (2014). *Agentes Químicos*. En Ruiz-Frutos C., Delclós, J., Ronda, E., Garcia, A.M. y Benavides, F. (Ed.) Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales,(pp.249-258). Barcelona, España: EISevier MASSON.
- Guardino, X. y Guasch, J. (2014). *Agentes Químicos*. En Ruiz-Frutos C., Delclós, J., Ronda, E., Garcia, A.M. y Benavides, F. (Ed.) Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales,(pp.293-312). Barcelona, España: EISevier MASSON.
- Haro-García L, González-Bonilla CR, Chacón-Salinas R, Pérez-Lucio C, Juárez-Pérez CA, Borja-Aburto VH. (2008). *Exposición ocupacional a mezcla de benceno-tolueno-xileno*. Manifestaciones hemato-inmunológicas Rev Med Inst Mex Seguro Soc.;46 (6):643-50.
- Javelaud, B. e. a. (1998). Benzene exposure in car mechanics and road tanker drivers. . Int Arch Occup Environ Health, 71, 277--283.
- Kazerouni, N., Sinha, R., Hsu, C., Greenberg, A., & Rothman, N. (2001). Analysis of 200 food items for benzo[a]pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. Food and Chemical Toxicology, 39(5), 423-436. doi: [http://0-dx.doi.org.columbus.uhu.es/10.1016/S0278-6915\(00\)00158-7](http://0-dx.doi.org.columbus.uhu.es/10.1016/S0278-6915(00)00158-7)
- Kramer, A. et. al., (1999). Occupational chronic exposure to organic solvents XVII. ambient and biological monitoring of workers exposed to xylenes. Int Arch Occup Environ Health, 72:, 52--55.
- Kraus, R. (2001) Proceso de Refino de petróleo. Petróleo y gas natural- Cap 78.2 Enciclopedia de salud y seguridad en el Trabajo de la O.I.T. (INSHT). Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/78.pdf>
- La Dou, J., (1999) Medicina laboral y ambiental 2ª ed. María Antonieta Araujo Solís (Ed.), 943 p .México, D.F.: El Manual Moderno.

- Lawerys RR. (1994). Cánceres de Origen Profesional. En: Toxicología Industrial e Intoxicaciones Profesionales. (pp. 553-576). Barcelona, Madrid: Masson S.A.
- Leidel, N. A.; Busch, K. A.; Lynch, J. R. (1977). "Occupational exposure sampling strategy manual". U.S. Department of Health, Education and Welfare. Public Health service. Center for Disease Control. National Institute for Occupational Safety and Health. *DHEW (NIOSH) Publication* (núm. 77-173).
- Leung, H. a. P., D.J. (1988). Application of pharmacokinetics to derive biological exposure indexes from threshold limit values. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 49(9), 445-- 450.
- Liehr JG. (2000). Is estradiol a genotoxic mutagenic carcinogen? *Endoc Rev* 21(1): 40-54.
- Li, K., Todorovic, R., Rogan, E., & Jankoviak, R. (1995). Identification and quantitation of dibenzo(a,l)pyrene-DNA adducts formed by rat liver microsomes in vitro: Preponderance of depurinating adducts. *Biochemistry*, 34((25)), 8043--9.
- Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H., & Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39(1), 27-36.
- Mei-Lien Chen, Shu-Hui Chen, Bey-Rong Guo, and I-Fang Mao (2002). Relationship between environmental exposure to toluene, xylene and ethylbenzene, and the expire breath concentrations for gasoline service workers. *J.Enveiron. Monit*, 2002, 4 (4), p.p. 562-566. doi: 10.1039/B203754H
- Montoya-Cabrera, M.A. (1990). Neurotoxicology in Mexico and its relations to the general and work environment. En B.L. Johnson (Ed.) *Advances in Neurobehavioral Toxicology: Applications in environmental and occupational health* (pp 35-57) Chelsea MI.: Lewis Publishers.
- Murray R.L. (1984). *Creatinine*. Kaplan A et al. *Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton*; 1261-1266 and 418.
- Neuman, H., Albrecht, O., & Van-Dorp, C., Zwirner-Baier, I. (1995). Macromolecular adducts caused by environmental chemicals. *Clin Chem*, 41((12)), 1835--40.

- Neuman HS. (1989;). The role of biological monitoring in exposure control risk assessment and in defining acceptable limits for genotoxic. Symposium on Exposure Limits for Occupational and Environmental Chemical Pollutants, Prague, Czechoslovakia, Sc Total Environ, 101((1-2)), 159.
- Nilson, L., Sallsten, G., Hagberg, S., Backman, L., & Barregard, L. (2002). Influence of solvent exposure and aging on cognitive functioning: an 18 year follow up of formerly exposed floor layers and their controls. *Occupational and Environmental Medicine*, 59 (1), 49–57. <http://doi.org/10.1136/oem.59.1.49>
- Özdemir, P. G., Selvi, Y., Özkol, H., Aydın, A., Tülüçe, Y., Boysan, M., & Beşiroğlu, L. (2013). The influence of shift work on cognitive functions and oxidative stress. *Psychiatry Research*, 210(3), 1219-1225. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.psychres.2013.09.022>
- Poungravin N. (1991) Multifocal brain damage due to lacquer souffing: The first case report of Thailand. In J. Med. Ass. Thai. 74 (7), 296-300. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1765746>
- Rappaport, S. M. (1991). Assessment of long-term exposures to toxic substances in air. *Annals of Occupational Hygiene*, 35 (1), 61-122.
- Ruiz M, Vassalo J, Souza CAD (1993). Alterações hematológicas em pacientes expostos cronicamente ao benzeno. *Rev Saúd Pública*;27(2):145–14130. [[PubMed](#)]
- Scheppers, P., Beenackers, M., & Lepper, A. (1995). Immunochemical detection of metabolites of parent and nitro polycyclic aromatic hydrocarbons in urine samples from persons occupationally exposed to diésel exhaust. *Fresenius J Anal Chem*, 351((7)), 660--9.
- Seong Kyu-kan, e. a. (2005). Occupational exposure to benzene in south korea. chemico-biological interactions. *Chemico-Biological Interactions*, 153–154, 65--74.
- Sinclair, G., Westerb, R., & Maibachb, H. (2002). Partition coefficients for benzene in human skin. *AIHA Journal*, 63, 685--688.
- Sliwinska-Kowalska, M. (2011). Combined exposures to noise and chemicals at work. In J. O. Nriagu (Ed.), *Encyclopedia of environmental health* (pp. 755-763). Burlington: Elsevier. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00255-5>

- Smith, M. T., Zhang, L., McHale, C. M., Skibola, C. F., & Rappaport, S. M. (2011). Benzene, the exposure and future investigations of leukemia etiology. *Chemico-Biological Interactions*, 192(1–2), 155-159. doi: 10.1016/j.cbi.2011.02.010
- Stellman, J., & McCan, M. (1998). Hidrocarburos poliaromáticos. In Organización Internacional del Trabajo. (Ed.), Enciclopedia de salud y Seguridad en el trabajo. (3ª ed., pp. 310-318). <http://www.insht.es/portal/site/Insht/> : Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; INSHT.
- Tielemans, E. e. a. (2008). Conceptual model for assessment of inhalation exposure: Defining modifying factors. *Ann Occup Hyg*, 52(7), 577-586.
- Tietz NW. (1995) *Clinical guide to Laboratory Tests*. 3rd edition, W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA .
- Tolentino, Zenari E, Dall'Olio M, Ruani G, Gelormini A, Mirone G. (2003). Application of statistical models to estimate the correlation between urinary benzene as biological indicator of exposure and air concentrations determined by personal monitoring. *AIHA J (Fairfax , Va)*, 64((5)), 625--629.
- Van Wijngaarden E, Stewart PA, (2003) Critical literature review of determinants and levels of occupational benzene exposure for United States community-based case-control studies. *Applied Occupational Environ Hygiene*. 2003 Sep;18 (9):678-93.
- Verma, D., & des Tombe, K. (1999). Measurement of benzene in the workplace and its evolution process, part 1 *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60(ABI/INFORM Global), pg. 38.
- Vermeulen, R., Li, G., Lan, Q., Dosemeci, M., Rappaport, S. M., Bohong, X., & Rothman, N. (2004). Detailed exposure assessment for a molecular epidemiology study of benzene in two shoe factories in China. *Annals of Occupational Hygiene*, 48(2), 105-116.
- Vieth, R. (2006). Tietz textbook of clinical chemistry and molecular diagnostics, 4th ed., C.A. burtis, E.R. ashwood, D.E. bruns (eds.). elsevier inc. (2006). *Clinical Biochemistry*, 39(7), 770. doi:<http://0-dx.doi.org.columbus.uhu.es/10.1016/j.clinbiochem.2006.02.015>
- World Health Organization. International Programme on Chemical Safety (IPCS): Environmental Criteria 202. Selected non-heterocyclic PAHs. Geneva. WHO. 1998.

8. ANEXOS

ANEXO 1.- Puestos de trabajo sin exposición a Benceno.

Tabla 118.- Exposición a Benceno de los puestos de trabajo del GHE-18

PUESTO DE TRABAJO	Benceno ED en ppm	VLA-ED BENCENO	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
OPERADOR UNIVERSAL Y PARSONS	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR TRATAMIENTO AGUAS	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR CAUTIVO	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-18 está integrado por los trabajadores del Área de Tratamiento de Aguas de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 119.- Exposición a Benceno de los puestos de trabajo del GHE-22

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
INTENDENTE PODUCCIÓN	< LD	1	--	< LD	2	--
SECRETARIA	< LD	1	--	< LD	2	--
MEDICO SEGURIDAD Y SALUD	< LD	1	--	< LD	2	--
TRABAJADORA SOCIAL	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-22 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 120.- Exposición a Benceno de los puestos de trabajo del GHE-24

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
TEC. OPERADOR DE TURBINAS	< LD	1	--	< LD	2	--
TECNICO DE SEG. INDUSTRIAL	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR INDUSTRIAL	< LD	1	--	< LD	2	--
TABLERISTA	< LD	1	--	< LD	2	--
OPERADOR DE TURBINA	0,13	1	--	< LD	2	--
JEFE DE TURNO /COORDINADOR	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA EQUIPO ESTÁTICO	< LD	1	--	< LD	2	--
TECNICO DE INSTRUMENTACIÓN	< LD	1	--	< LD	2	--
AUXILIAR MATERIALES /LABORAT.	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-24 está integrado por los trabajadores de las Plantas AMAZONAS 1 y 2, de la Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 121.- Exposición a Benceno de los puestos de trabajo del GHE-25

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
SUPERINTENDENCIA GENERAL	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA DE ACTIVOS FIJOS	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA DE CONTABILIDAD	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA DE RR. HUMANOS	< LD	1	--	< LD	2	--
ANALISTA CONTAB. DE COSTES	< LD	1	--	< LD	2	--
TESORERO	< LD	1	--	< LD	2	--
MEDICO DE SEGUR. Y SALUD	< LD	1	--	< LD	2	--
AUXILIAR DE PROGRAMACIÓN	< LD	1	--	< LD	2	--
RADIOOPERADOR	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-25 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 3.

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 122.- Exposición a Benceno de los puestos de trabajo del GHE-28

PUESTO DE TRABAJO	BENCENO ED en ppm	VLA-ED BENCENO en ppm	Ind. exp-BENCENO	IB-Benceno	VLB Benceno t-t-mucónico	Índice IB Benceno
TEC. MANTEN. MECANICO	< LD	1	--	< LD	2	--
COORDINADOR DE MANTENT ^o	< LD	1	--	< LD	2	--
TEC. OPERADOR TURBINAS	< LD	1	--	< LD	2	--

El GHE-28 está integrado por los trabajadores del Servicio de mantenimiento de la Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

8.2. ANEXO 2.- Puestos de trabajo sin exposición a Tolueno.

Tabla 123.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-2

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-TOLUENO	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
JEFE DE TURNO - SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR TV1	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR HORNOS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR CRUDO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR DE VACIO	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-2 está integrado por los trabajadores de la Planta No Catalítica 2, de la Refinería 1

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 124.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-9

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	---	< LD	1,5	--
SECRETARIA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
SERVICIOS ADMINISTRATIVOS	< LD	50	---	< LD	1,5	--
CONSERJE	< LD	50	---	< LD	1,5	--
CHOFER	< LD	50	---	< LD	1,5	--
MENSAJERO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
MEDICO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
ENFERMERA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
TRABAJADORA SOCIAL	< LD	50	---	< LD	1,5	--
AUXILIAR DE ENFERMERIA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
LCDA. LABORATORIO CLINICO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
BOTICARIO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
CONDUCTOR AMBULANCIA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
ANALISTA DE SISTEMAS	< LD	50	---	< LD	1,5	--
ANALISTA DE TESORERIA	< LD	50	---	< LD	1,5	--
ANALISTA CONTABLE	< LD	50	---	< LD	1,5	--
ANALISTA DE GESTION	< LD	50	---	< LD	1,5	--
TECNICO DE SEGURIDAD IND.	< LD	50	---	< LD	1,5	--
COORD. GESTION AMBIENTAL	< LD	50	---	< LD	1,5	--
TECNICO AMBIENTAL	< LD	50	---	< LD	1,5	--
ABOGADO	< LD	50	---	< LD	1,5	--
PROGRAMADOR INFORMAT.	< LD	50	---	< LD	1,5	--
JEFE DE COMUNICACIÓN	< LD	50	---	< LD	1,5	--
ASISTENTE DE ARCHIVO	< LD	50	---	< LD	1,5	--

El GHE-9 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 1

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 125.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-12

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED Tolueno	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
TABLERISTA CRACKING - GASCON	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTAS CATALITICA 2 Y 3	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA CRUDO Y VISBREAKING	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA VISBRECKING Y C/V	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA DCS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TABLERISTA SETRIA	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-12 está integrado por los trabajadores del Centro de Control electrónico, edificio conocido como BUNKER, de la Refinería 1.

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 126.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-14

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR MEDIDOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
MOTORISTA CASA BOMBAS	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-14 está integrado por los trabajadores del Área de estaciones (casetas) de Bombeo, conocidas coloquialmente como "CASA BOMBAS", de la Refinería 2.

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 127.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-16

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERARIOS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
DESPACHADOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-16 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles limpios, conocida coloquialmente como LLENADERAS, de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 128.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-21

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
TÉCNICO MANTENIMIENTO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
AUXILIAR MANTENIMIENTO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
OPERADOR DE TRANSPORTE MARINO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TÉCNICO INSTRUMENTACIÓN	< LD	50	--	< LD	1,5	--
MECANICO EQUIPO PESADO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
AUXILIAR EQUIPO PESADO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
MOTORISTA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TÉCN. DE SEGURIDAD Y SALUD	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TÉC SOLDADOR Y CALDERERIA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
ASISTENTE CONTABLE	< LD	50	--	< LD	1,5	--
ANALISTA DE APLICACIONES	< LD	50	--	< LD	1,5	--
ANALISTA GESTIÓN DE PROYECTOS	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-21 está integrado por los trabajadores del Servicio de mantenimiento de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 129.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-22

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
INTENDENTE PODUCCIÓN	< LD	50	--	< LD	1,5	--
SECRETARIA	< LD	50	--	< LD	1,5	--
MEDICO SEGURIDAD Y SALUD	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TRABAJADORA SOCIAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-22 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 130.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-25

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED Tolueno	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERINTENDENCIA GENERAL	< LD	50	--	< LD	1,5	--
ANALISTA DE ACTIVOS FIJOS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
ANALISTA DE CONTABILIDAD	< LD	50	--	< LD	1,5	--
ANALISTA DE RR. HUMANOS	< LD	50	--	< LD	1,5	--
ANALISTA CONTAB. COSTES	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TESORERO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
MEDICO DE SEG. Y SALUD	< LD	50	--	< LD	1,5	--
AUXILIAR PROGRAMACIÓN	< LD	50	--	< LD	1,5	--
RADIOOPERADOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-25 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 3.

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 131.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-27

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1,5	--
AUXILIAR DE LABORATORIO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TEC. LAB. CONTROL CALIDAD	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-27 está integrado por los trabajadores del Área de Control de Calidad y Laboratorios, de la Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 132.- Exposición a Tolueno de los puestos de trabajo del GHE-28

PUESTO DE TRABAJO	ED Tolueno en ppm	VLA-ED TOLUENO	Ind. exp-Tolueno	IB-Tolueno	VLB Tolueno Hipúrico en orina	Índice IB Tolueno
TEC. MANTEN. MECANICO	< LD	50	--	< LD	1,5	--
COORDINAD. DE MANTENTº	< LD	50	--	< LD	1,5	--
TEC. OPERADOR TURBINAS	< LD	50	--	< LD	1,5	--

El GHE-28 está integrado por trabajadores del Servicio de mantenimiento de Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

8.3. ANEXO 3.- Puestos de trabajo sin exposición a Xileno.

Tabla 133.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-5

UESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
JEFE DE TURNO	< LD	50	--	< LD	1	--
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
UNIDADES "S", "S1"	< LD	50	--	< LD	1	--
UNIDADES "U", "U1", "Z1", "Z2"	< LD	50	--	< LD	1	--
EQUIPO ESTÁTICO HDS	< LD	50	--	< LD	1	--
EQUIPO ROTATIVO HDS	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-5 está integrado por los trabajadores de la Planta Catalítica 3, de la Refinería 1

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 134.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-6

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
JEFE TURNO	< LD	50	--	< LD	1	--
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR DE AIRE	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR CALDERA	< LD	50	--	< LD	1	--
TABLERISTA MARK V	< LD	50	--	< LD	1	--
TORRES DE ENFRIAMIENTO	< LD	50	--	< LD	1	--
OP. DESMINERALIZADORA	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-6 está integrado por los trabajadores de la Planta de Generación de Vapor y Área de Utilidades de la Refinería 1

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 135.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-10

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
LAB. CONTROL DESTILACION	< LD	50	--	< LD	1	--
LAB. GASES	< LD	50	--	< LD	1	--
LAB. ANALITICA	< LD	50	--	< LD	1	--
LAB. AGUAS	< LD	50	--	< LD	1	--
LAB. COTROL OCTANOS	< LD	50	--	< LD	1	--
LAB. CONTROL VISCOSIDAD	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR LABORATORIO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-10 está integrado por los trabajadores de Control de Calidad y Laboratorios de la Refinería 1

Nota.- Los técnicos de laboratorio trabajan haciendo uso de mascarilla de respiración con filtro.

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 136.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-14

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
TECNICO MANT. ELECTRICO	< LD	50	--	< LD	1	--
TEC. CALDERERIA Y SOLDADURA	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-14 está integrado por los trabajadores del Área de estaciones (casetas) de Bombeo, conocidas coloquialmente como "CASA BOMBAS", de la Refinería 2.

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 137.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-16

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERARIOS	< LD	50	--	< LD	1	--
DESPACHADOR	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-16 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles limpios, conocida coloquialmente como LLENADERAS, de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 138.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-17

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
TABLERISTA UNIVERSAL	< LD	50	--	< LD	1	--
TABLERISTA PARSONS	< LD	50	--	< LD	1	--
FOGONERO UNIVERSAL	< LD	50	--	< LD	1	--
FOGONERO PARSONS	< LD	50	--	< LD	1	--
MEDIDOR	< LD	50	--	< LD	1	--
MECÁNICO DE GUARDIA	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR AYUDANTE DE TURNO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-17 está integrado por los trabajadores de las Plantas PARSONS y UNIVERSAL de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 139.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-18

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
OPERAD. UNIVERSAL Y PARSONS	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR TRATAMIENTO AGUAS	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR CAUTIVO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-18 está integrado por los trabajadores del Área de Tratamiento de Aguas de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 140.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-19

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
TEC. LABORAT. HIDROCARBUROS	< LD	50	--	< LD	1	--
TEC. LABORATORIO DE AGUAS	< LD	50	--	< LD	1	--
COORDINADOR, BODEGUERO, SECRETARIA.	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-19 está integrado por los trabajadores del Área de Control de Calidad y Laboratorios, de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 141.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-21

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
TÉCNICO MANTENIMIENTO	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR MANTENIMIENTO	< LD	50	--	< LD	1	--
OPE. DE TRANSPORTE MARINO	< LD	50	--	< LD	1	--
TÉCNICO INSTRUMENTACIÓN	< LD	50	--	< LD	1	--
MECANICO EQUIPO PESADO	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR EQUIPO PESADO	< LD	50	--	< LD	1	--
MOTORISTA	< LD	50	--	< LD	1	--
TÉCN. DE SEGURIDAD Y SALUD	< LD	50	--	< LD	1	--
TÉC SOLDADOR Y CALDERERIA	< LD	50	--	< LD	1	--
ASISTENTE CONTABLE	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA DE APLICACIONES	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA GESTIÓN PROYECTOS	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-21 está integrado por los trabajadores del Servicio de mantenimiento de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 142.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-22

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
INTENDENTE PODUCCIÓN	< LD	50	--	< LD	1	--
SECRETARIA	< LD	50	--	< LD	1	--
MEDICO SEGURIDAD Y SALUD	< LD	50	--	< LD	1	--
TRABAJADORA SOCIAL	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-22 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 2

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 143.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-23

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
TABLERISTA	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR TÉCNICO	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-23 está integrado por los trabajadores de la Planta de Tratamiento de GAS de la Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 144.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-24

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
TEC. OPERADOR DE TURBINAS	< LD	50	--	< LD	1	--
TECNICO DE SEG. INDUSTRIAL	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR INDUSTRIAL	0,75	50	--	< LD	1	--
TABLERISTA	0,50	50	--	< LD	1	--
OPERADOR DE TURBINA	< LD	50	--	< LD	1	--
JEFE DE TURNO /COORDINADOR	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA EQUIPO ESTÁTICO	< LD	50	--	< LD	1	--
TECNICO DE INSTRUMENTACIÓN	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR MATERIALES /LABORAT.	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-24 está integrado por los trabajadores de las Plantas AMAZONAS 1 y 2, de la Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 145.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-25

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERINTENDENCIA GENERAL	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA DE ACTIVOS FIJOS	< LD	50	--	< LD	1	--
ANALISTA DE CONTABILIDAD	0,75	50	--	< LD	1	--
ANALISTA DE RR. HUMANOS	0,50	50	--	< LD	1	--
ANALISTA CONTAB. DE COSTES	< LD	50	--	< LD	1	--
TESORERO	< LD	50	--	< LD	1	--
MEDICO DE SEGUR. Y SALUD	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR DE PROGRAMACIÓN	< LD	50	--	< LD	1	--
RADIOOPERADOR	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-25 está integrado por los trabajadores de Administración y Servicios Generales de la Refinería 3.

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 146.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-26

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
OPERADOR	< LD	50	--	< LD	1	--
OPERADOR/DESPACHADOR	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-26 está integrado por los trabajadores del Área de Despacho de Combustibles limpios, conocida coloquialmente como LLENADERAS, de la Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 147.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-27

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
SUPERVISOR	< LD	50	--	< LD	1	--
AUXILIAR DE LABORATORIO	< LD	50	--	< LD	1	--
TEC. LAB. CONTROL CALIDAD	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-27 está integrado por los trabajadores del Área de Control de Calidad y Laboratorios, de la Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

Tabla 148.- Exposición a Xileno de los puestos de trabajo del GHE-28

PUESTO DE TRABAJO	ED Xileno en ppm	VLA-ED XILENO	Ind. exp-XILENO	IB-XILENO	VLB Xileno metil-hipúrico en orina	Índice IB Xileno
TEC. MANTEN. MECANICO	< LD	50	--	< LD	1	--
COORDINAD. DE MANTENTº	< LD	50	--	< LD	1	--
TEC. OPERADOR TURBINAS	< LD	50	--	< LD	1	--

El GHE-28 está integrado por trabajadores del Servicio de Mantenimiento de Refinería 3

GHE = Grupos Homogéneos de Exposición

