



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

Autor:
Director:

María García Aznar
Antonio José Martínez García



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 5 de mayo de 2020

Agradecimientos

A mi director de Trabajo Fin de Grado, D. Antonio José Martínez García, por haberme dado la oportunidad de trabajar con él, por los conocimientos que me ha enseñado y por haber estado siempre disponible para cualquier consulta a pesar de la dificultad de las circunstancias.

A mis compañeros en esta etapa, por todos los trabajos, risas, agobios y horas en la biblioteca, pero que con ellos se hacían más llevaderas. Lo mejor de esta etapa, sin duda, son los amigos que me llevo.

A mis amigas, que siempre están ahí y escuchan mis dramas de la Universidad. Gracias por haber entendido mis ausencias, por vuestros consejos, por vuestras risas y por haberme apoyado tanto en esta etapa.

A mis padres, León y Carmen, por su apoyo incondicional, por su confianza, por sus consejos y por las celebraciones de los aprobados (sobre todo las de mi madre). Ojalá algún día os pueda devolver todo lo que me habéis dado, porque lo que soy y seré os lo debo a vosotros. A mi hermano, Pablo, porque mi meta siempre ha sido intentar ser el mejor ejemplo que él pudiera seguir. Porque, aunque la termodinámica y la mecánica de fluidos aún le venían un poco grandes después de cada examen siempre el primero en preguntar era él, y, como no, por ser mi compañero de risas y de bailes en casa.

A mis abuelos, Salvador, Pepita, Cecilio y Fina, y a mis casi abuelos, Severino y Carmen, por tantas preocupaciones que han llevado durante esta época, por tantas velas que han puesto y por haber estado siempre a mi lado.

Y a Pedro, que ha sido mi gran apoyo en esta etapa, que me ha aguantado y tranquiliza siempre, pero sobre todo en las épocas de exámenes (que es difícil), que siempre tiene las palabras exactas que necesito escuchar para afrontar los problemas. Gracias por confiar siempre en mí, por ser un hombro en el que llorar, por tu infinita paciencia y por estar siempre a mi lado. No tengo ninguna duda de que esto habría sido mucho más complicado sin ti.

Índice General

Índice de figuras	9
Índice de tablas	11
CAPÍTULO 1:	13
Introducción a la Higiene Industrial.....	13
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	15
1.2. DEFINICIONES Y OBJETIVOS	17
1.3. ENFERMEDADES PROFESIONALES	19
1.4. CONTAMINANTES HIGIÉNICOS	20
1.4.1. Contaminantes físicos.....	21
1.4.2.1. Energía mecánica.....	21
1.4.2.2. Energía térmica.....	23
1.4.2.3. Energía electromagnética.....	23
1.4.2. Contaminantes químicos	24
1.4.3. Contaminantes biológicos	27
1.5. EVALUACIÓN HIGIÉNICA	28
1.6. HIGIENISTA INDUSTRIAL	32
CAPÍTULO 2:	33
Exposición del problema.....	33
2.1. OBJETIVO DEL PRESENTE TRABAJO	35
2.2. DISEÑO DE UN TANQUE INDUSTRIAL	37
2.2.1. Tipos de tanques	37
2.2.2. Partes de un tanque	39
2.2.3. Materiales para la fabricación de tanques.....	40
2.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UN TANQUE INDUSTRIAL.....	44
2.3.1. Proceso de construcción.....	44
2.3.2. Proceso de soldadura	45
2.3.3. Proceso de recubrimiento y pintura del tanque	49
2.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACERO AL CARBONO	53
2.4.1. Problemas de corrosión.....	53
2.4.2. Tratamientos superficiales	56
2.5. NORMATIVA DE APLICACIÓN.....	58
CAPÍTULO 3:	61
Evaluación de la Exposición	61
3.1. INTRODUCCIÓN.....	63

3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES	66
3.2.1. Soldadura.....	66
3.2.2. Preparación y decapado de la superficie del tanque	66
3.2.3. Tratamientos de imprimación y pintura.....	66
3.3. TOXICOLOGÍA DE LOS CONTAMINANTES	68
3.3.1. Óxido férrico	69
3.3.2. Óxido de cobre	70
3.3.3. Arena de sílice.....	71
3.3.4. Xileno	75
3.3.5. Tolueno.....	77
3.3.6. Etilbenceno	80
3.3.7. Epiclorhidrina.....	82
3.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO.....	84
3.4.1. Puesto 1: Montaje y soldadura del tanque	84
3.4.2. Puesto 2: Preparación y decapado de la superficie del tanque	85
3.4.3. Puesto 3: Tratamiento de imprimación y pintura de la superficie del tanque	85
3.5. MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRAS.....	87
3.5.1. Determinación de óxido férrico y óxido de cobre en el aire	87
3.5.2. Determinación de arena de sílice cristalina en el aire	92
3.5.3. Determinación de xileno, tolueno y etilbenceno en el aire	94
3.5.4. Determinación de epiclorhidrina.....	97
3.6. ESTRATEGIA DE MUESTREO	100
3.6.1. Número mínimo de muestras por jornada.....	100
3.6.2. Número de trabajadores a muestrear.....	101
3.6.3. Tipos de muestreo en una jornada de trabajo	101
3.7. RESULTADO DE LAS MUESTRAS POR SOLICITUD	104
3.8. CÁLCULO DE LAS CONCENTRACIONES Y EXPOSICIONES DIARIAS	107
3.8.1. Datos utilizados para la realización de los cálculos.....	108
3.8.1.1. Puesto 1: Montaje y soldadura del tanque	108
3.8.1.2. Puesto 2: Preparación y decapado de la superficie del tanque	108
3.8.1.3. Puesto 3: Tratamiento de imprimación y pintura de la superficie del tanque ..	108
3.8.2. Descripción de los cálculos a realizar	110
3.8.3. Resultados de los cálculos	111
3.9. VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.....	114
3.9.1. Parámetros que intervienen en el cálculo.....	114

3.9.1.1. Valor Límite Ambiental (VLA)	114
3.9.1.2. Índice de exposición (I)	114
3.9.1.3. Valoración de la exposición por comparación con el VLA-ED	115
3.9.1.4. Valoración de la exposición por comparación con el VLA-EC	117
3.9.1.5. Efectos contaminados de agentes químicos	117
3.9.1.6. Mediciones periódicas	118
3.9.2. Resultados de los cálculos	119
3.9.2.1. Valoración de la exposición de corta duración (VLA-EC)	119
3.9.2.2. Valoración de la exposición diaria (VLA-ED)	120
3.9.2.3. Efectos combinados en el puesto de trabajo 1	120
3.9.2.2. Efectos combinados en el puesto de trabajo 3	121
CAPÍTULO 4:	123
Conclusiones y Soluciones tras la Evaluación Higiénica	123
4.1. CONCLUSIONES TRAS LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN HIGIÉNICA	125
4.1.1. Primera medida preventiva: rotación de los trabajadores durante la jornada laboral	125
4.1.1.1. Rotación cada 4 horas de trabajo	125
4.1.1.2. Rotación cada 2 horas de trabajo	131
4.1.2. Segunda medida preventiva: utilización de equipos de protección individual	138
4.1.2.1. Protección respiratoria	139
4.1.2.2. Guantes de protección	141
4.1.2.3. Pantallas de protección facial	142
4.1.2.4. Protección corporal	143
4.1.2.5. Protección corporal específica	144
4.2. RECOMENDACIONES	147
Bibliografía	149

Índice de figuras

Figura 1. Mujer trabajando durante la Revolución Industrial	16
Figura 2. Obreros en un descanso en malas condiciones de seguridad.....	16
Figura 3. Relación entre Higiene Industrial y Enfermedad Profesional	18
Figura 4. Esquema de la clasificación de los contaminantes higiénicos	20
Figura 5. Clasificación de los contaminantes químicos	26
Figura 6. Metodología de actuación en Higiene Industrial	31
Figura 7. Existencias mínimas de seguridad de hidrocarburos, CORES.....	35
Figura 8. Tanque cilíndrico horizontal	37
Figura 9. Tanque cilíndrico vertical de techo fijo	37
Figura 10. Tanque cilíndrico vertical de techo flotante.....	38
Figura 11. Tanque cilíndrico vertical sin techo	38
Figura 12. Partes de un tanque industrial	39
Figura 13. Tanque de hormigón	40
Figura 14. Tanque de polietileno.....	41
Figura 15. Tanque de fibra de vidrio	42
Figura 16. Tanque de acero inoxidable	42
Figura 17. Tanque de acero al carbono	43
Figura 18. Proceso de soldadura	44
Figura 19. Proceso de chorreo de arena	45
Figura 20. Soldadura por arco	47
Figura 21. Ejemplos de uniones soldadas (del código API-ASME)	49
Figura 22. Proceso de pintura.....	52
Figura 23. Tanque industrial afectado por la corrosión	53
Figura 24. Patrones fotográficos de grado de oxidación y preparación de la superficie, Norma UNE-EN ISO 8501-1.....	57
Figura 25. Óxido férrico	69
Figura 26. Óxido de cobre.....	70
Figura 27. Arena de sílice cristalina	71
Figura 28. Vías de penetración arena de sílice	72
Figura 29. Isómeros del xileno.....	75
Figura 30. Molécula de tolueno.....	77
Figura 31. Molécula de etilbenceno	80
Figura 32. Molécula de epiclohidrina.....	82
Figura 33. Trabajador del puesto 1: Montaje y soldadura del tanque.....	84
Figura 34. Trabajador del puesto 2: Preparación y decapado de la superficie del tanque	85
Figura 35. Trabajador de puesto 3: Tratamiento de imprimación y pintura de la superficie del tanque.....	86
Figura 36. Bomba de muestreo	88
Figura 37. Medidor de caudal de burbuja	89
Figura 38. Muestreador PGP-FSP 2, INSST	90
Figura 39. Filtros de retención.....	90
Figura 40. Sistema de toma de muestras	90
Figura 41. Ciclón de plástico Casella, INSST.....	93
Figura 42. Tubos de muestreo.....	95

Figura 43. Tipos de muestreo en una jornada de trabajo, Guía Técnica del Real Decreto 374/2001	102
Figura 44. Evaluación de las exposiciones a través de la medición ambiental. Esquema de actuación según UNE-EN 689	116
Figura 45. Actuaciones para seleccionar EPI, Guía Técnica del Real Decreto 773/1997. INSST .	138
Figura 46. Mascarilla para partículas de soldadura FFP2	139
Figura 47. Filtro 755 A1	140
Figura 48. Tipos, clases, colores y usos según filtros, INSST	140
Figura 49. Características del filtro 755 A1, Climax	140
Figura 50. Guantes de protección de soldadura	141
Figura 51. Guantes de protección para chorreo	141
Figura 52. Guantes de protección química.....	142
Figura 53. Pantalla facial de protección para soldadura	142
Figura 54. Pantalla de protección para chorreo de arena.....	143
Figura 55. Gafas de protección ocular.....	143
Figura 56. Mono de trabajo	143
Figura 57. Botas de seguridad	144
Figura 58. Casco de seguridad	144
Figura 59. Protección corporal de soldadura	145
Figura 60. Protección corporal de chorreo de arena	145
Figura 61. Buzo de pintura	146

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los agentes biológicos según su peligrosidad	27
Tabla 2. Agentes ototóxicos con posible presencia en entornos industriales, INNST. Guía del Ruido.....	78
Tabla 3. Intervalos de aplicación de método MTA/MA-025/A16, INSST	87
Tabla 4. Muestreadores recogidos en el Informe Técnico CEN/TR 15230.....	89
Tabla 5. Número mínimo de mediciones por jornada, Norma UNE-EN 689. Anexo A	100
Tabla 6. Resultado muestras por solicitud óxido férrico	104
Tabla 7. Resultado muestras por solicitud óxido de cobre	104
Tabla 8. Resultado muestras por solicitud arena de sílice cristalina.....	105
Tabla 9. Resultado muestras por solicitud xileno.....	105
Tabla 10. Resultado muestras por solicitud tolueno.....	105
Tabla 11. Resultado muestras por solicitud etilbenceno	106
Tabla 12. Resultado muestras por solicitud epiclorhidrina.....	106
Tabla 13. Resultados de los cálculos de óxido férrico	111
Tabla 14. Resultados de los cálculos de óxido de cobre	112
Tabla 15. Resultados de los cálculos de arena de sílice cristalina.....	112
Tabla 16. Resultados de los cálculos de xileno.....	112
Tabla 17. Resultados de los cálculos de tolueno	113
Tabla 18. Resultados de los cálculos de etilbenceno	113
Tabla 19. Resultados de los cálculos de epiclorhidrina	113
Tabla 20. Resultados obtenidos de la valoración de exposición de corta duración	119
Tabla 21. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria.....	120
Tabla 22. Resultado muestras por solicitud arena de sílice cristalina	126
Tabla 23. Resultado de los cálculos de arena de sílice cristalina. Trabajador 1.....	126
Tabla 24. Resultado de los cálculos de arena de sílice cristalina. Trabajador 2.....	126
Tabla 25. Resultado muestras por solicitud xileno.....	127
Tabla 26. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 1.....	127
Tabla 27. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 2.....	127
Tabla 28. Resultados muestras por solicitud tolueno	127
Tabla 29. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 1.....	128
Tabla 30. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 2.....	128
Tabla 31. Resultado muestras por solicitud etilbenceno	128
Tabla 32. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 1	128
Tabla 33. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 2	129
Tabla 34. Resultados muestras por solicitud epiclorhidrina	129
Tabla 35. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 1	129
Tabla 36. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 2	129
Tabla 37. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 1	130
Tabla 38. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 2	130
Tabla 39. Resultados muestras por solicitud xileno	132
Tabla 40. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 1.....	132
Tabla 41. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 2.....	132
Tabla 42. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 3.....	132
Tabla 43. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 4.....	132
Tabla 44. Resultado muestras por solicitud tolueno.....	133

Tabla 45. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 1.....	133
Tabla 46. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 2.....	133
Tabla 47. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 3.....	133
Tabla 48. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 4.....	133
Tabla 49. Resultado de las muestras por solicitud de etilbenceno.....	134
Tabla 50. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 1.....	134
Tabla 51. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 2.....	134
Tabla 52. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 3.....	134
Tabla 53. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 4.....	134
Tabla 54. Resultado de las muestras por solicitud de epiclorhidrina.....	135
Tabla 55. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 1.....	135
Tabla 56. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 2.....	135
Tabla 57. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 3.....	135
Tabla 58. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 4.....	135
Tabla 59. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 1.....	136
Tabla 60. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 2.....	136
Tabla 61. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 3.....	136
Tabla 62. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 4.....	137

CAPÍTULO 1:

Introducción a la Higiene Industrial

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Desde que apareció el trabajo para el uso del hombre como fuente para obtener los recursos necesarios existen los riesgos laborales.

Los primeros datos que tenemos sobre enfermedades laborales datan del año 400 A.C. y fueron escritos por Hipócrates (conocido popularmente como el padre de la medicina). Realizó un tratado que hablaba sobre las enfermedades de los mineros, a los que recomendaba tomar baños higiénicos para evitar la saturación de plomo.

Aristóteles también estudió las enfermedades que se producían por intoxicaciones de plomo, las deformaciones que se producían por ciertas actividades y planteó la necesidad de prevenirlas.

Unos 500 años después, Plinio y Galeno, dos médicos romanos, describieron la toxicidad por mercurio, y, además, hicieron referencia a los peligros que ocasionaba en los esclavos el manejo de azufre y de zinc. Plinio desarrolló el primer equipo de protección respiratorio. Este equipo estaba fabricado con vejigas de animales y se colocaba sobre la boca e impedía la inhalación de polvos. Mientras que Galeno estudió las enfermedades laborales de los mineros, curtidores y gladiadores.

En el año 1400, Ellenberger agrupó los estudios de Hipócrates, Aristóteles, Plinio y Galeno y le dio nombre a las enfermedades que producían los metales pesados. Más tarde, en 1473, en Alemania, Ulrich Ellenbaf publicó el primer documento impreso en el cual se habla de la seguridad y en el que señala algunas enfermedades profesionales, y, en 1492, George Agrícola publica "De re metallica" que trata sobre las enfermedades en la minería (infecciones en los ojos, pulmones y articulaciones).

En 1665, Walter Pope redacta "Philosophical Transactions" en el que se describen las enfermedades producidas por intoxicación de mercurio en los mineros. Más adelante, en 1700 Bernardino Ramazzini, considerado el Padre de la medicina industrial, introdujo el término de "Higiene" y escribió el primer libro de la rama de la medicina ocupacional en el que se describen 54 enfermedades profesionales que afectan a los trabajadores.

Posteriormente, en el siglo XIX se produjo la Revolución Industrial. En la que eran muy escasas las condiciones de salud y seguridad, además, dos tercios de los obreros eran mujeres y niños (como podemos ver en la Figura 1 y Figura 2), aumentaron los accidentes y enfermedades producidas en el puesto de trabajo. A raíz de estos accidentes se iniciaron protestas que dieron como resultado la creación del término Seguridad Industrial y, con ello, las primeras medidas para prevenir accidentes y para mejorar la salud de los trabajadores.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales



Figura 1. Mujer trabajando durante la Revolución Industrial



Figura 2. Obreros en un descanso en malas condiciones de seguridad

En el año 1890 aparece la primera ley que protege a los trabajadores y a la sociedad en relación a los riesgos laborales, es conocida como Ley sobre accidentes de trabajo o Ley Dato. Esta Ley se basaba en indemnizar a los trabajadores, que habían fallecido o sufrido un accidente laboral, o a sus familias.

En 1919 se creó la Organización Internacional del Trabajo. Más adelante, en 1987, también se creó la Asociación Internacional para la Higiene Industrial (AIHI), un Organismo cuyo objetivo es fomentar y aumentar la Higiene Industrial por el mundo.

En la actualidad, en España, hay mucha legislación sobre este tema. Por ejemplo, en la Constitución Española hay varios artículos que tratan sobre ello. Uno de ellos es el artículo 40.2 en el que se estipula que los poderes públicos vigilarán la seguridad e higiene en el trabajo y otro de ellos es el artículo 43 en el que se reconoce el derecho a la protección de la salud.

Además, hay varios Reales Decretos que están relacionados con la Higiene Industrial, como el Real Decreto 39/1997 en el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, o, el Real Decreto 374/2001 que trata sobre prevenir la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos.

La Higiene Industrial es un ámbito de gran importancia para las industrias, trabajadores y políticos. Los gobiernos, a través de varios organismos de control, hacen inspecciones periódicas a empresas para controlar su Higiene y Seguridad Industrial.

1.2. DEFINICIONES Y OBJETIVOS

Según el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, *“la Higiene Industrial es la ciencia de la anticipación, la identificación, la evaluación y el control de los riesgos que se originan en el lugar de trabajo o en relación con él y que pueden poner en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores, teniendo también en cuenta su posible repercusión en las comunidades vecinas y en el medio ambiente en general”*.

Hay varias definiciones de Higiene Industrial, una de ellas la define como una rama de Prevención de Riesgos Laborales (PRL) que previene que aparezcan enfermedades en el puesto de trabajo, reconociendo, evaluando y modificando los agentes ambientales o tensiones provocadas en el mismo. Otra de estas definiciones es que, se puede definir como una técnica no médica para prevenir enfermedades profesionales, es decir, se trata de una acción de tipo preventivo y de carácter técnico.

Todas las definiciones que podemos encontrar sobre la Higiene Industrial tienen el mismo concepto y se basan en proteger y fomentar la salud y el bienestar de los trabajadores, como se puede observar en la Figura 3, además de preservar el medio ambiente, tomando medidas preventivas en el puesto de trabajo.

Como ya hemos mencionado antes, la Higiene Industrial es una especialidad técnica de Prevención de Riesgos Laborales que está estrechamente ligada a la especialidad preventiva de la Medicina del Trabajo, que se basa en estudiar los agentes que pueden causar daño a largo plazo en la salud de los trabajadores. Por ello, la Higiene Industrial proporciona gran información a los médicos del trabajo, ya que la especialidad de Higiene Industrial se dedica a identificar y valorar el problema y la especialidad de Medicina en el Trabajo comprueba el efecto de ese problema sobre la salud de los trabajadores.

A pesar de que aún no ha sido reconocida de forma universal como profesión, algunos países han creado un marco legislativo para consolidarla como una figura profesional. En España podemos encontrar en los anexos IV-VI del Real Decreto 39/1997 las capacidades profesionales que deben tener los trabajadores para realizar funciones según varios niveles (básico, intermedio o superior). Además, desde el año 2009 se ha implementado el Master para la especialización en Prevención de Riesgos Laborales.

Podemos definir que, de acuerdo con un comité de expertos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los objetivos de la Higiene Industrial son:

- Determinar y combatir los factores (contaminantes físicos, químicos, mecánicos, biológicos, ruido, vibraciones, ambientes térmicos) que sean nocivos para los trabajadores en su lugar de trabajo.
- Estudio del lugar de trabajo en función de la persona que va a desarrollar el trabajo. Es decir, que un puesto de trabajo esté adaptado a las necesidades, limitaciones y aptitudes del operario que va a estar en él.
- Adoptar medidas para proteger a los trabajadores que sean especialmente sensibles a las condiciones perjudiciales que se encuentran en sus puestos de trabajo.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

- Descubrir, estudiar y corregir las condiciones de trabajo que puedan ser perjudiciales para la salud de los trabajadores.
- Formar a todo el personal, en función de sus responsabilidades, para que cumplan las obligaciones para aumentar la protección y la salud.
- Aplicar en las empresas programas de acción sanitaria que incluyan todos los aspectos relacionados con la salud.

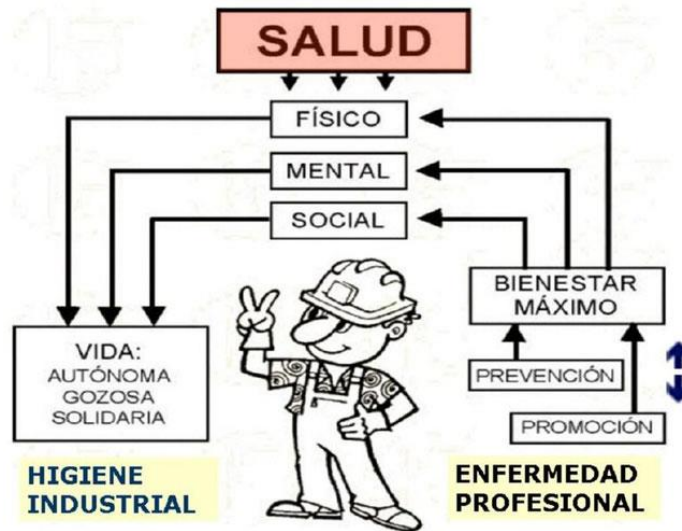


Figura 3. Relación entre Higiene Industrial y Enfermedad Profesional

1.3. ENFERMEDADES PROFESIONALES

Desde un punto de vista legal, en el Real Decreto 1299/2006, del 10 de noviembre, se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social. Desde el punto de vista higiénico entendemos como enfermedad profesional: *“Toda alteración o pérdida de salud que tenga su origen en las condiciones ambientales a que el trabajador se halla expuesto en su labor diaria”*.

La Organización Mundial de la Salud define el concepto de salud como *“el estado de bienestar físico, psíquico y social”*, entendiendo estos términos como:

- Bienestar físico: todos los órganos del cuerpo funcionan adecuadamente.
- Bienestar psíquico: equilibrio emocional e intelectual.
- Bienestar social: el bienestar en las relaciones del individuo.

No se debe confundir un accidente de trabajo con una enfermedad profesional, en el Real Decreto Legislativo 8/2015, del 30 de octubre, en el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social, encontramos en los artículos 156 y 157 las definiciones de cada uno de ellos. Un accidente de trabajo es definido como: *“Toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecute por cuenta ajena”*, mientras que una enfermedad profesional está definida como: *“La contraída a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena en las actividades que se especifiquen en el cuadro que se apruebe por las disposiciones de aplicación y desarrollo de esta ley, y que esté provocada por la acción de los elementos o sustancias que en dicho cuadro se indiquen para cada enfermedad profesional”*.

En esta definición podemos encontrar el término *“cuadro de enfermedades profesionales”* que se refiere al listado de enfermedades profesionales. Este listado se encuentra definido en el Real Decreto 1299/2006, donde podemos diferenciar los siguientes grupos de enfermedades:

- **Grupo 1.** Enfermedades profesionales causadas por agentes químicos.
- **Grupo 2.** Enfermedades profesionales causadas por agentes físicos.
- **Grupo 3.** Enfermedades profesionales causadas por agentes biológicos.
- **Grupo 4.** Enfermedades profesionales causadas por inhalación de agentes y sustancias no comprendidas en otros apartados.
- **Grupo 5.** Enfermedades profesionales de la piel causadas por sustancias y agentes no comprendidos en alguno de los otros apartados.
- **Grupo 6.** Enfermedades profesionales causadas por agentes carcinogénicos.

1.4. CONTAMINANTES HIGIÉNICOS

Los contaminantes higiénicos son definidos como los diferentes tipos de agentes que causan las enfermedades profesionales. Podemos encontrarlos en los diferentes medios de trabajo. Aunque no en todos los puestos de trabajo existe riesgo higiénico, ya que sólo existirá riesgo en aquellos dónde se halle algún tipo de contaminante.

Según el Real Decreto 486/1997, del 14 de abril, en el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, *“la exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deberá suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores”*. Por lo que, hay que tomar medidas preventivas y de control ante cualquier contaminante que se encuentre en un puesto de trabajo.

Los contaminantes higiénicos que podemos encontrar en los ambientes de trabajo, y estudiados por la Higiene Industrial se pueden diferenciar en tres grupos (como podemos observar en la Figura 4):

- Agentes físicos.
- Agentes químicos.
- Agentes biológicos.

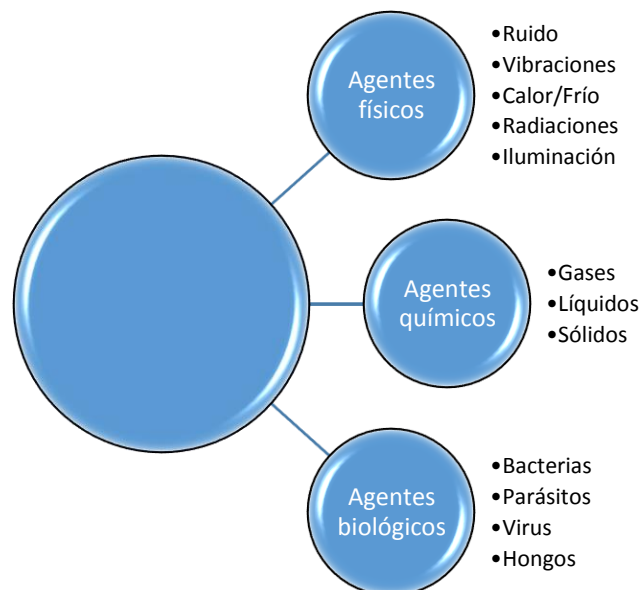


Figura 4. Esquema de la clasificación de los contaminantes higiénicos

A continuación, veremos las características de cada uno de estos contaminantes. Si bien es cierto que existen diferencias entre los tres grupos y van a depender de multitud de variables. También podemos afirmar que las alteraciones y efectos que éstos pueden ocasionar en la salud de un trabajador presentan unos factores generales básicos. Estos son comunes a todos los contaminantes higiénicos y condicionan el efecto que dicho contaminante produce en el trabajador.

Dichos factores son:

- La naturaleza y las propiedades de los contaminantes.
- La dosis y concentración de los contaminantes.
- El estado fisiológico del individuo.
- La predisposición de este.
- Los efectos combinados que pueden causar varios contaminantes al mismo tiempo.

1.4.1. Contaminantes físicos

Se pueden entender como diferentes formas de energía que están presentes en el ambiente de trabajo producidas por algunos equipos de trabajo y que pueden ser perjudiciales para los trabajadores que los manipulan o que están a su alrededor. Estas energías pueden manifestarse de diferentes formas:

- Energía Mecánica: ruido y vibraciones.
- Energía Térmica: calor y frío.
- Energía Electromagnética: radiaciones ionizantes y no ionizantes.

El cálculo de la exposición a estos contaminantes vendrá dado por la siguiente expresión:

$$\text{Exposición} = \text{Cantidad de Energía} \times \text{Tiempo de Exposición}$$

1.4.2.1. Energía mecánica

Es una forma de energía que precisa de un medio material para poder desplazarse. Los más comunes son el ruido y las vibraciones.

- Ruido
Es un fenómeno físico que provoca una sensación en el sentido de la audición. Es una sensación molesta, desagradable y no deseada. El ruido se difunde en forma de onda a una velocidad que va cambiando dependiendo de la densidad y elasticidad del medio y que el oído humano es capaz de notar. La intensidad de una onda sonora se va reduciendo a medida que se va distanciando de su fuente de origen hasta que esta intensidad es inapreciable.

El parámetro para la medición del ruido es la frecuencia, que es el número de variaciones de presión que se van repitiendo por segundo, se mide en Hertzios (Hz). Los seres humanos tenemos la capacidad de distinguir frecuencias entre 20 y 20000 Hz, dependiendo de si la frecuencia es baja o alta, percibiremos un sonido grave o agudo, respectivamente.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

Los efectos del ruido sobre la salud pueden ser:

- Disminución temporal de la capacidad auditiva, que se recupera cuando cesa el ruido.
- Sordera o hipoacusia profesional que se produce después de una continua exposición a ambientes ruidosos en el lugar de trabajo.
- Aumento de la frecuencia respiratoria, hipertensión, efectos digestivos...

El procedimiento para evaluar la exposición al ruido en un puesto de trabajo viene establecido en el Real Decreto 1316/1989, del 27 de octubre, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición a ruido en el lugar de trabajo.

Además, el Real Decreto 286/2006, del 10 de marzo sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido fija dos niveles de actuación, por un lado, un valor límite que no puede ser superado en ninguna circunstancia con el protector auditivo colocado, y, por otro lado, unos valores de exposición que obligan al empresario a tomar acciones para proteger al trabajador y para controlar la exposición.

- Vibraciones

Son oscilaciones de una partícula alrededor de un punto en cualquier medio físico. Este punto suele ser una estructura que transfiere la vibración a alguna parte del cuerpo.

Las vibraciones se pueden clasificar en función de la frecuencia que tengan:

- *Frecuencias muy bajas*: provocan mareos, vómitos y alteraciones del sistema nervioso central. Son producidas por trenes, barcos o aviones.
- *Frecuencias bajas*: ocasionan patologías lumbares, mareos y alteraciones de la visión. Son provocadas por carretillas, tractores y maquinaria agrícola.
- *Frecuencias altas*: producen artrosis de codo, sensibilidad en la mano y gastropatías. Se producen por el uso de pulidoras, lijadoras, martillos picadores, etc.

Otra forma de clasificar las vibraciones es según el modo de contacto que existe entre el objeto que vibra y el cuerpo:

- *Vibraciones transmitidas a todo el cuerpo*: la vibración actúa a través de las superficies en las que se apoya el cuerpo. En el caso de estar sentado estas superficies son: espalda y glúteos, si está tumbado son: espalda, cabeza y piernas, mientras que si está de pie son los mismos pies. Para valorar las vibraciones que se emiten al cuerpo entero se utilizan los criterios que establece la norma UNE-ISO 2631 sobre vibraciones y choques mecánicos.
- *Vibraciones mano-brazo*: cuando el punto de contacto entre la vibración y el cuerpo es la mano. Las principales fuentes de vibración mano-brazo son las

herramientas manuales. Para valorar las vibraciones se usan los criterios de la ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) que se basa en la norma UNE-EN ISO 5349, sobre vibraciones mecánicas.

Además, en el artículo 5 del Real Decreto 286/2006, se fijan dos niveles de actuación:

- Un valor límite que no puede ser superado en ninguna circunstancia, con el protector auditivo colocado.
- Unos valores de exposición que obligan al empresario a llevar un control de esta y a tomar acciones para proteger al trabajador.

1.4.2.2. *Energía térmica*

El cuerpo humano mantiene su temperatura interna de forma constante por medio de elementos reguladores, dependiendo de la circunstancia ambiental en la que nos encontremos se le transmitirá al organismo calor o frío.

Las formas en las que se puede intercambiar calor entre el organismo y el ambiente dependerán de las condiciones del puesto de trabajo, que pueden ser:

- Temperatura del aire.
- Temperatura húmeda.
- Velocidad del aire.
- Ropa de trabajo del operario.
- Consumo de energía del operario.

Tenemos que tener en cuenta el calor y la actividad física que lleva a cabo el trabajador para poder determinar la agresividad térmica del medio. Si nos encontramos en un puesto de trabajo que requiere mucha actividad física y que, además esta actividad se realiza a altas temperaturas, nos encontramos en lo que se denomina estrés térmico. Por el contrario, si el tipo de trabajo favorece la exposición a bajas temperaturas nos encontramos en estrés por frío.

Las condiciones ambientales de los lugares de trabajo se encuentran en el Real Decreto 486/1997, en el que se establecen las disposiciones mínimas de salud y seguridad en el puesto de trabajo.

1.4.2.3. *Energía electromagnética*

Es la transmisión de energía a través de ondas electromagnéticas, éstas no necesitan un medio material para desplazarse. Se diferencian unas de otras por su longitud de onda y por su frecuencia. Hay dos tipos de radiaciones electromagnéticas:

- Radiaciones ionizantes: son aquellas en las que al interaccionar con la materia producen iones, es decir, cuando inciden sobre el organismo causan alteraciones en el organismo debido a la ionización de sus células. A partir de un nivel de dosis recibida “dosis umbral”

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

el efecto que producen las radiaciones sólo tiene relación causa-efecto. Mientras que, si nos encontramos por debajo de ese nivel, la probabilidad de que se produzcan efectos a largo plazo es mayor. Estas radiaciones pueden ser:

- *Ondas electromagnéticas*: por ejemplo, Rayos Gamma o Rayos X.
- *Partículas*: por ejemplo, radioactividad, partículas alfa, beta o neutrones.
- **Radiaciones no ionizantes**: son aquellas que no producen iones cuando está en contacto con los átomos de un material. Dependiendo de la energía que tengan producirán diferentes efectos sobre el organismo:
 - *Radiación ultravioleta*: provocada por el sol, lámparas de vapor de mercurio y soldadura por arco, entre otras. Puede tener efectos en la piel como eritema, quemaduras, o cáncer, y además puede producir conjuntivitis en los ojos.
 - *Radiación infrarroja*: provocada por el sol, hornos, lámparas incandescentes y soldadura por arco. Algunos de sus efectos son: golpes de calor y efectos retardados sobre el cristalino.
 - *Radio-frecuencia*: producida por hornos microondas, soldadura por microondas y emisiones de radio o televisión. Los efectos que tiene sobre el ser humano son: fenómenos bioeléctricos o alteraciones en la transmisión genética.
 - *Láser*: es un dispositivo que tiene la capacidad de emitir luz visible, infrarroja o ultravioleta. Es la causa de muchos problemas en la piel y en los ojos.

1.4.2. Contaminantes químicos

Dentro de los tres grandes grupos de contaminantes mencionados anteriormente, los contaminantes químicos son de los más importantes, ya que hay un gran número de compuestos que se usan en los procesos industriales.

Se define como contaminante químico, cualquier sustancia orgánica e inorgánica, de origen natural o sintético que, durante su proceso de fabricación, uso, transporte o almacenamiento, puede integrarse al aire en forma de polvos, humos, gases o vapores. Estas sustancias son capaces de provocar efectos irritantes, corrosivos, asfixiantes o tóxicos y, en caso de ser absorbida por el organismo, provocar lesiones en la salud de las personas que están expuestas a ellos.

Vías de entrada de los contaminantes.

Para evitar que un contaminante químico acceda al organismo, este tiene determinadas defensas para impedirlo. Estas defensas están formadas por unas barreras a las que se puede acceder por diferentes vías:

- **Vía respiratoria.** También llamada vía pulmonar. A través del sistema respiratorio entran la mayor cantidad de sustancias tóxicas al organismo procedentes del medio de trabajo como humos, gases, polvos, aerosoles... Estas sustancias que se encuentran suspendidas en el aire pueden ser en función de su tamaño, inhaladas, retenidas en la nariz, tráquea,

bronquios, en los alveolos o pasar a la sangre. Además, también será importante si son sustancias sólidas o gaseosas, ya que, si es un gas, pueden llegar a alcanzar el alveolo, mientras que, si se tratara de un sólido, dependerá del tamaño de las partículas, si pueden llegar a pasar a la sangre ocasionando problemas mucho más graves para la salud.

- **Vía dérmica.** También llamada vía cutánea. Es la segunda vía más importante de entrada de sustancias tóxicas, aunque no todas las sustancias son capaces de penetrar a través de esta vía. Las sustancias que son capaces de atravesar la dermis, se integran en la sangre y después son repartidas por todo el cuerpo por el sistema sanguíneo. Los principales factores en el grado de penetración de un contaminante por vía cutánea son las propiedades del mismo y el estado de la piel del trabajador.
- **Vía digestiva.** Es la vía de penetración por medio de la boca, el esófago, el estómago y los intestinos. No obstante, en el ámbito de la Higiene Industrial no es la principal vía de contaminación, salvo en trabajadores que posean malos hábitos como fumar, beber y comer en el puesto de trabajo.
- **Vía parenteral.** Es la vía en la que el contaminante penetra directamente en el organismo debido a una discontinuidad en la piel, como puede ser una herida o una punción con algún objeto que esté contaminado. Por lo general, estos contagios se dan por accidente en la industria.

Dependiendo de la forma molecular que tengan los contaminantes químicos, podemos diferenciarlos en tres grupos (como podemos observar en la Figura 5):

- **Gases:** sustancias que son capaces de variar de estado líquido a sólido si aumenta la presión y disminuye la temperatura.
- **Vapores:** se consideran gases si son sustancias en los que la concentración depende de la temperatura y de la presión de saturación de las mismas.
- **Aerosoles:** dispersan partículas sólidas o líquidas mediante un medio gaseoso. Podemos encontrar dos tipos:
 - **Aerosoles líquidos:** están formados por gotas de pequeño tamaño que están suspendidas en el aire. Los principales aerosoles líquidos son las nieblas y las brumas.
 - Nieblas: son suspensiones en el aire de pequeñas gotas de líquido que se generan por condensación o por la desintegración de un líquido.
 - Brumas: son suspensiones en el aire de pequeñas gotas líquidas que se pueden ver a simple vista.
 - **Aerosoles sólidos:** se encuentran en el aire en forma de partículas de pequeño tamaño. Diferenciamos los aerosoles sólidos en tres clases:

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

- Humos: son partículas sólidas que se vaporizan y que condensan en pequeñas partículas. Se producen en procesos de combustión incompleta.
- Polvos: está formado por partículas de origen inorgánico y orgánico que se forman en procesos mecánicos.
- Fibras: son partículas que están suspendidas en el aire cuyo tamaño es menor a un tercio de su longitud.

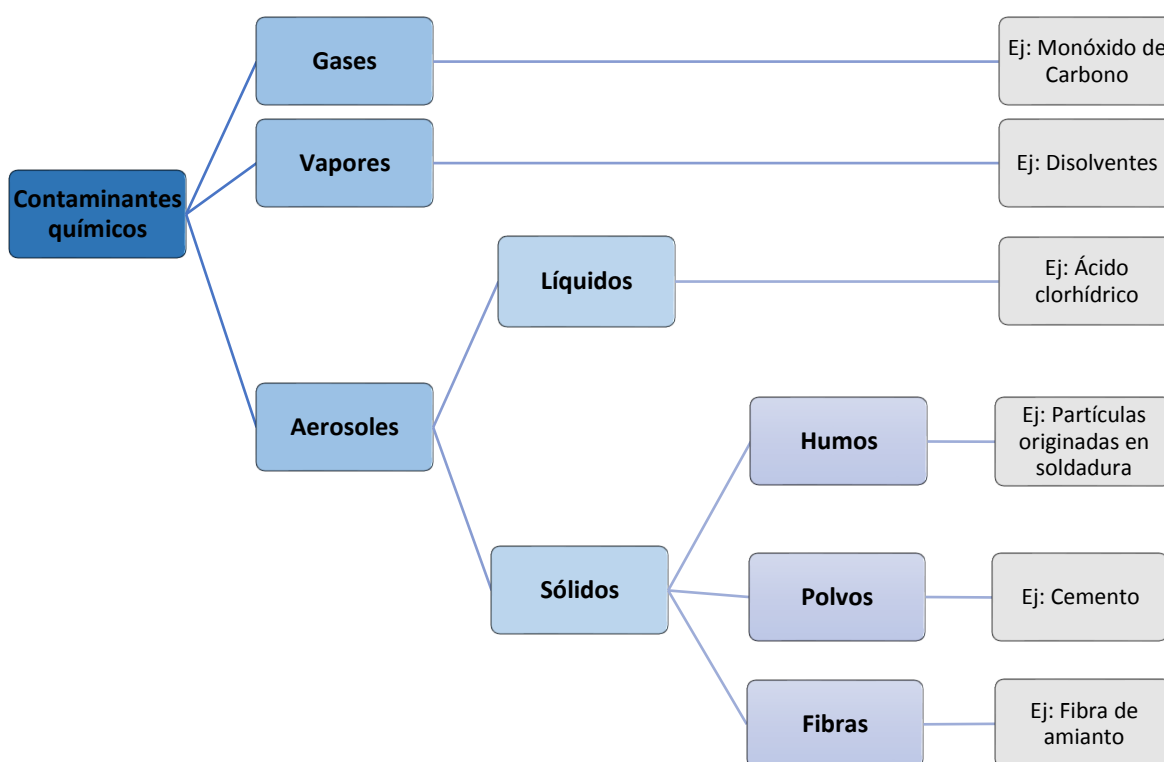


Figura 5. Clasificación de los contaminantes químicos

1.4.3. Contaminantes biológicos

Los agentes biológicos son microorganismos de múltiples naturalezas que se pueden encontrar en algunos puestos de trabajo y que son capaces de producir efectos negativos, como infecciones, alergias o toxicidades, en la salud de los que trabajan en dicho puesto.

Existen varios tipos de agentes biológicos:

- Virus: hepatitis, rabia...
- Bacterias: tuberculosis, tétanos...
- Protozoos: amebiasis, toxoplasmosis...
- Hongos: candidiasis...
- Gusanos: helmintiasis, anquilostomiasis...

Estos microorganismos los podemos encontrar en los puestos de trabajo donde se manipulan agentes biológicos o en los que emplean materiales que los contienen. Por ejemplo, en centros de producción de alimentos, laboratorios, trabajos sanitarios o en el tratamiento de residuos y depuradoras.

Podemos clasificar los agentes biológicos en cuatro grupos basándonos en su peligrosidad (Tabla 1):

- Grupo 1: agente biológico que es muy poco probable que pueda causar una enfermedad al ser humano.
- Grupo 2: agente biológico que puede causar una enfermedad en el ser humano, pero no siendo muy probable que se propague a la sociedad. Ejemplo: virus de la gripe.
- Grupo 3: agente biológico patógeno que es capaz de causar una enfermedad grave en el ser humano y propagarse a la sociedad, habiendo un tratamiento eficaz. Ejemplo: VIH
- Grupo 4: agente biológico patógeno que causa una enfermedad grave en el ser humano, es capaz de propagarse a la sociedad, pero no hay tratamiento eficaz. Ejemplo: Virus del Ébola.

Tabla 1. Clasificación de los agentes biológicos según su peligrosidad

CARACTERÍSTICAS DEL AGENTE	GRUPO DE RIESGO			
	1	2	3	4
Es fácil que ocasione enfermedad	NO	SI	SI	SI
La enfermedad se propaga fácilmente		NO	SI	SI
No existe remedio eficaz			NO	SI

En el Real Decreto 664/1997, del 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, se estipulan las medidas mínimas que deben admitirse para proteger a los trabajadores adecuadamente. Entre estas normas se encuentran las que garantizan a los trabajadores de una adecuada protección contra los riesgos biológicos a los que se encuentran expuestos en su lugar de trabajo.

1.5. EVALUACIÓN HIGIÉNICA

La evaluación higiénica es un procedimiento que nos permite realizar una evaluación para determinar la peligrosidad que existe en un puesto de trabajo, para así, poder plantear nuevas medidas de control. Algunos de los factores que van a influir sobre el análisis del puesto de trabajo son:

- Sustancias que se manipulan en dicho puesto.
- Posibles vías de entrada de las sustancias en el organismo del trabajador.
- Tiempo diario al que está expuesto el operario.
- Presencia simultánea de varias sustancias.
- Condiciones de ventilación.
- Medidas higiénicas personales.
- Ropa de trabajo y utilización de elementos de protección individual.

Como podemos ver, la mayor o menor toxicidad que hay en un puesto de trabajo depende de diferentes variables y no solamente de la toxicidad de las sustancias que se usan.

Para poder llevar a cabo la evaluación higiénica hay varias metodologías de actuación, conocidas como “*Evaluación de la exposición laboral*”, para así poder evitar que aparezcan enfermedades profesionales.

El orden del modelo de actuación de Higiene Industrial es el siguiente (Figura 6):

1. **Identificación de los agentes peligrosos o contaminantes que pueden encontrarse en un puesto de trabajo**

Consiste en realizar un listado para enumerar todos los contaminantes que están implicados en el puesto de trabajo. Esta lista debe contener: materias primas, impurezas, productos intermedios, subproductos y productos finales.

Una vez que se tienen relacionados los contaminantes con la probabilidad de exposición a ellos hay que describir el número de personas a las que les afecta y el momento en el que se produce dicha exposición.

A continuación, se establecen los Valores Límite de Exposición Ambiental (VLA). Estos son los valores que se toman como referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire. Representan las situaciones en las que se piensa que los trabajadores pueden estar expuestos a agentes contaminantes durante su vida laboral sin sufrir ningún efecto negativo para su salud.

2. **Metodología de medición**

Esta segunda etapa, consiste en tomar una muestra para averiguar la concentración de contaminante que hay en el puesto de trabajo.

Para realizar esta muestra hay que elegir en primer lugar el equipo de medición, ya que puede ser de dos tipos:

- Equipos de lectura directa: el resultado se da “in situ”. Por ejemplo: conímetro, tubos colorimétricos o muestreadores específicos de precisión.
- Sistemas de captación de contaminantes: en los que el análisis hay que realizarlo en el laboratorio. Por ejemplo: tubos adsorbentes o sistemas de filtración.

A continuación, se diseña una estrategia de muestreo que nos permita definir los siguientes factores:

- Zonas de medición.
- Tomas ambientales (realizadas al ambiente en una zona normal de trabajo) o personales (medir la presencia del contaminante en el entorno del trabajador en cada momento).
- Duración de la medición.
- Número de mediciones necesarias.
- Número de personas que ocupan el mismo puesto de trabajo a las que se les vaya a efectuar el muestreo, para así poder realizar una media representativa.
- Periodicidad de la medición.

3. Evaluación de la exposición a los contaminantes

Se comparan los resultados de las mediciones con los valores de referencia, determinando si los trabajadores se encuentran en una situación de riesgo o no.

Si el resultado de la valoración es favorable, los trabajadores se encuentran en una situación segura. No se debe pensar que el puesto de trabajo se encontrará siempre en las mismas condiciones, puesto que las empresas son organismos dinámicos y las situaciones pueden variar, por ello se debe realizar un control periódico, evaluando de nuevo el riesgo y así poder verificar que las condiciones del lugar de trabajo siguen siendo seguras. Del mismo modo, siempre que se modifique el proceso o se añada alguna sustancia se deberá realizar un control.

Por el contrario, si el resultado de la valoración es desfavorable, habrá que realizar una modificación del puesto de trabajo adoptando medidas que reduzcan el riesgo hasta que la situación sea segura. Una vez tomadas esas medidas se volverá a hacer la fase de medición para comprobar que el puesto de trabajo no se encuentra en una situación de riesgo.

4. Medidas de control de los contaminantes

Como ya se ha mencionado antes, cuando el resultado de la valoración no es favorable hay que adoptar medidas para reducir el riesgo. Para ello se puede actuar sobre tres puntos:

- Sobre el foco generador de contaminante
-*Sustitución*: consistirá en cambiar el agente contaminante por otro que lo sea menos. Otro de los cambios puede ser modificar las condiciones físicas de los materiales.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

-*Modificación del proceso*: modificar alguna de las partes del proceso para así reducir el riesgo.

-*Encerramiento*: colocar una barrera física entre el contaminante y el trabajador.

-*Extracción localizada*: estos sistemas son capaces de captar los contaminantes antes que estos puedan llegar al ambiente de trabajo, puesto que los absorben en su lugar de origen.

- Sobre el medio en el que se difunde el contaminante

-*Orden y limpieza*: es una medida preventiva básica, puesto que mantener el puesto de trabajo limpio y ordenado beneficiará al propio trabajador, porque si está limpio se reducirá, por ejemplo, el polvo que es un contaminante.

-*Ventilación general*: se basa en introducir o extraer aire en las naves de trabajo para así poder mantener la concentración de los contaminantes en los niveles adecuados.

-*Aumento de distancias*: cuanto más se aleje un trabajador del foco de contaminación, menor será la concentración del contaminante en el aire del entorno de trabajo del operario.

- Sobre el receptor del contaminante

-*Formación e información*: es imprescindible que los trabajadores sean capaces de identificar los riesgos que se derivan de su lugar de trabajo y que conozcan y tengan la capacidad de adoptar las medidas adecuadas para evitarlos.

-*Disminución del tiempo de exposición*: si no podemos evitar el contaminante, hay que tomar medidas para hacer que el trabajador esté el menor tiempo posible expuesto a dicho contaminante.

-*Protección personal*: la empresa debe proporcionar los equipos de protección individual que sean apropiados para cada puesto de trabajo.

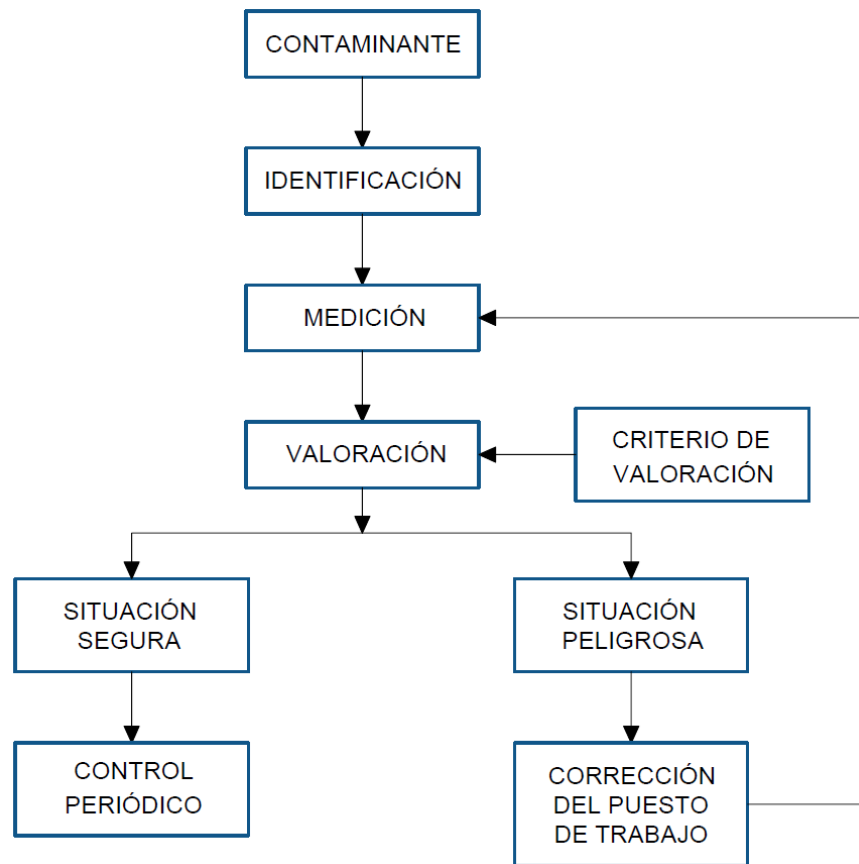


Figura 6. Metodología de actuación en Higiene Industrial

1.6. HIGIENISTA INDUSTRIAL

Un higienista industrial es un profesional que se encarga de realizar todas las acciones para poder garantizar que los trabajadores cuando están en su lugar de trabajo se encuentren en una situación segura.

Si analizamos las capacidades de un higienista industrial más detalladamente podemos definirlo como un profesional que es capaz de:

- Prever los riesgos que afectan a la salud que se originan en un lugar de trabajo.
- Determinar y analizar la presencia de agentes contaminantes (químicos, físicos o biológicos) y otros factores de riesgo que pueden afectar a la salud de los trabajadores.
- Determinar y valorar la exposición de los trabajadores a agentes contaminantes.
- Determinar las posibles vías de entrada de agentes contaminantes en el organismo y los posibles efectos que pueden tener en la salud de los trabajadores que están expuestos a esos contaminantes.
- Analizar los procesos que se utilizan en un puesto de trabajo, para así poder determinar la posible generación o propagación de los agentes y eliminar o reducir la exposición hasta alcanzar los límites estipulados.
- Conocer las leyes y reglamentos que afectan a la Higiene Industrial en su país.
- Trabajar eficazmente en un grupo multidisciplinar.
- Determinar cuáles son los factores y agentes que son capaces de generar un impacto ambiental e integrar la Higiene Industrial en la protección del medio ambiente.

CAPÍTULO 2:

Exposición del problema

2.1. OBJETIVO DEL PRESENTE TRABAJO

La ingeniería química implica la aplicación de las ciencias a las industrias de procesos que se ocupan principalmente de la conversión de un material en otro por medios físicos o químicos. Estos procesos requieren la entrega y el almacenamiento de grandes cantidades de materiales en diversos tanques de construcción, dependiendo del estado existente del material, sus propiedades físicas y químicas y las operaciones que se deben realizar.

Para manipular tales líquidos y gases se utiliza un tanque. El tanque es la parte básica de la mayoría de los equipos de procesamiento. Se puede considerar que la mayoría de las unidades de equipos de proceso son tanques con varias modificaciones necesarias para permitir que las unidades realicen ciertas funciones requeridas. Por ejemplo, un autoclave puede considerarse un tanque de alta presión equipado con fuentes de agitación y curación; un intercambiador de calor puede considerarse un tanque que contiene una provisión adecuada para la transferencia de calor a través de las paredes del tubo; y un evaporador puede ser considerado como un tanque que contiene un calentador de calor en combinación con un espacio de desacoplamiento de vapor.

Otro ejemplo de uso de tanques de almacenamiento a gran escala es la Corporación de Reservas Estratégicas De Productos Petrolíferos (CORES). Es una organización española que organiza y gestiona las reservas estratégicas de energía, contribuye a asegurar la seguridad de suministro de hidrocarburos mediante el mantenimiento de reservas de productos petrolíferos y el control de las existencias que mantiene la industria en lo referente a productos petrolíferos, gases licuados del petróleo (GLP) y gas natural (ver Figura 7). En caso de ocurra una crisis de abastecimiento de petróleo, nacional o internacional, y bajo la supervisión del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, CORES contribuye a garantizar la continuidad del suministro.



Figura 7. Existencias mínimas de seguridad de hidrocarburos, CORES

Los tanques de almacenamiento industriales se utilizan a modo de depósitos para manipular o almacenar algún producto, por ejemplo: gases, líquidos, productos de origen químico o petrolíferos, para usarlo posteriormente o para comercializarlo. Suelen usarse en diferentes sectores como el alimentario, químico, cosmético o farmacéutico.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

Una vez expuesto en el capítulo 1 la problemática de que los trabajadores estén expuestos a contaminantes químicos durante la construcción de tanques, se plantea como objetivo principal del presente Trabajo Fin de Grado evaluar la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales. Así como otros objetivos como:

- 1) Identificar los problemas en este sector, detectar otros problemas que existan en el proceso de fabricación de tanques.
- 2) Identificar cómo la presencia de estos contaminantes químicos afecta a la salud de los trabajadores que se encuentran en ese puesto de trabajo, identificando los peligros y evaluando los riesgos de accidente de trabajo o enfermedad profesional que puede desencadenar la exposición continuada a ellos.
- 3) Valorar la cantidad de exposición que tienen para establecer que límites son asumibles por los trabajadores que realizan trabajos manuales sobre los tanques.

El objetivo es aplicar los conceptos de la Higiene Industrial, así como las evaluaciones higiénicas durante la fabricación de un tanque industrial para llegar a la conclusión de si existe o no riesgo higiénico. Para poder considerar si existe o no este riesgo, se analizarán las concentraciones de los distintos contaminantes, ya que, si son inferiores a unos determinados valores, el trabajador tendrá una exposición tolerable, mientras que, si las concentraciones superan estos valores, la salud del trabajador podría estar expuesta, ya que, se podría producir algún tipo de hipersensibilidad o enfermedad como consecuencia de esta exposición.

Si sucediera esto, se propondrán soluciones para reducir la exposición al contaminante y evitar daños en la salud de los operarios.

Para poder realizar la evaluación de la exposición, estudiaremos las diferentes etapas que intervienen en la fabricación, la duración que tienen, la frecuencia con la que se realizan, los puestos de trabajo que intervienen y las tareas que se realizan en ellos. Además, también se analizarán los contaminantes que se utilizan en cada una de las fases y su tiempo de uso durante cada jornada laboral, para poder conocer su concentración.

2.2. DISEÑO DE UN TANQUE INDUSTRIAL

2.2.1. Tipos de tanques

Los tanques de almacenamiento industriales se usan como depósitos para manipular o almacenar algún producto, por ejemplo: gases, líquidos, productos de origen químico o petrolíferos, para usarlo posteriormente o para comercializarlo. Suelen usarse en diferentes sectores como el alimentario, químico, cosmético o farmacéutico. Existen principalmente dos tipos de tanques de almacenamiento:

1. **Cilíndricos Horizontales.** Normalmente tienen un volumen reducido, ya que aparecen problemas por fallas de corte y flexión. Un ejemplo de este tipo de tanque se puede observar en la Figura 8.



Figura 8. Tanque cilíndrico horizontal

2. **Cilíndricos Verticales de Fondo Plano.** Son los más usados ya que permiten almacenar grandes cantidades de producto. Este tipo de tanques se pueden clasificar a su vez en:
 - a. **De techo fijo.** Se utilizan como almacenamiento de productos que no son volátiles, por ejemplo, el agua residual, el agua contra incendios o el petróleo crudo. Estos tanques impiden que el polvo, el agua de lluvia y otros elementos puedan contaminar el producto que se almacena en su interior. Son recipientes cerrados que se emplean para los combustibles fluidos que emiten humos tóxicos o desagradables, y para gases que deben almacenarse en recipientes cerrados. La naturaleza combustible del petróleo y sus productos requiere el uso de estos tanques cerrados en todas las industrias petroleras y petroquímicas. Estos tanques se pueden clasificar dependiendo de si su techo es cónico o esférico. Un ejemplo de este tipo de tanque se puede observar en la Figura 9.



Figura 9. Tanque cilíndrico vertical de techo fijo

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

- b. **De techo flotante.** Se utilizan para almacenar productos volátiles, por ejemplo, alcohol o gasolina, ya que, reducen la cámara de aire que hay entre el líquido contenido y el techo. Con esto se evita la formación de gases inflamables que contaminan el ambiente y se reducen los riesgos. Un ejemplo de este tipo de tanque se puede observar en la Figura 10.



Figura 10. Tanque cilíndrico vertical de techo flotante

- c. **Sin techo.** Se usan como almacenamiento de productos que no son volátiles y a los que la contaminación que se puede producir al exponerse al ambiente exterior no suponga un problema. Los tanques abiertos se usan comúnmente como tanques de compensación entre operaciones, como depósitos para operaciones de lotes donde los materiales pueden mezclarse, como depósitos de decantación, decantadores, reactores químicos, etc. Obviamente, este tipo de tanques es más barato que los tanques de cubiertas o cerrados de la misma capacidad y construcción. La decisión de si se pueden usar tanques abiertos o no depende del fluido a manipular y de la operación. Por ejemplo, pueden almacenarse en estos tanques cantidades muy grandes de líquidos acuosos de bajo valor. Son tanques más simples que están hechos con materiales de bajo coste. Por ejemplo: agua residual, agua contra incendios, diésel, etc. Un ejemplo de la forma que presentan este tipo de tanques se puede observar en la Figura 11.



Figura 11. Tanque cilíndrico vertical sin techo

2.2.2. Partes de un tanque

Las principales partes de un tanque de almacenamiento son: el cuerpo del tanque, las boquillas y las tapas. Dependiendo del diseño y de los usos específicos que se le vaya a dar al tanque, pueden contar con instrumentos de control y medición, sistemas de calefacción, aislamiento térmico, agitación, de alimentación, drenado, entre otros. Además de la carcasa o el techo, también son importantes otras partes:

- **Válvulas de entrada y salida:** accesorio por el que entra o sale el fluido que se almacena.
- **Boca de hombre:** entrada en el tanque para poder realizar la inspección y mantenimiento en el interior de este.
- **Tubería de ventilación de aire:** Debe tener forma curvada hacia abajo en su extremo para así evitar que entren contaminantes al tanque.
- **Tubería de venteo:** se utiliza para evitar la formación de presión y de vacío mientras se realiza el llenado o vaciado del tanque.
- **Sistema de toma de muestras:** Es una abertura en la parte superior o un grifo de muestreo situado en uno de los laterales del tanque, con los que se facilita la toma de muestras.
- **Plataformas y escaleras:** permitirán que los trabajadores puedan acceder a la parte superior del tanque para realizar las supervisiones necesarias.

La localización de cada una de estas partes de un tanque se puede observar en la Figura 12, además de otros elementos que presentan determinados tanques como son el cono de rebose o la válvula de by pass.

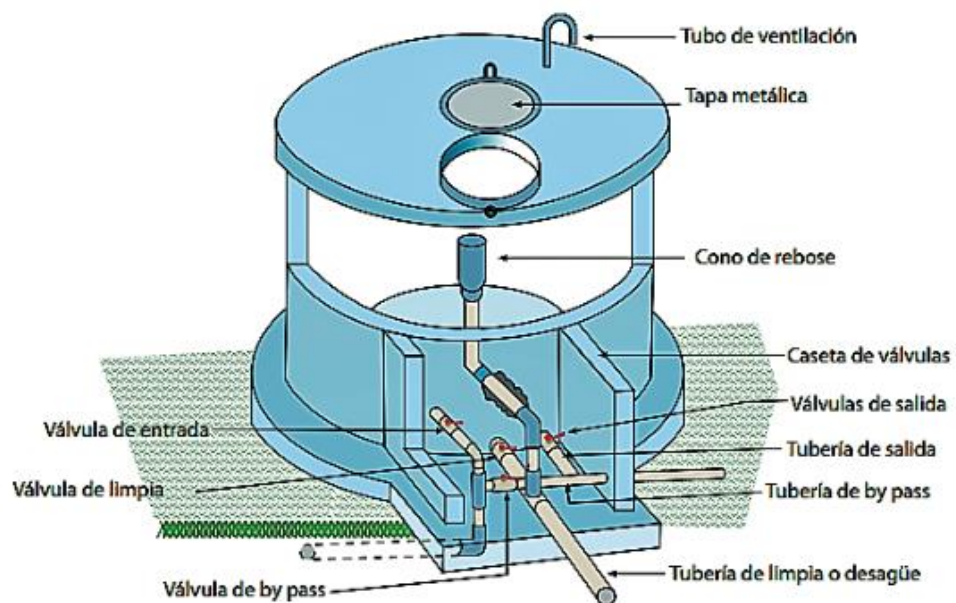


Figura 12. Partes de un tanque industrial

2.2.3. Materiales para la fabricación de tanques

Independientemente de la naturaleza de la aplicación del tanque, se deben considerar varios factores al diseñar la unidad. Normalmente, la consideración más importante es la selección del tipo de tanque que realiza el servicio solicitado de la manera más satisfactoria, pero no la única, ya que, al desarrollar el diseño, se deben considerar otra serie de criterios, como las propiedades del material utilizado, las tensiones inducidas, la saturación elástica y el aspecto estético de la unidad. El precio del tanque fabricado también es importante en relación con su servicio y vida útil.

Si nos fijamos en lo que aparece en el Real Decreto 656/2017, del 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10, las restricciones en cuanto a los materiales de construcción solo nos dicen que los tanques deben ser construidos con materiales adecuados para el producto almacenado y sus condiciones de almacenamiento, siendo la selección de este debidamente justificada en el proyecto.

Los materiales de construcción de estos tanques han ido evolucionando a lo largo de los años. Inicialmente, a finales del siglo XIX y principios del XX para la fabricación de estos se usaban tablas de madera, mientras que, en la actualidad los materiales que más se utilizan para su fabricación son: hormigón, fibra de vidrio, polietileno y acero. Cada día se usa más la fibra de vidrio y el polietileno puesto que son materiales impermeables y que no se oxidan. La selección del material se determinará en función del tamaño, la forma y el coste del tanque. A continuación, se explican los materiales de fabricación de tanques de almacenamiento que más se utilizan en la actualidad:

- ❖ **Hormigón.** El hormigón es un material de construcción que está compuesto por cuatro elementos: cemento, arena, grava y agua. Es un material que presenta gran resistencia a la compresión, pero, por el contrario, es muy débil a fuerzas de tracción. Para aumentar su efectividad, es decir, aprovechar su resistencia a la compresión y aumentar su resistencia a la tracción se utiliza hormigón armado en la fabricación de estructuras, es decir, hormigón junto con barras de acero. Se suelen utilizar para almacenamiento de agua, bien sea, salada o dulce. En la Figura 13 encontramos un ejemplo de tanque en el que el material empleado es el hormigón.



Figura 13. Tanque de hormigón

- ❖ **Polietileno.** El polietileno utilizado para la fabricación de estos tanques es polietileno de alta densidad. Son fabricados sin soldaduras, son herméticos, muy ligeros y económicos. Entre sus propiedades destaca que poseen una alta resistencia y un buen comportamiento mecánico. Sin embargo, sólo pueden almacenar productos que se encuentren a temperaturas inferiores a 60°C y cuando sufren algún daño no pueden ser reparados, si no, que son sustituidos por otros. Son utilizados para el almacenamiento de agua, ácidos, cloruros y alcoholes, aunque también se pueden usar para almacenar productos alimenticios si son fabricados con polietileno cien por cien virgen, es decir, que no contenga materiales reciclados. Tienen una vida útil de unos 30 años si se realiza un mantenimiento adecuado. Un ejemplo de tanques construidos con este material son los que se muestran en la Figura 14.



Figura 14. Tanque de polietileno

- ❖ **Plástico reforzado con fibra de vidrio.** Son fabricados con poliéster y fibra de vidrio, esto hace que se combinen las propiedades de cada uno de ellos, por lo que es un gran beneficio. Tiene buenas propiedades químicas y mecánicas, debido a que es un material compuesto, luego es muy resistente. Además, el peso de estos tanques es menor que los fabricados con otros materiales, por lo que tienen fácil manejo, transporte e instalación. Otra de las ventajas que tienen estos tanques es que pueden ser reparados en el lugar en el que se encuentran fácilmente si sufren algún daño. A causa de que se usa fibra de vidrio para su fabricación son capaces de resistir altas temperaturas, entre 125 a 300°C, además, no se deforman con el paso de los años y los acabados que se les da los protegen de los rayos ultravioleta. En la Figura 15 encontramos un ejemplo de tanque en el que el material empleado para su construcción es la fibra de vidrio.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales



Figura 15. Tanque de fibra de vidrio

- ❖ **Acero inoxidable.** Es un tipo de acero que tiene la propiedad de resistir a las manchas y a la corrosión. Esta resistencia a la corrosión aumenta cuando se le añaden mientras se realiza el proceso de fabricación otros componentes como níquel, nitrógeno y molibdeno. Estos tanques requieren un menor mantenimiento que otros que se han fabricado con otros materiales. Al necesitar un menor mantenimiento son muy útiles para industrias que almacenan en ellos materiales corrosivos. Además, son fáciles de limpiar, higiénicos y económicos. Al utilizar en su producción recursos naturales y energía, es un material que se puede reciclar y que tiene una larga vida. Los nuevos tanques de acero inoxidable están compuestos por aproximadamente un 60-70 % de material reciclado, lo que supone un gran beneficio para el medio ambiente. Un ejemplo de tanques construidos con acero inoxidable serían los que podemos ver en la Figura 16.



Figura 16. Tanque de acero inoxidable

- ❖ **Acero al carbono.** El principal elemento de aleación que contiene es el carbono. Dependiendo del porcentaje de este que posean variaran sus propiedades, por ejemplo, medida que se aumenta el contenido de carbono aumentan tanto la resistencia a la tracción como el índice de fragilidad en frío, mientras que disminuye la tenacidad y la ductilidad.

Una de las principales características de este acero es que tiene una gran resistencia y dureza, por esta razón se suele utilizar como material de construcción, ya que, para este uso se necesitan materiales que tengan gran dureza y sean resistentes. Este acero no es apropiado para aplicaciones en las que se necesite un material que tenga un cierto grado de flexibilidad, puesto que tiene poca ductilidad. En la Figura 17 encontramos un ejemplo de tanque en el que el material utilizado es acero al carbono



Figura 17. Tanque de acero al carbono

La norma UNE-36010, derogada por la norma UNE-EN 10200:2001, sobre la clasificación y tipos de aceros, nos permite conocer las propiedades de cada uno de ellos. Esta norma divide los aceros en cinco series, cada una de estas series se divide a su vez en grupos en los que se determinan las características y aplicaciones de cada uno de ellos.

Si nos centramos en los tanques formados por acero al carbono, algunas de las restricciones son las siguientes:

- No se permiten aceros con borde o tapados.
- Se prohíbe el uso de hierro fundido para cualquier parte de presión o cualquier parte unida al tanque mediante soldadura.
- Debido a problemas de fragilidad de hidrógeno y toxicidad. Los componentes chapados en cadmio no se utilizarán sin el consentimiento expreso del cliente.

2.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UN TANQUE INDUSTRIAL

2.3.1. Proceso de construcción

El proceso de construcción de un tanque de almacenamiento se inicia con el diseño de este, para lo que se necesitan las especificaciones técnicas, que variarán dependiendo del uso que se le vaya a dar al tanque, las dimensiones de este, el tipo de soldadura, los sistemas de calentamiento, etc.

Las normas de diseño y fabricación están especificadas en el Real Decreto 656/2017, del 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10. En él se establece que los tanques se diseñarán y fabricarán siguiendo las normas vigentes sobre la materia. Si nos encontráramos con que no existen estas normas, a la hora de realizar el diseño del tanque como mínimo habría que tener en cuenta: el peso y la temperatura del líquido que se va a contener, la presión y depresión interior de diseño, la sobrecarga de uso, las acciones sísmicas, los efectos de la lluvia, el techo flotante y los efectos de la corrosión interior y exterior.

Con respecto a fabricación, el Real Decreto mencionado anteriormente, estipula que mientras que se realiza la fabricación de los tanques se deberán realizar inspecciones y pruebas según las reglamentaciones técnicas vigentes.

Después de realizar el diseño comienza la etapa de fabricación en la que, en primer lugar, hay que formar la parte de la carcasa del fondo, para ello, se colocan las placas inferiores con tachuelas. A continuación, se unirán soldando las juntas de estas de forma que proporcionen una superficie lo más plana posible. La soldadura de la carcasa del fondo se debe terminar antes de que se completen las soldaduras de las juntas inferiores que pueden haber quedado abiertas para compensar la contracción de cualquier soldadura que se haya realizado anteriormente.

Una vez realizada la soldadura del fondo, se continua con la soldadura de la carcasa. Para ello, las placas que se van a unir mediante soldadura deben coincidir con precisión y mantener su posición mientras se realiza la operación de soldadura (ver Figura 18).



Figura 18. Proceso de soldadura

A continuación, se debe comprobar que las juntas verticales que se han realizado no deben exceder el 10% del grosor de la placa. Una vez se han completado las juntas horizontales hay que tener en cuenta que la placa superior no debe sobresalir más allá del frente de la placa superior en ningún punto en más del 20% del grosor de la placa superior.

El lado inferior de las juntas debe limpiarse a fondo, de manera que, deje la superficie correctamente para realizar la fusión del metal de soldadura. Esta limpieza se puede hacer mediante astillado o molienda.

Una vez que se han construido las paredes, las superficies interna y externa del tanque se preparan y limpian mediante la aplicación de un chorro a presión de un material abrasivo. La realización de este proceso se puede ver en la Figura 19.



Figura 19. Proceso de chorreo de arena

Seguidamente se aplica el sistema de protección de pintura, puesto que, estos tanques al situarse al aire libre deben de llevar una capa que los proteja de la corrosión, así como, a las condiciones ambientales.

2.3.2. Proceso de soldadura

Una vez que el cliente y el fabricante han aprobado el diseño, la siguiente etapa es la fabricación en la que con las directrices que se especifican en el diseño, se construye el tanque. Una de las partes más importantes de esta etapa es el proceso de soldadura.

Es muy importante tener en cuenta las especificaciones técnicas de la etapa de diseño, para así, elegir el tipo de soldadura de acuerdo con el uso específico que se le dará al tanque (desde la selección del tipo de acero, sus dimensiones, sistemas adicionales de calentamiento, control, requisitos de instalación, medidas de seguridad, entre otros aspectos).

El equipo de proceso se construye mediante una serie de métodos bien establecidos, tales como soldadura por fusión, fundición, forja, mecanizado, soldadura fuerte y soldadura de chapa. Cada método tiene ciertas ventajas para cada tipo de tanque, es decir, dependiendo del tipo de tanque que queramos construir emplearemos un método u otro. Sin embargo, la soldadura por fusión

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

es el método más importante. El tamaño, la forma, el servicio y las propiedades del material del equipo pueden influir en la selección del método de fabricación.

Las fundiciones de acero se han utilizado ampliamente para la producción en masa de pequeños accesorios de tubería y se utilizan en gran medida para artículos más grandes como tuberías de acero al carbono, cubiertas de intercambiadores de calor y cuerpos de evaporador debido a la resistencia a la corrosión. El acero fundido puede usarse para recipientes de paredes gruesas de pequeño diámetro. Además, debido a su mayor resistencia y una mayor confianza en comparación con el hierro, la forja es un método para dar forma al metal que se usa generalmente para ciertos tanques. El método de forja, no suele usarse a excepción de algunos tanques con paredes de un grosor mayor en los que sí se puede usar. Otros métodos especiales para dar forma al metal, como el prensado, el hilado y el laminado de placas, se utilizan para formar cierres.

El remachado se usó ampliamente, antes de la mejora de las técnicas de soldadura modernas, para diferentes tipos de recipientes, como tanques de almacenamiento, calderas y recipientes a presión. Todavía se usa en la fabricación de recipientes no ferrosos como el cobre y el aluminio. Sin embargo, las técnicas de soldadura se han vuelto tan avanzadas que incluso estos materiales a menudo se sueldan hoy en día.

Debido a que el mecanizado es el único método, a excepción del conformado en frío, que se puede utilizar para asegurar tolerancias exactas, se requieren tolerancias cercanas para las piezas de acoplamiento del equipo. Las caras de las bridas, los casquillos y las superficies de los cojinetes generalmente se mecanizan para proporcionar una alineación satisfactoria. En general, el mecanizado es una operación costosa y se limita a recipientes pequeños y piezas en las que el costo puede justificarse.

La soldadura por fusión es el método de fabricación más utilizado para la construcción de tanques de acero. Este método de construcción es prácticamente ilimitado con respecto al tamaño y se utiliza ampliamente para la fabricación y montaje de equipos de proceso de gran tamaño en campo. A menudo, dicho equipo se fabrica mediante el método de subensamblaje. En este proceso, las secciones de la unidad se sueldan en taller y luego se ensamblan en campo. Los equipos que tienen un tamaño suficientemente pequeño para permitir el transporte mediante camiones, transporte ferroviario o barco generalmente se sueldan completamente en el taller debido al menor costo y al mayor control del procedimiento de soldadura que se puede llevar allí. Hay dos tipos de soldadura por fusión que se utilizan ampliamente para la fabricación de tanques. Estos son:

- El proceso de soldadura por gas, en el cual una mezcla combustible de acetileno y oxígeno suministra el calor necesario para la fusión.
- El proceso de soldadura eléctrica, en el cual el calor de fusión es suministrado por una corriente eléctrica.

La soldadura por arco es el proceso que se suele elegir habitualmente debido a la reducción del calor en el material que se está soldando, la reducción de la oxidación y un mejor control del metal de soldadura depositado. Hay disponible una amplia gama de equipos de soldadura por

arco, desde las pequeñas unidades portátiles de soldadura, como se puede ver en Figura 20, hasta la soldadura automática.



Figura 20. Soldadura por arco

Las máquinas pequeñas de soldadura por arco son ampliamente utilizadas en talleres de soldadura que fabrican equipos pequeños, mientras que, las máquinas automáticas son más adecuadas para la soldadura de secciones pesadas que implican la deposición de una gran cantidad de metal de soldadura.

La soldadura por gas es la soldadura idónea para calibres ligeros de metal (calibre 20 o menos), que son difíciles de soldar por el proceso de soldadura por arco. El equipo de soldadura por gas es extremadamente útil en el corte con llama, ya sea en campo o en el taller.

Uno de los desarrollos más recientes y exitosos en el campo de la soldadura de recipientes es el proceso de soldadura por arco sumergido. Este proceso era prácticamente desconocido al comienzo de la Segunda Guerra Mundial, la necesidad de acelerar la producción de equipos soldados durante los años de guerra aceleró el desarrollo de este método, para poder beneficiarse de las ventajas de esta técnica. El arco genera calor para derretir el material y deposita el metal de soldadura. Una porción del fundente granulado se funde, formando una capa protectora sobre el metal de soldadura, y se solidifica con este.

Además de proteger completamente el metal de soldadura de la atmósfera, este proceso hace que este metal esté prácticamente libre de hidrógeno. A medida que se cubre el arco, no hay destello, y también se produce una menor cantidad de humo y humos desagradables en comparación con los procesos de soldadura anteriores. Como el operador no puede observar la soldadura, se utilizan accesorios mecánicos para controlar las dimensiones de esta. Se pueden depositar varias pulgadas de metal de soldadura en una pasada, un hecho que disminuye en gran medida el tiempo de soldadura involucrado. Sin embargo, la mayor ventaja del proceso sumergido es la eliminación de la variable del operador.

El éxito de la fabricación por soldadura depende del control de las variables que intervienen en esta, como la experiencia y el entrenamiento del soldador, los materiales adecuados y los procedimientos de soldadura. Un soldador inexperto o un soldador que utiliza materiales inferiores o procedimientos incorrectos puede fabricar un tanque que tenga buena apariencia pero que tenga uniones defectuosas que pueden fallar en el servicio.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

Por lo tanto, es absolutamente esencial que las variables de soldadura se controlen para producir juntas sanas en el equipo. Se han establecido varias normas y estándares para este propósito, que se mencionarán más adelante en el apartado 2.5.

A la hora de realizar una soldadura, las reglas para calificar soldadores y procedimientos de soldadura son esencialmente las mismas en los diversos estándares. Independientemente de si el recipiente soldado está destinado o no a cumplir con una de las normas o estándares, es aconsejable que la soldadura cumpla con uno de los estándares mínimos.

Cada taller de fabricación debe establecer los procedimientos de soldadura más adecuados para sus necesidades y su equipo. Para cumplir con los estándares de soldadura mencionados anteriormente, no es necesario que los procedimientos de soldadura sean los mismos en todos los talleres. Pero es necesario que, independientemente de las técnicas utilizadas, las uniones soldadas pasen las pruebas de calificación para los procedimientos de soldadura y que los operadores de soldadura estén calificados para utilizar estos mismos procedimientos. Para cumplir con los estándares de soldadura, las soldaduras realizadas por los procedimientos del taller deben probarse para determinar la resistencia a la tracción, la ductilidad y la solidez de las juntas soldadas. Las pruebas requeridas para los procedimientos de soldadura especificados por API Standard 12 C involucran lo siguiente:

- Para soldaduras de ranura:
 1. Prueba de tensión de sección reducida (para resistencia a la tracción).
 2. Prueba de flexión libre (para ductilidad).
 3. Prueba de curvatura de la raíz (para solidez).
 4. Prueba de curvatura de la cara (para solidez).
 5. Prueba de flexión lateral (para la solidez).

- Para soldaduras en ángulo o filete:
 1. Prueba de corte transversal transversal o resistencia al corte.
 2. Prueba de flexión libre para ductilidad.
 3. Prueba de solidez de soldaduras de filete.

Tanto los resultados mínimos requeridos por las pruebas, como los enumerados anteriormente, se describen en detalle en las diversas normas. Algunos requisitos representativos son:

1. La resistencia a la tracción en la prueba de tensión de sección reducida no deberá ser inferior a 95%, de la resistencia mínima a la tracción del material que se va a soldar.
2. El alargamiento mínimo permitido en la prueba de flexión libre es del 20%.
3. La resistencia al corte de las soldaduras en la prueba de corte transversal no debe ser menor que 87%, de la resistencia mínima a la tracción del material que se está soldando.
4. En las distintas pruebas de solidez la superficie convexa del espécimen se examina para detectar la aparición de bolsas u otros defectos. Si se produce alguna grieta, en cualquier dirección, se considera que la articulación ha fallado. Los soldadores individuales, así como los procedimientos del taller, deben cumplir con ciertas calificaciones estándar.

Los soldadores individuales deben calificar bajo el procedimiento establecido de acuerdo con la prueba descrita anteriormente. Esto es importante porque un soldador puede calificar cuando usa un procedimiento, pero puede no poder calificar cuando usa otro procedimiento. Por ejemplo, un operador de una máquina de soldadura automática puede producir soldaduras satisfactorias con esa máquina, pero puede no calificar cuando se usa equipo manual.

Para las juntas de soldadura en la fabricación de tanques se pueden utilizar una variedad de tipos de juntas de soldadura. La selección del tipo de junta depende del servicio, el grosor del metal, los procedimientos de fabricación y los requisitos de la norma. La Figura 21 es un diagrama del código API-ASME para recipientes a presión sin cocer que ilustra algunos de los tipos de juntas soldadas utilizadas en la soldadura de placas de acero para la fabricación de tanques a presión. Los dos tipos de soldaduras de solape mostradas se pueden usar solo para uniones circunferenciales y para placas de carcasa que no estén demasiado gruesas, y para la fijación de boquillas y refuerzos sin limitación de grosor.

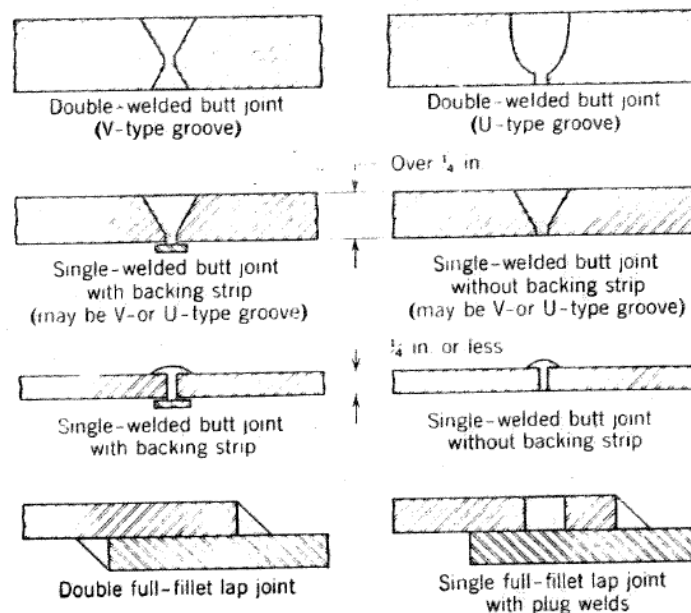


Figura 21. Ejemplos de uniones soldadas (del código API-ASME)

Cada capa de metal de soldadura o soldadura multicapa deberá limpiarse de escoria y otros depósitos antes de aplicar la siguiente capa.

2.3.3. Proceso de recubrimiento y pintura del tanque

Para finalizar el proceso de fabricación del tanque es imprescindible su protección frente a agentes externos. Esto se debe a que el acero presenta un proceso de corrosión que se puede ver afectado por varios factores como, por ejemplo, las condiciones de los productos almacenados con los que se encuentra en contacto en su interior, su composición, su pH y su temperatura entre otros. De forma que, en caso de que no se realice una protección adecuada, con el paso del tiempo se puede producir el fallo del material, es decir, que aparezca una perforación en las paredes del tanque.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

Esto provoca que se vierta el producto que se almacena en el interior del tanque, ocasionando con esto costes directos e indirectos (para la producción por falta de producto, las contaminaciones ambientales que traigan consigo el vertido del producto...).

Por otro lado, otro de los problemas que produce la degradación de las paredes del tanque debido a un mal o a la falta de revestimiento es la contaminación del producto que se encuentra almacenado en el tanque, impidiendo que este pueda ser utilizado posteriormente para el uso para el cual se encontraba almacenado.

Es por todo esto, por lo que la selección adecuada del revestimiento a emplear en el tanque es tan necesaria. De forma que pueda resistir la agresividad química que pueda estar asociada al producto almacenado y que, por tanto, va a estar en contacto con las paredes del tanque, de manera que se garantice una protección eficaz ante la corrosión del mismo.

Antes de proceder a la aplicación de pinturas y recubrimientos para la protección del tanque debemos asegurarnos de haber quitado todos los restos de grasa, aceite o cualquier tipo de contaminante que se haya adherido a las paredes del tanque durante el proceso de fabricación. De forma que no queden adheridos a la pared del tanque y que tampoco contaminen el recubrimiento o la pintura. En este punto, dependiendo de cuáles sean las sustancias que hay que eliminar de la superficie del tanque se podrán emplear diferentes métodos:

- En el caso del aceite, la grasa o las sales hidrosolubles se puede hacer una limpieza con chorro de agua (y si es necesario, detergente, que después habrá que aclarar con agua limpia), con vapor, con emulsionantes o con disolventes orgánicos.
- En el caso de salpicaduras de soldadura, sales no hidrosolubles, cemento u otros contaminantes, utilizar herramientas mecánicas o manuales.

Frente a elementos que no se puedan eliminar, como es el caso de algunas esquinas, aristas y los cordones que deja el proceso de soldadura, deberán redondearse para facilitar que se pueda aplicar el revestimiento o la pintura.

Una vez tenemos preparada la superficie, para aquellos tanques que ya han sufrido una oxidación lo apropiado es realizar un decapado antes de proceder con la aplicación de la pintura o del recubrimiento. Para realizar este decapado se sigue lo establecido en la norma UNE-EN ISO 8501, en la que se establece la preparación del acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados.

Se suele emplear el método de decape por proyección de chorro abrasivo, siguiendo con los criterios marcados por esta norma. La selección del abrasivo es importante, ya que, de ello depende que se consiga la rugosidad deseada para la proyección de la pintura o del recubrimiento. Esta rugosidad la suele establecer el fabricante de estos en sus fichas técnicas.

Tras el decapado, es posible que aparezcan desperfectos en el acero (como descamación), antes de seguir con el proceso se deben reparar estos defectos de manera apropiada. Y, posteriormente, si la rugosidad cambia y deja de ser la deseada, volver a decapar las zonas que se hayan visto afectadas.

Al finalizar el decapado, solo faltaría realizar una limpieza final (por cualquier método que sea apropiado, como una aspiración potente), para dejar la superficie sin polvo tras los últimos trabajos realizados sobre la superficie del tanque y lista para recibir la pintura o el recubrimiento. Una forma de comprobar si la superficie está lista es comprobar que no se adhiere polvo a una cinta adhesiva que se colocaría sobre las paredes del tanque.

Finalmente, una vez que se ha realizado el decapado se aplica el recubrimiento, sin dejar que transcurra mucho tiempo entre ambos procesos, ya que, la superficie preparada es muy propensa a sufrir alteraciones por las condiciones ambientales. Por tanto, se considera un tiempo máximo de entre 3 y 6 horas entre ambos procesos, dependiendo de las condiciones ambientales que se den en el momento de realizarlo.

Para el apartado de sistemas de protección contra la corrosión ambiental, la normativa para el proceso de construcción de un tanque de almacenamiento químico, el Real Decreto 656/2017, establece que podrán usarse algunos de los siguientes métodos para proteger las paredes del tanque contra la corrosión exterior.

- Uso de recubrimientos o pinturas.
- Protección catódica.
- Empleo de materiales resistentes a la corrosión.

En cuanto al uso de pinturas, en la norma UNE 48307 sobre pinturas y barnices. Recubrimientos de tanques de combustible, se establecen dos componentes básicos para este tipo de pinturas que son: la base y el endurecedor. Para su uso, se almacenan por separado y se deben mezclar en las medidas correctas antes del manejo. La proporción de estas mezclas la establecen los fabricantes, aunque deben quedar indicadas las proporciones que se han empleado. Posteriormente a su mezclado, se debe hacer reposar el tiempo establecido por el fabricante, para, a continuación, proceder a su aplicación.

Por lo general, estas pinturas no deben contener compuestos y elementos que estén formados por: antimonio, arsénico, bario (excepto sulfato de bario), cadmio, cromo hexavalente, mercurio, plomo y selenio. Tampoco deben contener disolventes clorados, benceno y ésteres de etilenglicol y sus acetatos.

Para su aplicación y posterior curado deben darse unas condiciones adecuadas y estables que son:

- Que exista una temperatura ambiente que esté comprendida entre 10°C y 35°C.
- Que la humedad relativa en el ambiente no sobrepase el 80%.

Para su correcta aplicación, se pueden emplear brochas o pulverización con pistola sin aire, como se puede ver en la Figura 22. Con la aplicación de la pintura mediante el uso de brochas se suelen evitar así descuelgues y goteos de pintura. En caso de aplicarse mediante el uso de equipos de proyección sin aire, no se deben emplear ni disolventes ni diluyentes y el acabado sobre la superficie vertical no debe tener tendencia a descolgarse ni a presentar ningún otro defecto. El espesor a alcanzar por la película de pintura debe medirse en seco y cumplir con las especificaciones del proyecto.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales



Figura 22. Proceso de pintura

En cuanto al aspecto que debe presentar la pintura una vez aplicada, ya sea por brocha o por pulverización, debe ser uniforme y sin diferencias de color en toda la película ni imperfecciones en la superficie, es decir, que no puede presentar burbujas, cráteres o cualquier otra imperfección en el acabado.

2.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACERO AL CARBONO

Una vez conocido que el material con el que se va a fabricar el tanque es el acero al carbono y el proceso de fabricación es el mencionado anteriormente, en este punto se van a analizar los problemas que tienen estos tanques y los tratamientos que se van a aplicar para su protección.

2.4.1. Problemas de corrosión

El principal problema que presentan los tanques de almacenamiento industriales de acero al carbono es la corrosión, como se puede observar en la Figura 23.

La Real Academia Española define corrosión como *“el desgaste paulatino de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma”*.

El grado de corrosión en el equipo de proceso depende de la naturaleza de las películas que se forman en la superficie de las piezas del tanque. La excelente resistencia a la corrosión del cobre y sus aleaciones, por ejemplo, es el resultado de su capacidad para formar películas delgadas y protectoras en sus superficies. Estas películas pueden ser el resultado de una oxidación simple o pueden estar compuestas de sales insolubles. Para ser protector, el recubrimiento debe ser delgado, adherente, continuo y relativamente insoluble. El equipo que funciona en condiciones que permiten la formación de una película protectora uniforme generalmente se corroe lentamente y puede durar muchos años.

Sin embargo, bajo condiciones corrosivas severas, se produce una corrosión rápida, lo que lleva a costosas demoras y reemplazos. Mediante una buena selección del material y mediante la mejora cuidadosa de las condiciones de operación, la corrosión puede reducirse o retrasarse, y se pueden lograr ahorros sustanciales en costos de operación y mantenimiento. Por lo tanto, una evaluación de los factores que contribuyen a la corrosión muy significativa en el diseño de equipos.



Figura 23. Tanque industrial afectado por la corrosión

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

A continuación, vamos a hablar de los principales tipos de corrosión que se pueden dar en tanques de almacenamiento:

- 1. Corrosión uniforme.** Cuando se produce corrosión en la superficie del equipo por la formación de sales solubles, lo que produce un adelgazamiento uniforme de la pared.

La velocidad de corrosión depende del medio de corrosión, la velocidad del flujo del fluido, la temperatura y otros factores. Este tipo de corrosión se suele dar en soluciones ácidas (principalmente aquellas que contienen oxígeno), en aguas que tienen un alto contenido de oxígeno o dióxido de carbono (como el agua de mina) y en soluciones que disuelven los productos de la corrosión (como las que contienen hidróxido de amonio, que disuelve los productos de corrosión de las aleaciones de cobre).

Se han hecho intentos para reducir la corrosión uniforme mediante la aplicación de una corriente eléctrica externa para proporcionar protección catódica. El éxito que se obtiene al emplear esta técnica es limitado y se ha atribuido sobre todo a la formación de películas protectoras que a la protección catódica.

- 2. Ataque de impacto.** En condiciones de funcionamiento normales, ciertas zonas localizadas del tanque pueden estar expuestas a las fuerzas destructivas debido a que el medio circulante presente una velocidad relativamente alta. La corrosión en tales condiciones se describe como “ataque de impacto”.

Este tipo de corrosión se produce debido a que la turbulencia de los fluidos provoca una destrucción rápida y repetida de la película protectora con la posterior corrosión del metal expuesto. Esta condición se agrava considerablemente cuando el medio circulante lleva en suspensión un material abrasivo.

- 3. Ataque de celdas de concentración.** La corrosión puede ser causada en determinadas condiciones de operación por la formación de celdas de concentración debido a la aireación diferencial en las superficies metálicas. Las grietas, hendiduras, recubrimientos porosos y roturas en las películas protectoras son una fuente de problemas, ya que atrapan el líquido y crean diferencias en la concentración de sales, iones o gases en el medio de circulación.

Como resultado de un tipo electroquímico de acción de celdas de concentración, se producen picaduras en la superficie del metal y perforación localizada del material. Un ejemplo de este tipo de corrosión es la oxidación del acero al carbono simple. Este tipo de corrosión puede reducirse mediante lo siguiente:

- 1-Especificar las juntas a tope y enfatizar la necesidad de una penetración completa del material de soldadura para protegerse contra grietas diminutas.
- 2-Evitar el uso de juntas de solape, o sellarlas completamente con soldaduras o un compuesto de impermeabilización adecuado.

3- Evitar esquinas afiladas y áreas estancadas u otros sitios que favorezcan la acumulación de precipitados y otros sólidos.

4- Proporcionar un flujo uniforme de líquido con un mínimo de turbulencia y arrastre de aire.

5- Proporcionar filtros adecuados en las líneas para evitar la obstrucción local dentro del equipo que pueda iniciar ataques de depósitos o provocar un ataque de impacto.

4. Ataque de depósito. Cuando pequeñas partículas se depositan o se alojan en la pared del equipo, parte del metal se protege por el depósito y puede tener lugar una acción especial de concentración de células. Por lo general, el área protegida se convierte en resultados de picadura anódica e intensa. Este ataque de depósitos minimizará si se realiza de manera frecuente el filtrado del medio circulante y la limpieza.

5. Ataque de celdas galvánicas. Cuando metales y aleaciones diferentes están en contacto entre sí en un medio conductor, se establece una acción galvánica que resulta en la disolución del metal no noble o catódico. A partir de la serie electromotriz o lista galvánica, es posible predecir las tendencias de los metales y las aleaciones para formar una acción galvánica. Cuando se hace uso de una lista determinada para el fluido en consideración, uno puede estar relativamente seguro al elegir metales del mismo grupo; sin embargo, si los metales están distantes entre sí en la lista, el metal más alto en la lista se corroerá rápidamente.

Cuando se usan metales que producen una acción galvánica, las áreas relativas de los dos materiales tienen una influencia muy importante en el grado de corrosión. Por lo general, el alcance de la acción galvánica será proporcional a la proporción del área del metal inferior en la serie al área del metal superior en la lista. Por lo tanto, es aconsejable evitar los pares galvánicos donde el área expuesta del metal catódico es mucho mayor que la del metal anódico.

6. Corrosión bajo tensión. Como resultado de la acción simultánea de tensiones y ciertas condiciones corrosivas, las piezas pueden fallar por grietas. Cuando la tensión se aplica externamente, la rotura a menudo se denomina agrietamiento por corrosión bajo tensión. Cuando se trata de tensiones internas residuales, la ruptura resultante a menudo se denomina grieta estacional, el recocido para aliviar las tensiones residuales reduce en gran medida el agrietamiento estacional. Cuando la pieza se somete a tensiones cíclicas repetidas durante el servicio, puede ocurrir una falla por agrietamiento por fatiga. Tales fallas se caracterizan por su brusquedad y por la ausencia de deformación plástica en la sección de falla.

Los datos de corrosión bajo tensión en sistemas libres de corrosión en el estado sin tensión indican que hay poco o ningún ataque al material que está completamente deformado elásticamente o completamente deformado plásticamente. Pero tales partes sometidas a deformación plástica y elástica en la misma sección sufren muy severamente

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

corrosión por tensión. Por lo tanto, la corrosión bajo tensión es causada por el endurecimiento por deformación en combinación con alta tensión elástica en lugar de por deformación plástica. Tal endurecimiento por deformación seguido de corrosión se ha observado en calderas y recipientes a presión donde existen concentraciones de tensión local sin deformación plástica severa.

2.4.2. Tratamientos superficiales

Para conseguir que el tanque tenga una mayor duración y necesite el menor mantenimiento posible, hay que preparar la superficie antes de aplicar la pintura. Con la preparación de la superficie también se consigue que la pintura se adhiera de forma adecuada.

Cuando un tanque está ya pintado y se ha deteriorado por el paso del tiempo, si se realiza un mantenimiento de forma continuada, la rehabilitación de la superficie es más fácil y económica que si el mantenimiento se realizara en mayores intervalos de tiempo, en este caso, la rehabilitación de la superficie es más costosa y tiene una mayor duración.

El recubrimiento de los tanques a medida que va pasando el tiempo se deteriora, en la mayoría de los casos, este deterioro es causado por una falta de adherencia de la pintura, en la mayoría de los casos, provocada por una inadecuada preparación de la superficie, como ya se ha comentado anteriormente.

Cuando se realiza la preparación de la superficie es necesario eliminar determinados contaminantes como pueden ser: suciedad, humedad, aceite, grasa, óxidos, productos de corrosión, etc.

Tomando como referencia para los trabajos de pintura sobre superficies metálicas la norma UNE-EN ISO 12944, sobre Pinturas y Barnices. Protección de Estructuras de Acero frente a la Corrosión mediante Sistemas de Pinturas Protectores, y los patrones fotográficos de la norma UNE-EN ISO 8501, sobre la preparación del acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados, utilizamos el método de decape por aplicación de chorro abrasivo como método de limpieza de la superficie.

El abrasivo que utilizaremos será la arena puesto que su limpieza es más eficaz y no provoca daños en la superficie del tanque. Los restos de pintura, la corrosión y el óxido son eliminados por este chorro de arena.

De los diferentes abrasivos que se pueden utilizar para el chorreo de la superficie del tanque (microesferas de vidrio, silicato de aluminio, corindón, etc.), elegimos la arena de sílice cristalina, puesto que, es contaminante y puede ser perjudicial para la salud de los trabajadores. Esto nos permitirá realizar una buena evaluación higiénica determinando a qué concentraciones y a qué tiempos de exposición pueden estar expuestos los operarios. Una vez determinado esto, si el riesgo es elevado, habría que analizar y adoptar las medidas preventivas que sean necesarias. Según la norma UNE-EN ISO 8501, *“todas las superficies se chorrearán al grado Sa 2^{1/2} dejando un perfil de rugosidad de unas 50-100 micras, debiendo tener esta calidad en el momento de aplicación de las pinturas”*.

El grado Sa 2^{1/2} es un chorreado minucioso con el que se elimina la mayor parte de la capa de laminación y de óxido y la mayoría de partículas extrañas del soporte. El objetivo es que un 95% de la superficie se quede limpia. Esta adquirirá un color gris y, según el grado de oxidación que tenga la superficie, tendrá que tener un aspecto como el de la Figura 24:

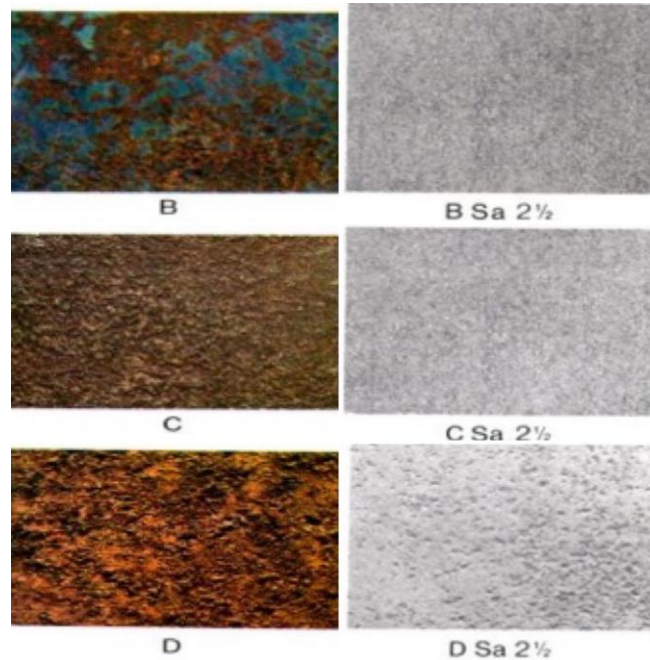


Figura 24. Patrones fotográficos de grado de oxidación y preparación de la superficie, Norma UNE-EN ISO 8501-1

Siendo la imagen B una superficie de acero con oxidación residual y donde la calamina empieza a desprenderse, la imagen C una superficie de acero donde la calamina ha desaparecido por la acción de la oxidación o que se puede eliminar raspando, pero con leves picadas visibles, y la imagen D una superficie de acero donde la calamina ha desaparecido por la acción de la oxidación y en la que se ven muchas picadas.

Una vez realizado el decapado, se hace la limpieza final, por ejemplo, con un sistema de aspiración. Después, hay que dejar la superficie libre de polvo para que se pueda adherir bien la pintura.

Posteriormente, entre 4 y 6 horas después de la limpieza, procederemos a realizar los tratamientos de imprimación. La imprimación más adecuada es la que tiene un contenido mínimo de zinc del 85% (epoxi rico en zinc), en nuestro caso elegimos la “IMPRIMACIÓN GRIS 22119”, manteniendo un espesor en seco de 40 micras.

Pasadas 24 horas de la aplicación de la capa de imprimación, se procede a aplicar la capa de acabado. Para ello, se aplicarían dos tipos de pinturas, una para el exterior y otra para el interior.

- Para el interior se aplicarían dos capas de una pintura epoxi amina, “IMPRIMACIÓN EPOXI METALES GRIS (A)”, de un espesor en seco de 100 micras.
- Para el exterior se aplicarían dos capas de imprimación anticorrosiva, “PV. PINTURA TRÁFICO AC03”, de un espesor en seco de 100 micras.

2.5. NORMATIVA DE APLICACIÓN

La normativa que indica de forma detallada cómo actuar en cada una de las situaciones de los procesos descritos anteriormente es la siguiente:

Las normativas que se utilizan como referencia para la **fabricación** de tanques industriales son las siguientes:

- ❖ Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10.
- ❖ Norma UNE-EN 14015, especificación para el diseño y fabricación de tanques de acero construidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, no enterrados, soldados, para el almacenamiento de líquidos a temperatura ambiente y superior.
- ❖ Norma UNE-EN 10200:2001, sobre la clasificación y tipos de aceros.

Con respecto al proceso de **soldadura** algunas de las normativas a seguir son:

- ❖ Real Decreto 1692/2007, de 14 de diciembre, por el que se establece el título de Técnico en Soldadura y Calderería y se fijan sus enseñanzas mínimas.
- ❖ Código ASME Sección IX, soldadura: Desarrollo y calificación de Procedimientos y Soldadores.
- ❖ Norma API 12 C, especificación API para tanques de almacenamiento de aceite soldados (secciones 7 y 8).
- ❖ Norma UNE-EN ISO 3834:2015, requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos.
- ❖ Norma UNE-EN 1011:2010, soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos.
- ❖ Norma UNE-EN ISO 15614:2018, especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo.

Las normativas a seguir durante el proceso de **recubrimiento y aplicación de pinturas** en la superficie del tanque es la siguiente:

- ❖ Norma UNE 48307, sobre pinturas y barnices. Recubrimientos de tanques de combustible.
- ❖ Norma UNE-EN ISO 12944, sobre Pinturas y Barnices. Protección de Estructuras de Acero frente a la Corrosión mediante Sistemas de Pinturas Protectores.
- ❖ Norma UNE-EN ISO 8501-1:2008, preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 1: Grados de óxido y de preparación de sustratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores. (ISO 8501-1:2007).
- ❖ Norma UNE-EN ISO 8501-2:2002, preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 2: Grados de preparación de sustratos de acero previamente pintados, después de la eliminación localizada de recubrimientos anteriores. (ISO 8501-2:1994).
- ❖ Norma UNE-EN ISO 8501-3:2008, preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 3: Grados de preparación de soldaduras, bordes y otras áreas con imperfecciones en la superficie. (ISO 8501-3:2006).
- ❖ Norma UNE-EN ISO 8501-4:2008, preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 4: Estados iniciales de la superficie, grados de preparación y grados de oxidación instantánea en relación con el decapado por chorro de agua a alta presión. (ISO 8501-4:2006).

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

CAPÍTULO 3:

Evaluación de la Exposición

3.1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este capítulo es elaborar la evaluación de la exposición a contaminantes químicos a la que están expuestos los trabajadores que se dedican a la fabricación de tanques industriales. La evaluación se apoya en el Real Decreto 374/2001, del 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

Este Real Decreto nos indica que, en primer lugar, hay que determinar si el puesto de trabajo cuenta con agentes químicos peligrosos. Si así fuera, habría que evaluar los riesgos que suponen estos agentes químicos para la salud y la seguridad de los trabajadores, según lo estipulado en el artículo 16 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales:

- Analizar las propiedades peligrosas del agente químico, es decir, su toxicología.
- Estimar las cantidades de agentes químicos que se utilizan o se almacenan en el puesto de trabajo.
- Estos valores anteriores se compararán con los valores límites ambientales y biológicos.
- Definir el tiempo, el tipo y el nivel de exposición de los trabajadores a los agentes químicos, así como las exposiciones accidentales.
- El efecto que supondrán las medidas preventivas que se adopten en el trabajador.

En el artículo 1 del Real Decreto 374/2001 se expone que, con el fin de proporcionar seguridad y salud a los trabajadores durante su jornada laboral, se deben considerar los riesgos que se producen debido a la presencia de contaminantes químicos, pese a que no trabajen con ellos, es decir, que se produzcan como consecuencia del diseño o mantenimiento del lugar en el que se encuentren realizando su trabajo.

A continuación, se van a definir unos conceptos que son importantes a la hora de realizar la evaluación higiénica. Estos conceptos están recogidos en el artículo 2 del Real Decreto citado anteriormente, así como, en el documento *“Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos presentes en los lugares de trabajo”* elaborado por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, INSST.

- **Agente químico:** según el Real Decreto 374/2001, se define un agente químico como *“todo elemento o compuesto químico que se encuentra en un puesto de trabajo de forma natural, se produce, se utiliza o resulta como residuo”*.
- **Puesto de trabajo:** es tanto las actividades que desarrolla un trabajador como el lugar en el que las realiza.
- **Zona de respiración:** el espacio que se encuentra alrededor de la cara del trabajador mientras realiza sus respectivas tareas. En la norma UNE-EN 1540:2012, sobre exposición en un lugar de trabajo, se puede encontrar la terminología acerca de las atmósferas en el lugar de trabajo.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

- **Exposición:** existencia de un agente químico en el puesto de trabajo que supone el contacto de este agente químico con el trabajador, normalmente por inhalación y vía dérmica. Se pueden definir dos tipos de exposición:

- a. **Exposición diaria (ED):** concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador para una jornada laboral de 8 horas diarias. Se puede calcular matemáticamente con la siguiente fórmula:

$$ED = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{8}$$

Siendo:

c_i : la concentración i-ésima.

T_i : el tiempo de exposición, en horas, asociado a cada valor c_i .

- b. **Exposición de corta duración (EC):** concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador para un tiempo de 15 minutos durante la jornada laboral, a excepción de los agentes químicos para los que se determine un período de referencia inferior según la lista de Valores Límite. Este valor se suele medir en el momento de la jornada laboral en el que se produzca la mayor exposición. Se puede calcular matemáticamente con la siguiente fórmula:

$$ED = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{15}$$

Siendo:

c_i : la concentración i-ésima dentro de cada período de 15 minutos.

T_i : el tiempo de exposición, en minutos, asociado a cada valor c_i .

- **Indicador biológico (IB):** parámetro que se encuentra en el medio biológico del puesto de trabajo, que se mide en un momento determinado y está asociado directa o indirectamente a la exposición global.
- **Valores límite ambientales (VLA):** valores límite de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en la zona de respiración de un trabajador.

Representan las condiciones a las que se admite que un trabajador está expuesto a lo largo de su vida laboral. Puesto que no todos los trabajadores responden igual, debido a los factores genéticos o hábitos de vida, se habla de mayoría y no de totalidad, pues algunos trabajadores pueden sentir molestias a concentraciones inferiores a los VLA.

Los VLA se utilizan exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos que se producen por inhalación de los agentes químicos que se encuentran en la lista de Valores Límite. Cuando uno de estos agentes químicos además de por inhalación se puede absorber por vía cutánea la medición de la concentración puede ser insuficiente para determinar la exposición global.

$$VLA \left(\frac{mg}{m^3} \right) = \frac{(VLA \text{ en ppm}) \cdot (\text{peso molecular del agente químico en gramos})}{24.04}$$

Existen dos tipos de valores límite ambientales:

- a. **Valor límite ambiental para la exposición diaria (VLA-ED):** es el valor límite de la concentración media con respecto al tiempo y representa las condiciones a las que se supone que la mayoría de los trabajadores están expuestos durante su jornada laboral de 8 horas diarias.
 - b. **Valor límite ambiental para la exposición de corta duración (VLA-EC):** es el valor límite de la concentración media con respecto al tiempo para un período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral de un trabajador.
- **Valores límite biológicos (VLB):** son los valores de referencia para los indicadores biológicos asociados a la exposición global a los agentes químicos.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Como se mencionó anteriormente en el apartado 3.2, en el proceso de fabricación de un tanque industrial se manipulan gran cantidad de productos químicos, pero no todos de ellos perjudican a la salud de los trabajadores que se encargan de su fabricación. En este apartado se van a identificar y describir las características principales de los agentes químicos contaminantes que se emplean en la fabricación de tanques industriales.

3.2.1. Soldadura

En los procesos de soldadura se aumenta la temperatura del punto de unión de un metal hasta que se consigue que este se funda, de manera que, cuando se enfría se queden unidas las dos piezas que se quieren unir. Este calentamiento provoca que se genere una mezcla de gases y partículas, los llamados “humos de soldadura”. La naturaleza de los humos de soldadura varía dependiendo del material, el tipo de soldadura y los materiales que se van a soldar.

A continuación, se van a mencionar los materiales que se utilizan en este proceso:

- En nuestro caso, los tanques van a ser de acero al carbono, por lo que, los contaminantes químicos que tendrán serán: óxido férrico y dióxido de manganeso.
- El material de aporte para soldar será varillas de acero revestidas con cobre y aleadas con manganeso, por lo que podrán desprender óxidos de cobre y manganeso.
- El gas de protección será argón debido a que es económico y apto para la penetración de soldadura que se requiere.

De los contaminantes mencionados en este apartado se van a estudiar el óxido férrico y el óxido de cobre.

3.2.2. Preparación y decapado de la superficie del tanque

Como se comentó anteriormente, para eliminar de la superficie del tanque los óxidos, grasas, humedad, etc., se realiza una limpieza de chorro abrasivo de arena de sílice cristalina con un grado de limpieza Sa 2^{1/2}.

Por ello, el único contaminante químico que se emplea en esta fase es la arena de sílice cristalina, cuya toxicología se analizará más adelante.

3.2.3. Tratamientos de imprimación y pintura

Después de realizar el chorreo y la limpieza de la superficie, se realiza el tratamiento de imprimación, para ello utilizamos pintura epoxi rico en zinc, concretamente “HEMPADUR ZINC 17390”. Del tratamiento de imprimación se le aplicará una capa y a continuación le aplicaríamos dos capas de la pintura de acabado.

Pasadas 24 horas de la aplicación de la capa de imprimación, se procede a aplicar la capa de acabado. Para ello, se aplicarían dos tipos de pinturas: una para el interior, que sería epoxi amina, y otra para el exterior, que sería una imprimación anticorrosiva.

Para los tratamientos de imprimación y pintura de acabado del tanque, se va a estudiar la toxicología de los siguientes contaminantes químicos para poder realizar una correcta evaluación higiénica. Estos contaminantes químicos son: xileno, tolueno, etilbenceno y epiclorhidrina.

3.3. TOXICOLOGÍA DE LOS CONTAMINANTES

En la enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, se define toxicología como, *“el estudio de los venenos o, en una definición más precisa, la identificación y cuantificación de los efectos adversos asociados a la exposición a agentes físicos, sustancias químicas y otras situaciones”*.

En la actualidad, la toxicología es un elemento de gran importancia en el ámbito de la salud ambiental y de la salud en el trabajo. Esto se debe a que muchas organizaciones, tanto gubernamentales como no gubernamentales, utilizan la información toxicológica para evaluar y moderar los peligros que existen tanto en el lugar de trabajo como en el medio ambiente general. En las estrategias de prevención, la toxicología es un elemento muy importante, puesto que, facilita información sobre riesgos potenciales en los casos en los que no hay una alta exposición humana.

De todas las ramas que abarca la toxicología, nos centraremos en la rama ocupacional. La toxicología ocupacional se centra en estudiar las sustancias químicas que se encuentran en el puesto de trabajo. El estudio de estas sustancias químicas se basa en detectar los contaminantes químicos que se encuentran en el entorno del trabajador, para poder identificar y evitar las distintas enfermedades profesionales, comentadas en el capítulo uno.

Para poder utilizar los contaminantes químicos de manera controlada, la toxicología ocupacional define unas pautas para evitar una absorción peligrosa en el organismo. Es por esto, que cada contaminante químico tiene asociado un Valor Límite Ambiental (VLA). Este representa la concentración máxima en el aire por debajo de la cual los trabajadores no padecerán los efectos negativos de los contaminantes a los que están expuestos a lo largo de su vida laboral y, por lo tanto, no desarrollarán enfermedades. No obstante, en algunos casos, las sustancias en lugar de tener VLA, tendrán asociados VLB (Valores Límite Biológicos), haciendo necesarios análisis de orina y de sangre para obtener datos sobre la exposición.

A continuación, se van a definir los efectos toxicológicos de los distintos contaminantes químicos que se mencionaron en el punto 3.2, es decir, aquellos que participan en la fabricación de tanques de almacenamiento.

3.3.1. Óxido férrico

El óxido férrico (ver Figura 25) es uno de los óxidos del hierro, es usado en compuestos pulidores, pigmentos, metalurgia y en la obtención de hierro. En las soldaduras con arco se produce el humo del óxido de hierro (III) al calentarse los materiales que contienen hierro.



Figura 25. Óxido férrico

– *Vías de penetración*

La sustancia se puede absorber por inhalación y por vía ocular.

- **Vía inhalatoria:** es la más común, se produce cuando las partículas de polvo de óxido férrico entran en sistema respiratorio.

De todas las partículas que intentan acceder, sólo llegan a las vías aéreas inferiores las que tienen un menor tamaño, puesto que las barreras que tiene el cuerpo humano evitan que las partículas grandes entren al organismo.

- **Vía ocular:** si no se usan gafas de seguridad se produce enrojecimiento de los ojos por los humos y partículas.

– *Efectos de exposición a corta duración*

Una exposición de corta duración a los humos de óxido férrico puede provocar la “fiebre de los humos metálicos” cuyos síntomas son: sabor metálico, escalofríos, dolores, fiebre, tos y opresión en el pecho. Otro de los efectos es irritación mecánica, que es causada por la exposición al polvo.

– *Efectos de exposición a larga duración*

Los vapores del óxido de hierro pueden causar siderosis, que es una forma de neumoconiosis. El trabajador manifiesta inicialmente tos, expectoración, dificultad al respirar y que evoluciona, en los casos intensos, a una fibrosis pulmonar con un patrón restrictivo severo.

3.3.2. Óxido de cobre

El óxido de cobre (I) (ver Figura 26), llamado también óxido cuproso, es un polvo que presenta diferentes colores, de rojo a amarillo, dependiendo del tamaño de sus partículas. Este óxido es insoluble en agua y en disolventes orgánicos.

El óxido cuproso se forma en piezas de cobre que tienen una capa de plata porosa cuando se encuentran expuestas a la humedad.



Figura 26. Óxido de cobre

– Vías de penetración

La sustancia se puede absorber por inhalación, por vía ocular y por ingestión.

- **Vía inhalatoria:** es la más común, se produce cuando las partículas de polvo de óxido de cobre entran en sistema respiratorio. Produce tos, sabor metálico y “fiebre de los humos metálicos”, comentada en el óxido férrico.
- **Vía ocular:** si no se usan gafas de seguridad se produce enrojecimiento de los ojos por los humos y partículas.
- **Vía digestiva:** produce calambres abdominales, diarrea, náuseas y vómitos.

– Efectos de exposición a corta duración

Una exposición de corta duración a óxido de cobre puede provocar irritación en los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Se puede provocar “fiebre de los humos metálicos” e inflamación nasal al inhalar los humos que lo contienen.

– Efectos de exposición a larga duración

No hay datos de que esta sustancia provoque enfermedades debido a una larga exposición.

3.3.3. Arena de sílice

El óxido de silicio (IV) o dióxido de silicio (SiO_2) (ver Figura 27) es un compuesto químico conocido como sílice. Su composición principal es el silicio y el oxígeno. Es un compuesto que está ordenado espacialmente en una red cristalizada. Puede representarse de dos formas: cristalina o amorfa, si se encuentra representada de forma cristalina se presenta como cuarzo, mientras que si se encuentra representada de forma amorfa se encuentra en productos sintéticos que se crean artificialmente.

Es un material de gran dureza y el principal componente de muchas rocas, por ejemplo: arena, arenisca, granito o cuarcita. De las tres formas naturales en las que se sintetiza, la única que provoca un peligro para la salud es la conocida como sílice cristalina.



Figura 27. Arena de sílice cristalina

– *Vías de penetración*

- **Vía inhalatoria:** el polvo de sílice cristalina accede al cuerpo mediante las vías respiratorias. De todas las partículas de sílice cristalina que intentan acceder, sólo llegan a los alveolos pulmonares las más pequeñas. Esto es debido a que el cuerpo humano tiene unas barreras que van evitando que las partículas entren al organismo.

La primera de estas barreras son los pelos de la nariz, en esta se quedan las partículas más grandes. Si las de menor tamaño pasan la primera barrera se encuentran con la siguiente, la mucosidad, que se encuentra entre las vías nasales y la laringe. Si las partículas son tan pequeñas que pasan las barreras mencionadas anteriormente llegan a los bronquios y de ahí a los alveolos pulmonares. Los alveolos pulmonares intentan limpiar esa suciedad hasta que no pueden eliminarla y queda almacenada allí (Figura 28). Esto hace que el trabajador tenga una insuficiencia respiratoria y que necesite oxígeno.

La enfermedad respiratoria que se produce por la inhalación de polvo de sílice es la silicosis, a medida que se desarrolla esta enfermedad, los pulmones pueden llegar a infectarse con hongos y bacterias.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

La silicosis como enfermedad profesional se encontraría en el grupo 4, del cuadro de enfermedades profesionales mencionado anteriormente en el apartado 1.3.

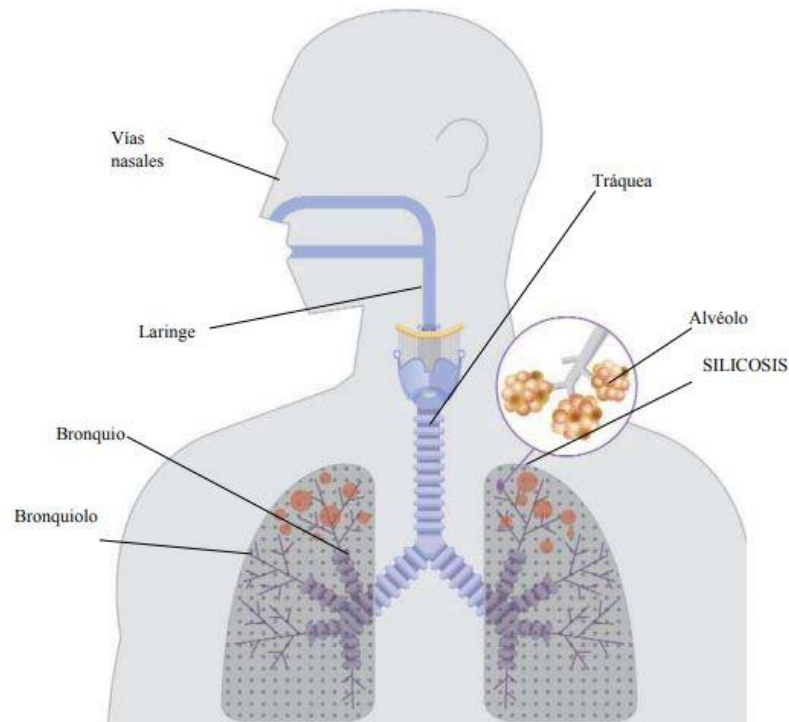


Figura 28. Vías de penetración arena de sílice

Esta enfermedad está relacionada con otras enfermedades pulmonares como la fibrosis, tuberculosis o cáncer de pulmón.

– Efectos de exposición a corta duración

Como se ha comentado anteriormente, las partículas de sílice se quedan almacenadas en el pulmón después de varias exposiciones, por lo que, a una exposición de corta duración no provoca grandes efectos tóxicos.

– Efectos de exposición a larga duración

La exposición prolongada o repetida a la sílice cristalina puede causar problemas pulmonares, puesto que, como se ha comentado anteriormente, esta hace que las partículas lleguen a los pulmones provocando cicatrizaciones en ellos.

El riesgo de desarrollar esta enfermedad va a depender de la concentración de polvo de sílice cristalina a la que esté expuesto un trabajador en su lugar de trabajo y la duración de esa exposición. Normalmente, la silicosis se suele desarrollar cuando se está expuesto a la arena de sílice durante veinte o más años.

Los primeros síntomas se notan mientras se realiza un esfuerzo y son: tos, mucosidad y falta de aliento, aunque muchas veces se detecta cuando ya se ha terminado la exposición.

Existen tres tipos de silicosis:

- **Silicosis crónica:** de los tres tipos que existen esta es la más común. La enfermedad aparece después de que el trabajador haya estado expuesto durante varios años, entre 10 y 20. La silicosis crónica se divide a su vez en simple y complicada. La silicosis simple se caracteriza por un patrón nodular en la radiografía de tórax, mientras que la silicosis complicada presenta masas llamadas fibrosis masiva progresiva.
- **Silicosis aguda:** es una enfermedad progresiva que viene causada por una exposición intensa a sílice libre y que puede evolucionar en un corto período de tiempo.
- **Silicosis acelerada:** es una enfermedad que se encuentra entre las dos mencionadas anteriormente. Se presenta cuando se tiene un contacto con altos niveles de sílice cristalina entre 5 y 15 años.

Además, existen otras patologías relacionadas con la exposición a sílice:

- **Tuberculosis:** en la silicosis crónica, la incidencia de tuberculosis es tres veces superior que, en grupos de similar edad y exposición a sílice, pero sin silicosis. Las recomendaciones para mitigar la tuberculosis son las siguientes:
 - Cuando se realiza la vigilancia de la salud de los trabajadores se debe tener en cuenta la relación de la exposición a la sílice con la tuberculosis.
 - Hay que añadir la vigilancia para evitar la aparición de una tuberculosis después de haber realizado la vigilancia de salud post-ocupacional.
- **Cáncer de pulmón:** desde 1996 se tiene duda de si la sílice produce por sí misma y de forma directa cáncer de pulmón o si para tenerlo es necesario sufrir silicosis. Se ha demostrado que, si un trabajador padece silicosis tiene mayor riesgo de tener cáncer de pulmón, mientras que, tiene menor riesgo cuando un trabajador está expuesto a sílice, pero en ausencia de silicosis. Las recomendaciones para mitigar el cáncer de pulmón son:
 - Cuando se realiza la vigilancia de la salud de los trabajadores que han sido diagnosticados de silicosis, hay que tener en cuenta la relación de la exposición a sílice con el cáncer de pulmón.
 - Cuando se realiza la vigilancia de la salud post-ocupacional de los trabajadores que han sido diagnosticados de silicosis, hay que tener en cuenta la relación mencionada anteriormente.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

- En la vigilancia de la salud de los trabajadores se debe recomendar que deben evitar el consumo de tabaco.
 - En el caso de trabajadores que no tienen diagnosticado que sufran silicosis, se deben hacer estudios epidemiológicos que permitan saber la relación que hay entre la exposición a sílice y el cáncer de pulmón, puesto que, esta relación no está determinada.
 - Realizar estudios epidemiológicos que permitan tener un seguimiento del cáncer de pulmón relacionado con la exposición a sílice, su eficacia, su efectividad y su coste.
- **Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC):** Muchos estudios epidemiológicos señalan que la inhalación de polvo inorgánico es un factor de riesgo de esta enfermedad.

En el puesto de trabajo esta exposición provoca bronquitis crónica e importantes pérdidas en la función pulmonar, tanto si los trabajadores son fumadores como si no. Si son fumadores se ha observado que se produce una EPOC severa.

Las recomendaciones para mitigar la EPOC son:

- Cuando se realiza la vigilancia de la salud de los trabajadores se debe valorar la exposición acumulada tanto a sílice como a polvo respirable.
- A los trabajadores que se encuentran expuestos tanto a polvo como a sílice se les debe vigilar la aparición de EPOC.
- Se debe recomendar a los trabajadores que no consuman tabaco.

3.3.4. Xileno

Además de cómo xileno, es conocido también como xilol o dimetilbenceno. Es un líquido incoloro, con un olor característico e inflamable. Como se observa en la Figura 29, tiene tres isómeros, dependiendo de la posición de los grupos metilo en el anillo bencénico, meta-xileno, orto-xileno y para-xileno.

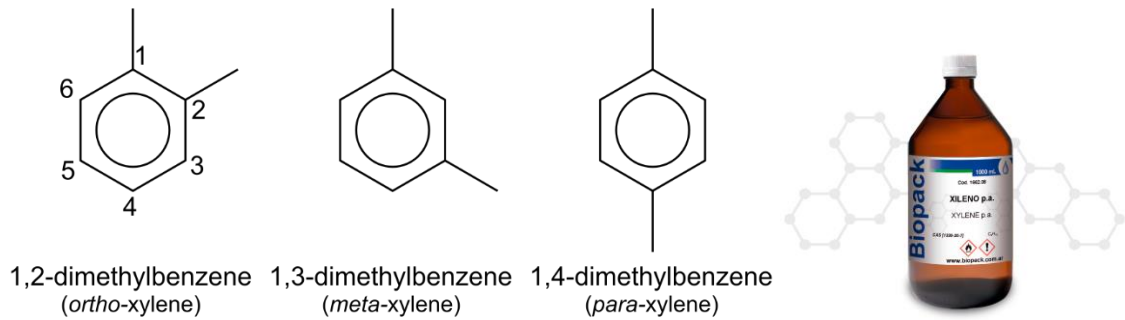


Figura 29. Isómeros del xileno

El xileno se puede producir de forma natural, por ejemplo, durante incendios, o artificialmente en industrias químicas a partir del petróleo.

Se usa como disolvente o como agente para limpiar y diluir pinturas o barnices. Además de en la industria química orgánica, como producto de partida, o para producir combustibles de gasolina, por su elevado índice de octano. En histología se emplea como solvente de la parafina o como líquido aclarante.

– *Vías de penetración*

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

- **Vía inhalatoria:** es la principal forma por la que el xileno puede entrar a nuestro organismo. Si se respira un aire que contiene xileno, este entra en los pulmones. De la cantidad total de aire que se inhala, se retiene entre un 50 a un 75% de xileno.
- **Vía digestiva:** la forma que tiene de entrar en el organismo es cuando ingerimos alimentos o agua que están contaminados con xileno. Una vez que se ha producido esta ingesta, los intestinos lo absorben rápidamente.
- **Vía dérmica:** es la menos probable, puede penetrar en el cuerpo cuando se produce cuando el xileno entra en contacto directo con la piel.

Normalmente, el xileno se elimina del organismo al poco tiempo de ser absorbido mediante una degradación que se produce en el hígado y se expulsa del cuerpo mediante la orina. En la mayoría de los casos, el xileno se elimina del cuerpo a las 18 horas de la finalización de la exposición. Este tiempo de eliminación del xileno puede aumentar,

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

puesto que, del xileno que el cuerpo absorbe se puede almacenar en el tejido graso del 4 al 10% del.

– *Efectos de exposición a corta duración*

Una exposición de corta duración a xileno puede provocar irritación en los ojos, la nariz, la garganta y en la piel. Puede provocar que el trabajador tenga dificultades para respirar, alteración pulmonar, alteraciones en la memoria.

Puede afectar al sistema nervioso central, produciendo dolores de cabeza, mareos o pérdida del equilibrio, entre otros. Algunas personas que estuvieron expuestas a xileno durante un corto tiempo, pero a concentraciones muy altas fallecieron.

Si se ingesta xileno de forma líquida puede producir que los pulmones lo aspiren y de lugar a neumonitis química, que es una irritación de los pulmones que se produce por la inhalación de sustancias tóxicas.

– *Efectos de exposición a larga duración*

La exposición prolongada a altas concentraciones de xileno produce efectos muy similares a los mencionados anteriormente. Por ejemplo: efectos sobre el sistema nervioso central, dolor de cabeza, mareos, pérdida del equilibrio, etc.

Según varios estudios que se hicieron con animales que se encontraban expuestos a xileno, se comprobó que una exposición a grandes concentraciones podía provocar alteraciones en el hígado, riñones, pulmones, corazón y sistema nervioso.

Según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Encuesta de Población Activa (EPA) el xileno no está clasificado como cancerígeno en seres humanos puesto que no se dispone de suficiente información para corroborarlo.

3.3.5. Tolueno

El tolueno es el nombre común para el Metilbenceno (ver Figura 30). Está clasificado como compuesto orgánico volátil (COV), incoloro, inflamable y con un olor característico. Es un buen solvente, es decir, que puede disolver a otras sustancias, pero es muy poco soluble en agua. Reacciona de forma violenta con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión.

Se utiliza en muchos procesos industriales: fábricas de pinturas, barnices, esmaltes de uñas, adhesivos, nylon, plástico, etc. En síntesis de productos químicos, por ejemplo, trinitrotolueno, ácido benzoico y cloruro de benzoilo, entre otros, también es muy utilizado para mejorar el octanaje de la gasolina junto con benceno y xileno.

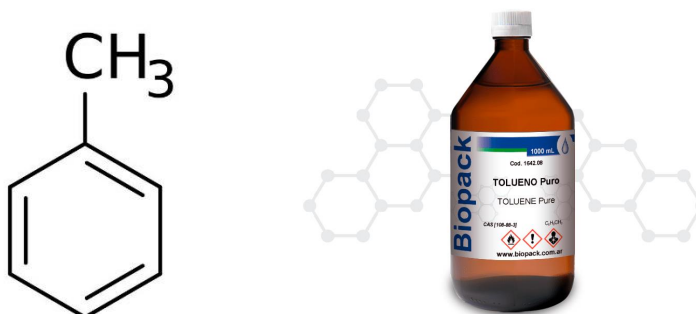


Figura 30. Molécula de tolueno

– Vías de penetración

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

- **Vía inhalatoria:** es la forma más común de exposición a tolueno. Cuando se inhala, pasa directamente a la sangre a través de los pulmones. En la mayoría de los casos, esta inhalación se produce porque el aire lo contiene o porque se emplea gasolina o productos que lo contienen.
- **Vía digestiva:** es la menos probable. Se puede producir cuando se toman alimentos o agua que está contaminada por tolueno. El contaminante pasa desde el tubo digestivo a la sangre.
- **Vía dérmica:** se puede producir cuando hay un contacto directo entre el tolueno y la piel. El contaminante pasa de forma directa desde la dermis a la sangre.

En la mayoría de los casos, el tolueno se expulsa del cuerpo en un día, pero una pequeña porción se puede acumular en el tejido graso debido a una exposición repetida.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

– Efectos de exposición a corta duración

Una exposición de corta duración a tolueno puede provocar irritación en los ojos y en las vías respiratorias. El tolueno también podría causar depresión del sistema nervioso central cuando se inhalan vapores del mismo. Además, las exposiciones agudas a tolueno pueden provocar mareos, dificultad para hablar, visión borrosa, pérdida del conocimiento, falta de coordinación motora, entre otros.

La exposición a altas concentraciones de tolueno afecta al sistema nervioso central, los riñones, el hígado y el corazón. Además, esta exposición puede dar lugar a una arritmia cardíaca, pérdida del conocimiento o muerte.

– Efectos de exposición a larga duración

La exposición prolongada a concentraciones bajas de tolueno puede causar cansancio, debilidad, sensación de embriaguez, pérdida de memoria y náuseas, entre otros. Normalmente, cuando se deja de tener exposición, estos síntomas desaparecen.

Otros de los síntomas de la exposición prolongada a tolueno son sordera, pérdida de la visión en color, pérdida de la fuerza muscular y daños permanentes en el cerebro.

Como se puede observar en la Tabla 2 obtenida de la “Guía Técnica para la evaluación y Prevención de los Riesgos Relacionados con la Exposición de los Trabajadores al Ruido” del INSST, el tolueno es un agente ototóxico. Una sustancia ototóxica puede producir una pérdida de audición o vértigos y alteraciones del equilibrio. La acción de estas sustancias puede provocar tanto daños temporales como permanentes. Estos daños pueden producirse sobre el oído interno, provocando una fragilización de este y aumentar los efectos del ruido.

Tabla 2. Agentes ototóxicos con posible presencia en entornos industriales, INNST. Guía del Ruido.

Familia de compuestos	Agente	Afección sobre
Disolventes orgánicos	Tolueno	Cortes y cóclea
	Xileno Estireno Tricloroetileno	Nervio auditivo
Metales	Mercurio Manganeso Plomo Arsénico	Nervio auditivo
Gases	Monóxido de carbono Cianuro de hidrógeno	Nervio auditivo
Sales	Cianuros	Córtex

Algunos estudios han demostrado que la exposición a tolueno tiene efectos sobre la reproducción como, por ejemplo, aumento de la probabilidad de sufrir abortos.

En la mayoría de los estudios en trabajadores y en animales que se encuentran expuestos a tolueno indica que no produce cáncer. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Encuesta de Población Activa (EPA) confirman esto e indican que no se dispone de suficiente información para evaluar si es o no cancerígeno.

3.3.6. Etilbenceno

El etilbenceno (ver Figura 31), también llamado EB, etilbenzol o feniletano, es un líquido incoloro con un olor parecido al de la gasolina, inflamable y que arde con facilidad.

Se utiliza como disolvente para la elaboración de otras sustancias, por ejemplo, estireno, y en las industrias de caucho y plástico. Además, también se utiliza en la industria química para fabricar acetofenona, acetato de celulosa, dietilbenceno y óxido de propileno, entre otros.

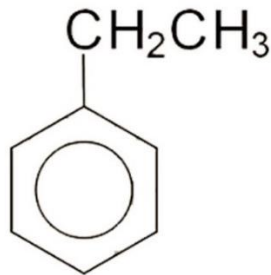


Figura 31. Molécula de etilbenceno

– Vías de penetración

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

- **Vía inhalatoria:** es la forma más común de exposición a etilbenceno. Se produce cuando se respiran vapores de este, por ejemplo, si se vive al lado de fábricas o carreteras que tienen mucho tráfico, ya que estas suelen tenerlo en el aire. En las ciudades, la cantidad media de etilbenceno que hay en el aire es de 0.62 ppb, mientras que en zonas rurales es de 0.01 ppb.

Cuando se respira aire que tiene etilbenceno, este pasa directamente a los pulmones, normalmente se elimina del cuerpo en uno o dos días a través de la orina.

- **Vía digestiva:** esta vía suele ser la menos frecuente. Se suele detectar etilbenceno en manantiales privados o públicos que se usan como fuentes de agua potable. Esto suele ocurrir cuando estos manantiales se encuentran cerca de vertederos o lugares de desechos.

Las personas que utilizan este agua pueden estar expuestas al beberla o al respirar etilbenceno en la ducha. En estos casos, el etilbenceno entra al organismo a través del tracto digestivo. Se suele eliminar en uno o dos días por medio de la orina, aunque si son cantidades pequeñas también se puede eliminar a través de las heces.

- **Vía dérmica:** ocurre cuando la piel tiene contacto con líquidos con etilbenceno, por lo que puede penetrar en ella.

Las personas que desarrollan su trabajo en lugares donde se trabaja con gasolina o petróleo pueden estar expuestas a etilbenceno tanto por respirarlo como mantener contacto con la piel.

Si son concentraciones altas de etilbenceno, se descompondrá más lentamente que si fueran concentraciones más bajas. De igual manera, cuando esta sustancia se mezcla con otros solventes se descompondrá más lentamente que si se tratara únicamente de etilbenceno. A medida que aumente el tiempo de descomposición, aumentará el tiempo que tarde el organismo en eliminar el etilbenceno.

– *Efectos de exposición a corta duración*

Una exposición de corta duración a etilbenceno puede provocar irritación en los ojos y en la piel. Su inhalación puede provocar irritación en la nariz y en la garganta. En animales, un breve contacto de etilbenceno con los ojos y la piel, provoca daños en los ojos e irritación en la piel de conejos.

La exposición a concentraciones más altas de etilbenceno puede producir dolor de cabeza, pérdida de la coordinación, vértigo y mareo. Los niveles muy altos pueden causar dificultades para respirar e incluso la muerte.

– *Efectos de exposición a larga duración*

La exposición prolongada a etilbenceno puede causar intoxicaciones crónicas y alteración del sistema nervioso central, entre otros.

Los estudios realizados en animales que se encontraban expuestos a concentraciones bajas de etilbenceno produjeron daños tanto en el oído interno, y, por lo tanto, en la audición. Así como en los riñones.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) determinó que la exposición prolongada a etilbenceno puede producir cáncer en los seres humanos. Esto se debe a que, diferentes estudios realizados a ratas y ratones demostraron que una exposición durante dos años a etilbenceno produjo un aumento de tumores en el riñón de ratas y aumento de los tumores en el pulmón e hígado en ratones.

3.3.7. Epiclorhidrina

La epiclorhidrina (ver Figura 32) es un epóxido. Es un líquido incoloro, miscible con casi todos los disolventes polares orgánicos, soluble en agua de forma moderada. Es un compuesto electrofílico altamente reactivo. La epiclorhidrina es una sustancia tóxica y cancerígena con efectos mutágenos.

La epiclorhidrina no se produce de forma natural, se produce mediante síntesis a partir de cloruro de alilo. Se utiliza en la industria del caucho como solvente y como materia prima en la producción de glicerol, plásticos, colas, insecticidas resinas epoxídicas y fenólicas.

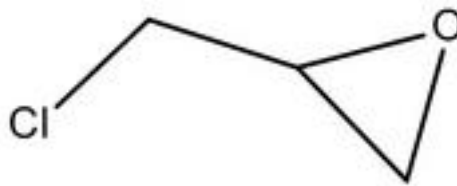


Figura 32. Molécula de epiclorhidrina

– Vías de penetración

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

- **Vía inhalatoria:** es la principal forma por la que la epiclorhidrina puede entrar a nuestro organismo. Si se respira un aire que contiene vapores orgánicos volátiles, estos entran a los pulmones. La inhalación de epiclorhidrina perjudica las vías respiratorias y edemas en el tracto respiratorio.
- **Vía digestiva:** esta vía suele ser la menos frecuente. Se produce por una ingestión accidental o por la falta de higiene al manipular la resina. En estos casos, la resina epoxi entra al organismo a través del tracto digestivo. Si se ingesta la epiclorhidrina puede provocar dolor de garganta, quemaduras en la boca y en la garganta, dolor de cabeza, náuseas, vómitos y diarrea.
- **Vía dérmica:** se puede producir cuando hay un contacto directo entre compuestos orgánicos volátiles y la piel. El contaminante pasa de forma directa desde la dermis a la sangre.

Más del 90% de la epiclorhidrina se excreta en 72 horas, la mayor parte a través de la orina y por exhalación, y, en pequeñas cantidades a través de las heces.

– *Efectos de exposición a corta duración*

La epíclorhidrina ejerce efectos nocivos sobre los pulmones, el hígado y el sistema nervioso central. Una exposición de corta duración a epíclorhidrina puede provocar irritaciones en la piel y mucosas, parálisis respiratoria, así como lesiones renales y hepáticas.

Si se absorbe la epíclorhidrina puede producir enrojecimiento, sensación de quemazón, ampollas y quemaduras cutáneas graves. Si la epíclorhidrina es inhalada puede producir irritación de las mucosas, tos, insuficiencia respiratoria, dolor de garganta, náuseas, sensación de quemazón. Si entra en contacto con los ojos puede provocar dolor, enrojecimiento, pérdida de visión y quemaduras profundas graves.

Cuando ha sido absorbida por piel, los síntomas no se presentan de inmediato. Las intoxicaciones agudas causan dolencias crónicas que se manifiestan como efectos alérgicos, alteraciones en los ojos y en los pulmones.

– *Efectos de exposición a larga duración*

La exposición prolongada o repetida a epíclorhidrina puede producir sensibilización de la piel. Puede afectar a los riñones, al hígado y a los pulmones. Esto puede dar lugar a alteraciones funcionales.

Un estudio muestra que los trabajadores que están expuestos a epíclorhidrina tienen la función pulmonar alterada en comparación con los trabajadores que no están expuestos.

Según la Directiva (UE) 2019/130 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 16 de enero de 2019, por la que se modifica la Directiva 2004/37/CE relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo, la epíclorhidrina está clasificada como sustancia cancerígena de clase 1B. Los estudios realizados en animales indican una relación entre la exposición a la epíclorhidrina y los tumores en el sistema respiratorio, así como en el sistema nervioso central (SNC).

3.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

Como hemos podido observar, el proceso de fabricación de tanques industriales se lleva a cabo en varias etapas y, en cada una de ellas, intervienen una serie de contaminantes.

En una empresa se trabaja cinco días a la semana, durante ocho horas diarias, por lo tanto, se trabajan cuarenta horas semanales. A diario los trabajadores realizan las etapas que componen el proceso de construcción del tanque y se tienen dos operarios para cada uno de los puestos de trabajo que se desarrollan a continuación. El trabajo se suele realizar en el lugar donde se va a colocar el tanque, ya que, suelen ser de gran tamaño y muy difíciles de transportar.

3.4.1. Puesto 1: Montaje y soldadura del tanque

En este puesto se forma y se suelda el tanque. En primer lugar, se forma el fondo y a continuación, los laterales del tanque. Para ello, se colocan unas tachuelas antes de realizar la soldadura. A continuación, se suelda el fondo de la carcasa procurando que sea lo más uniforme posible y después la carcasa. El lado inferior de las juntas debe limpiarse a fondo, de manera que, deje la superficie preparada para realizar la fusión del metal de soldadura. Esta limpieza se puede hacer mediante astillado o molienda. Una vez terminada la limpieza se comprobará si se ha realizado correctamente. De igual manera, cuando se finaliza la soldadura, los operarios la someterán a inspección, garantizando que esté en buen estado y que no presente desperfectos.

Este puesto de trabajo se suele desarrollar al aire libre, puesto que, se trabaja con tamaños de tanques muy grandes. Los trabajadores mientras que colocan las tachuelas o realizan la limpieza de las chapas llevan una máscara con filtro, gafas y guantes de protección, mono y botas de seguridad.

Mientras que realizan la soldadura llevan el equipo completo de protección individual para protegerse de las salpicaduras y la radiación, guantes de cuero y mono o delantal y mangas de cuero, botas con puntera de acero y pantalla de soldadura completa abatible, como se puede ver en la Figura 33. Estos operarios estarán expuestos durante toda su jornada laboral, como se ha comentado antes, cuarenta horas semanales.



Figura 33. Trabajador del puesto 1: Montaje y soldadura del tanque

3.4.2. Puesto 2: Preparación y decapado de la superficie del tanque

Como se comentó anteriormente, para eliminar de la superficie del tanque los óxidos, grasas, humedad, etc., se realiza una limpieza de chorro abrasivo de arena de sílice cristalina con un grado de limpieza Sa 2^½.

Esta etapa se realizará al aire libre alejada del resto de zonas de trabajo y, por seguridad, sólo habrá un trabajador realizando el chorreo, puesto que, si son dos, uno de ellos puede lanzar el chorro hacia otro lado.

El trabajador irá provisto de protección respiratoria, guantes, mono y botas de seguridad, como se puede ver en la Figura 34, y parará cada 25 o 30 minutos durante 5 o 10 minutos mientras que realiza el chorreo debido al esfuerzo que le supone sujetar y arrastrar la manguera.



Figura 34. Trabajador del puesto 2: Preparación y decapado de la superficie del tanque

3.4.3. Puesto 3: Tratamiento de imprimación y pintura de la superficie del tanque

Después de realizar el chorreo y la limpieza de la superficie, se realiza el tratamiento de imprimación, para ello utilizamos pintura epoxi rico en zinc. Una vez que se ha aplicado una capa de imprimación y esta se ha secado, se procede a realizar la pintura de acabado, en la que se le dan dos capas de pintura al tanque.

Para realizar tanto la imprimación como la pintura se empleará una pistola con aire. El trabajador irá provisto de protección respiratoria con filtros mixtos de partículas, guantes, mono específico de pintura y botas de seguridad, como se puede observar en la Figura 35. Estos operarios estarán expuestos durante toda su jornada laboral, como se ha comentado antes, cuarenta horas semanales.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales



Figura 35. Trabajador de puesto 3: Tratamiento de imprimación y pintura de la superficie del tanque

3.5. MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRAS

En este apartado se van a describir los diferentes métodos de toma de muestras que están validados por el INSST para los contaminantes químicos que hay en cada uno de los puestos de trabajo que hemos comentado en el apartado anterior.

Además, se describirán los equipos que se utilizarán para la toma de muestras y las técnicas analíticas que se llevarán a cabo en el laboratorio para determinar las concentraciones de los contaminantes químicos que hay en las muestras que se han tomado.

3.5.1. Determinación de óxido férrico y óxido de cobre en el aire

Según el índice general de protocolos y métodos del INSST, para determinar la cantidad de óxido férrico y óxido de cobre que hay en el puesto de trabajo número uno, se utilizará el método MTA/MA-025/A16: *“Determinación de metales y sus compuestos iónicos en aire-Método de captación en filtro/ Espectrografía de absorción atómica con llama”*. Este método será aplicable a todo tipo de metales y sus compuestos iónicos a excepción de los que se presenten en forma de gas o vapor.

El intervalo de aplicación de este método depende del intervalo lineal de la calibración y del volumen de aire que se muestrea, y cubre desde la décima parte del valor límite hasta el doble del valor límite de exposición diaria (VLA-ED). El límite inferior del método está condicionado por el límite de cuantificación y el límite superior por la colmatación del filtro. En la Tabla 3 se recogen los intervalos de aplicación para la determinación de aluminio, cadmio, cinc, cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, plata y plomo.

Tabla 3. Intervalos de aplicación de método MTA/MA-025/A16, INSST

Elemento	Intervalo de trabajo ^(a) (ug/muestra)	Volumen de aire muestreado ^(b) (l)	Intervalo de concentración en aire (mg/m ³)
Aluminio	50 – 500	200	0,250 – 2,50
Cadmio	1 - 20	200	0,005 – 0,10
Cinc	1 - 10	200	0,005 – 0,05
Cobalto	5 – 50	≥ 400	0,012 – 0,12
Cobre	5 - 50	200	0,025 - 0,25
Cromo	5 – 50	200	0,025 - 0,25
Hierro	5 – 50	200	0,025 – 0,25
Manganeso	5 – 30	200	0,025 – 0,15
Molibdeno	150 – 400	200	0,750 – 2,00
Níquel	5 – 50	≥ 400	0,012 – 0,12
Plata	1 - 40	≥ 400	0,002 – 0,10
Plomo	5 - 200	≥ 200	0,025 – 1,00

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

El fundamento del método es el siguiente: se hace pasar una cantidad conocida de aire a través de un muestreador que tiene un elemento de retención con la ayuda de una bomba de muestreo. El elemento de retención se trata por el procedimiento de preparación de muestras y la disolución que se obtiene se aspira a la llama de un espectrofotómetro de absorción atómica. A continuación, dependiendo de las longitudes de onda características de cada metal se mide la absorbancia. A partir de la cantidad de analito presente en la muestra y del volumen de aire muestreado se obtiene la concentración ambiental.

– *Material necesario*

El material necesario para la toma de muestras es: bomba de muestreo, medidor de caudal, muestreador y elemento de retención.

- **Bomba de muestreo:** la bomba tiene que mantener un funcionamiento de manera continua durante el tiempo que dure el muestreo. El caudal de la bomba ha de mantenerse constante dentro de un intervalo de $\pm 5\%$ del caudal fijado durante su calibración. Para conectar la bomba y el muestreador se utilizará un tubo de goma o plástico de longitud y diámetro adecuado, para evitar estrangulamientos y fugas en las conexiones (ver Figura 36).



Figura 36. Bomba de muestreo

- **Medidor de caudal:** tiene que medir el caudal de la bomba dentro del 5% del valor requerido. Se recomienda utilizar un medidor de caudal de burbuja, Figura 37, debido a que sus lecturas no varían independientemente de la temperatura y la presión atmosférica. Aunque el medidor de caudal que viene estipulado en el método es el de burbuja, hoy en día hay medidores de caudal electrónicos.



Figura 37. Medidor de caudal de burbuja

- **Muestreador:** es necesario para captar una o varias de las fracciones respirables que se estipulan en la UNE-EN 481, que cumpla con lo establecido en UNE-EN 13205, sobre funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles, y el informe técnico CEN/TR 15230.

En la Tabla 4 se pueden observar los distintos muestreadores personales que recoge el Informe técnico CEN/TR 15230 y los elementos de retención y los caudales que se recomiendan.

Tabla 4. Muestreadores recogidos en el Informe Técnico CEN/TR 15230

Fracciones relacionadas con la salud	Muestreador personal	Caudal de muestreo l/min	Elemento de retención
Respirable	SIMPEDS	2,2	Filtro de 25 mm
	Ciclón polvo respirable	2,2	Filtro de 25 mm
	Ciclón aluminio	2,5	Filtro de 25 o 37 mm
	Ciclón plástico conductor	2,2	Filtro de 25 o 37 mm
	PGP-FSP 2	2	Filtro de 37 mm
	PGP-FSP 10	10	Filtro de 37 mm
	Ciclón nylon 10mm	1,7	Filtro de 37 mm
Inhalable y Respirable	IOM Multidust	2	Espuma y filtro de 25 mm en portafiltro
Inhalable, Torácica y Respirable	Respicon	3,11	Filtros de 37 mm

(*) Las características detalladas se pueden consultar al fabricante.

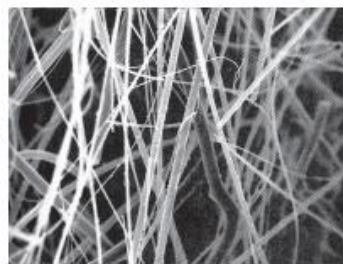
En nuestro caso, para la toma de muestras de óxido férrico y óxido de cobre vamos a utilizar un muestreador PGP-FSP 2, Figura 38, que tiene un caudal de aspiración de 2 l/min y con un filtro de membrana de 37 mm de diámetro y 8 μ m de porosidad.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

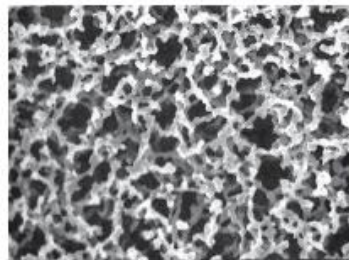


Figura 38. Muestreador PGP-FSP 2, INSST

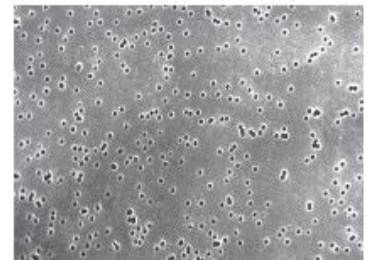
- **Elemento de retención:** es un filtro que garantiza una eficacia de retención que sea superior al 99.5% de las partículas con un diámetro de difusión de $0.3 \mu\text{m}$ y que tenga un contenido de metal muy bajo, normalmente menor de $0.1 \mu\text{g}$ del metal de interés por elemento de retención. Existen varios tipos de filtros, como se puede observar en la Figura 39, siendo los más utilizados los de membrana de ésteres de celulosa. El muestreador que se utiliza normalmente condiciona la elección del elemento de retención.



Filtro de fibra de vidrio



Filtro de membrana



Filtro de tamaño de poro uniforme

Figura 39. Filtros de retención

Todos los elementos mencionados anteriormente se conectarían como muestra la Figura 40:



Figura 40. Sistema de toma de muestras

– *Toma de muestra*

Los pasos a seguir para la toma de muestras son:

1. En primer lugar, antes de utilizar los muestreadores hay que comprobar que se encuentren limpios y secos.
2. Se monta el elemento de retención en el muestreador con ayuda de unas pinzas planas y guantes.
3. Se calibra la bomba de muestreo con el caudal que requiere el muestreador utilizando un medidor de caudal.
4. Se retiran las protecciones que lleva el muestreador y se conecta a la bomba mediante un tubo flexible, asegurándose de que no existen fugas ni estrangulamientos.
5. Para muestreos personales se coloca el muestreador en la zona de respiración del trabajador, por ejemplo, fijado a la solapa. La bomba de muestreo se sujeta en cualquier lugar de la ropa del trabajador procurando evitar estrangulamientos del tubo flexible.
6. Para iniciar el muestreo se pone en marcha la bomba y se anota la hora de comienzo de la toma de muestra.
7. Mientras que se realiza el muestreo, hay que vigilar el funcionamiento de la bomba.
8. Una vez que ha terminado la toma de muestra hay que anotar el tiempo que ha pasado desde que se inició el muestreo. Se desconecta la bomba y se retira el muestreador del sistema de muestreo.
9. A continuación, hay que anotar el caudal y el tiempo de muestreo. El caudal se deberá haber mantenido durante la toma de muestra dentro del $\pm 5\%$ del valor nominal. Si no se ha mantenido dentro de este intervalo las muestras no serán válidas.
10. Por cada lote de muestras tomadas en las mismas condiciones se adjuntarán uno o dos elementos de retención que serán etiquetados como blancos de campo. La diferencia entre los blancos y las muestras será que por ellos no habrá pasado aire. Debe de haber un blanco de campo por cada 10 elementos de retención de muestra.
11. El transporte de las muestras debe efectuarse en recipientes adecuados, para prevenir posibles daños o pérdidas de muestra durante el transporte. («Determinación de metales y sus compuestos iónicos en aire-Método de captación en filtro/ Espectrografía de absorción atómica con llama», s.f.)

3.5.2. Determinación de arena de sílice cristalina en el aire

Según el índice general de protocolos y métodos del INSST, para determinar la cantidad de arena de sílice cristalina que hay en el puesto de trabajo número dos, se utilizará el método MTA/MA-056/A06: “*Determinación de sílice libre cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita) en aire - Método del filtro de membrana / Difracción de rayos X*”.

El intervalo de aplicación de este método es de 10 µg a 200 µg de sílice cristalina por filtro, aunque el límite superior del intervalo de trabajo puede ampliarse ya que la linealidad de la recta de calibrado se mantiene para cantidades superiores de sílice en el filtro. Este intervalo de trabajo incluye concentraciones comprendidas entre la décima parte y el doble del valor límite de exposición diaria VLA-ED para los polimorfos de sílice especificados.

El fundamento del método es el siguiente: se hace pasar una cantidad conocida de aire con una bomba de muestreo personal por un sistema separador de tamaño de partícula y por un filtro de membrana, de ahí se recoge la fracción respirable de polvo suspendido en el aire.

Los filtros se calcinan y el residuo obtenido se deposita sobre un filtro de membrana de cloruro de polivinilo. A continuación, se determina la cantidad de la variedad de sílice libre cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita o mezcla de ellas) presente en la muestra con un difractómetro de rayos X, midiendo las intensidades de los picos de difracción del polimorfo de sílice e interpolando estos valores en una curva de calibración.

– *Material necesario*

El material necesario para la toma de muestras es: bomba de muestreo, medidor de caudal externo, muestreador y filtros de muestreo.

- **Bomba de muestreo:** la bomba tiene que ser tipo P que mantenga un funcionamiento de manera continua durante el tiempo que dure el muestreo. La bomba cumplirá los requisitos recogidos en UNE EN 1232. El caudal de la bomba ha de mantenerse constante dentro de un intervalo de $\pm 5\%$ del caudal fijado durante su calibración. Para conectar la bomba y el muestreador se utilizará un tubo de goma o plástico de longitud y diámetro adecuado, para evitar estrangulamientos y fugas en las conexiones.
- **Medidor de caudal extremo:** es necesario para calibrar la bomba de muestreo. Es calibrado frente a un patrón primario. Se recomienda que se utilice un medidor de caudal de burbuja puesto que, sus lecturas son independientes de la temperatura y la presión atmosférica.
- **Muestreador:** es necesario para captar la fracción respirable que se estipula en la UNE-EN 481, que cumpla con lo establecido en UNE-EN 13205, sobre funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles, y el informe

técnico CEN/TR 15230, y que sea compatible con el filtro y el sistema de muestreo utilizado.

En nuestro caso, para la toma de muestras de arena de sílice cristalina vamos a utilizar un muestreador ciclón de plástico Casella, Figura 41, que tiene un caudal de aspiración de 2.2 l/min y con un filtro de 25 mm de diámetro. La fracción no respirable se recoge sobre el capuchón de la base del ciclón.



Figura 41. Ciclón de plástico Casella, INSST

- **Filtros de muestreo:** son filtros de membrana en los que, debido a su composición, dimensiones y tamaño de poro se garantiza la recogida de la fracción respirable de la materia particulada con cuarzo y/o cristobalita presente en el aire.
- *Toma de muestra*

Los pasos a seguir para la toma de muestras son:

1. En primer lugar, calibramos la bomba de muestreo con un sistema representativo de la toma de muestra real, según lo especificado en la norma UNE-EN 1232, a un caudal de 2 l/min, para medir este caudal es necesario un dispositivo específico para ello. Anotamos la temperatura y la presión ambiental mientras que realizamos la calibración por si fuera necesario para efectuar algún tipo de corrección.
2. Se monta el filtro en el muestreador. El filtro se manipulará únicamente con pinzas de puntas planas y el muestreador permanecerá convenientemente cerrado hasta el comienzo del muestreo.
3. Antes de comenzar el muestreo se conecta el muestreador a la bomba de muestreo mediante el tubo flexible, asegurándose, de que no existen fugas ni estrangulamientos.
4. Para muestreos personales se coloca el muestreador en la zona de respiración del trabajador, por ejemplo, fijado a la solapa. La bomba de muestreo se sujeta en el cinturón o en cualquier otro lugar de la ropa del trabajador procurando evitar estrangulamientos del tubo flexible. En el caso de muestras en emplazamientos fijos, se debe elegir la localización adecuada del muestreo.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

5. Se pone en marcha la bomba para comenzar el muestreo y se anotan el caudal, la hora de comienzo y final de la toma de muestra y, si fuera necesario, la temperatura y la presión atmosférica del aire. Es recomendable tomar un volumen de aire que sea superior a 480 litros, excepto en muestreo de operaciones que tengan una corta duración en las que deberíamos aumentar el caudal de la bomba.
6. Como se ha comentado en el punto anterior, una vez se ha terminado el muestro hay que anotar el caudal y el tiempo de muestreo. El caudal se deberá haber mantenido durante la toma de muestra dentro del $\pm 5\%$ del valor nominal. Si el caudal no se ha mantenido dentro de este intervalo las muestras no serán válidas. A continuación, se retira el muestreador del sistema de muestreo y se vuelve a cerrar. Se registran la referencia de la muestra y todos los datos del muestreo.
7. Por cada lote de muestras que se hayan tomado en las mismas condiciones se adjuntarán 1 o 2 filtros que se etiquetarán como filtros blancos. Estos filtros habrán sido sometidos exactamente a la misma manipulación que las muestras, excepto que a través de ellos no se habrá hecho pasar aire. Se recomienda al menos un filtro blanco por cada 10 filtros de muestra.

Es conveniente que, junto con las muestras ambientales, se proporcione información de las características de las materias primas presentes en el lugar de trabajo en el que se ha realizado el muestreo y, si es posible, suministrar una pequeña porción del producto o productos sospechosos de originar la muestra ambiental.

8. Las muestras se enviarán lo antes posible al laboratorio, pudiendo almacenarse a temperatura ambiente. El envío de las muestras debe efectuarse en recipientes adecuados, para prevenir posibles daños o pérdidas de muestra durante el transporte. («Determinación de sílice libre cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita) en aire - Método del filtro de membrana / Difracción de rayos X», s.f.)

3.5.3. Determinación de xileno, tolueno y etilbenceno en el aire

Según el índice general de protocolos y métodos del INSST, para determinar la cantidad de xileno, tolueno y etilbenceno que hay en el puesto de trabajo número tres, se utilizará el método MTA/MA-030/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”*.

El intervalo de aplicación es para intervalos de concentración de 50 mg/m³ a 950 mg/m³ de p-xileno, de 40 mg/m³ a 810 mg/m³ de tolueno y de 50 mg/m³ a 950 mg/m³ de etilbenceno, en muestras de cinco litros de aire.

El fundamento del método es el siguiente: se hace pasar una cantidad conocida de aire a través de un tubo de relleno de carbón activo con ayuda de una bomba de muestreo personal, los vapores orgánicos se quedan absorbidos en el carbón. Más adelante, se desorben con sulfuro de

carbono y se analiza la disolución resultante en un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de llama. De ahí se obtienen las áreas de los picos de los analitos de interés y del patrón interno, determinando la cantidad presente en la muestra. A partir de la masa de los analitos presentes en la muestra se obtienen las concentraciones ambientales.

– *Material necesario*

El material necesario para la toma de muestras es: bomba de muestreo y tubos de muestreo.

- **Bomba de muestreo:** la bomba tiene que ser portátil y capaz de mantener un funcionamiento de manera continua durante el tiempo que dure el muestreo. El caudal de la bomba ha de mantenerse constante dentro de un intervalo de $\pm 5\%$ del caudal fijado durante su calibración. Para conectar la bomba y el muestreador se utilizará un tubo de goma o plástico de longitud y diámetro adecuado, para evitar estrangulamientos y fugas en las conexiones. Para calibrar la bomba se utilizará un medidor de burbuja de jabón.
- **Tubos de muestreo:** se utilizarán tubos de vidrio con los dos extremos cerrados a la llama de 7 cm de longitud, 6 mm de diámetro externo y 4 mm de diámetro interno, conteniendo dos secciones de carbón activo separadas por una porción de espuma de poliuretano de 2 mm.

Como se puede ver en la Figura 42, la primera sección contiene 100 mg de carbón activo 20/40 mallas y la segunda 50 mg. Entre el extremo de salida del tubo y la segunda sección se coloca una porción de 3 mm de espuma de poliuretano. Delante de la primera sección se coloca un tapón de lana de vidrio silanizada.

Los tubos tendrán que llevar tapones de polietileno que ajusten de manera adecuada, para prevenir fugas durante el transporte y almacenamiento de las muestras. Además, habrá que tener algún elemento de sujeción para mantener el tubo de muestreo en disposición vertical en la zona de respiración del trabajador.



Figura 42. Tubos de muestreo

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

– Toma de muestra

Los pasos a seguir para la toma de muestras son:

1. En primer lugar, hay que calibrar la bomba portátil conectado a un tubo de muestreo, utilizando un medidor de caudal externo (se recomienda utilizar un medidor de caudal de burbuja debido a que sus lecturas no varían independientemente de la temperatura y la presión atmosférica).
2. Hay que romper los extremos del tubo de cartón antes de comenzar el muestreo. Se conecta la bomba al tubo de cartón con un tubo de goma o plástico.
3. Colocar verticalmente el tubo de muestreo en la zona de respiración del trabajador, por ejemplo, sujeto a la solapa. La bomba de muestreo se sujeta en el cinturón del trabajador o en su bolsillo. En el caso de muestras estáticas debe elegirse un lugar de muestreo adecuado.
4. Poner en marcha la bomba y controlar la duración del muestreo. Normalmente el caudal no debe superar los 200 ml/min y se recomienda que el volumen de muestra sea de 5 litros.
5. Anotar y registrar los tiempos, temperatura, caudal y presión barométrica antes y después del muestreo.
6. Una vez se ha terminado el muestreo, se desconecta la bomba, se retiran los tubos de muestro y se cierran los extremos de estos con tapones de polietileno.
7. Con cada lote de muestras debe prepararse un blanco de muestra, utilizando tubos idénticos a los usados para el muestreo y sometidos a las mismas manipulaciones, excepto que no se ha pasado aire a su través.
8. Las muestras se almacenan en un lugar en el que se encuentren refrigeradas y se analizarán dentro de los veintiún días siguientes a la realización del muestreo. («Determinación de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno, p-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno) en aire - Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases», s.f.)

3.5.4. Determinación de epiclorhidrina

Según el índice general de protocolos y métodos del INSST, para determinar la cantidad de epiclorhidrina que hay en el puesto de trabajo número tres, se utilizará el método MTA/MA-032/A98: “*Determinación de vapores orgánicos en aire - Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases*”.

El intervalo de aplicación es para intervalos de concentración de global de 3 mg/m³ a 3000 mg/m³, que representa, para los diferentes compuestos individuales del campo de aplicación de este método, un intervalo de 0.1 a 2 veces sus valores límite.

El fundamento del método es el siguiente: se hace pasar una cantidad conocida de aire a través de un tubo de relleno de carbón activo con ayuda de una bomba de muestreo personal, quedando los vapores orgánicos en el carbón. A continuación, se desorben con sulfuro de carbono y se analiza la disolución resultante en un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de llama. De ese análisis se obtienen las áreas de los picos de los analitos de interés y del patrón interno, determinando la cantidad presente en la muestra. A partir de la masa de los analitos presentes en la muestra se obtienen las concentraciones ambientales.

– *Material necesario*

El material necesario para la toma de muestras es: bomba de muestreo y tubos de muestreo.

- **Bomba de muestreo:** se requiere una bomba portátil y que pueda mantener un funcionamiento de manera continua mientras se realiza el muestreo. Se mantiene un caudal constante que se debe mantener dentro de un intervalo de $\pm 5\%$ del caudal que se fija durante su calibración. Se utiliza un tubo de goma o de plástico para conectar la bomba y el muestreador, para evitar estrangulamientos y fugas en las conexiones. Para calibrar la bomba se utilizará un medidor de burbuja de jabón.
- **Tubos de muestreo:** se utilizarán tubos de vidrio con los dos extremos cerrados a la llama de 7 cm de longitud, 6 mm de diámetro externo y 4 mm de diámetro interno, conteniendo dos secciones de carbón activo separadas por una porción de espuma de poliuretano de 2 mm.

La primera sección contiene 100 mg de carbón activo 20/40 mallas y la segunda 50 mg. Entre el extremo de salida del tubo y la segunda sección se coloca una porción de 3 mm de espuma de poliuretano. Delante de la primera sección se coloca un tapón de lana de vidrio silanizada.

Para evitar fugas mientras que se almacenan y transportan las muestras los tubos tendrán que llevar tapones de polietileno que ajusten de manera adecuada. Además, habrá que tener algún elemento de sujeción para mantener el tubo de muestreo en disposición vertical en la zona de respiración del trabajador.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

– *Toma de muestra*

Los pasos a seguir para la toma de muestras son:

1. Se calibra la bomba portátil utilizando un medidor primario de caudal externo.
2. Se rompen los extremos del carbón antes de comenzar el muestreo. Se conecta la bomba al tubo de muestreo con un tubo de goma o de plástico haciendo que la de sección menor sea la que esté más próxima a la bomba.
3. Se coloca verticalmente el tubo de muestreo en la zona de respiración del trabajador (por ejemplo, sujeto a la solapa). La bomba de muestreo se sujeta en el cinturón del trabajador o en su bolsillo. En el caso de muestras estáticas debe elegirse un lugar de muestreo adecuado.
4. Se pone en marcha la bomba y se controla la duración de muestreo. El volumen máximo a muestrear depende de muchos factores que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar las tomas de muestra.
5. Los volúmenes de ruptura que se obtienen en condiciones parecidas a las reales determinan los volúmenes máximos que se tienen que muestrear.
6. Si hubiera en la atmósfera un único hidrocarburo clorado el caudal y el volumen máximo de toma de muestra vienen determinados por el volumen de ruptura que se establece en condiciones similares a las reales. Este volumen de ruptura depende factores (temperatura, concentración del analito etc.) que hay que tenerlos en cuenta cuando se realiza la toma de muestras.
7. Cuando se trata de mezclas de vapores orgánicos para determinar el volumen de muestreo máximo las siguientes indicaciones servirán para utilizarlas como base cuando se conoce la composición y se disponga de datos sobre los volúmenes de ruptura individuales en carbón activo.
8. En la mayoría de los casos, el volumen de ruptura de un vapor orgánico se ve afectado por la presencia de otros vapores presentes en la atmósfera de forma similar al aumento de su propia concentración, es decir disminuyendo su valor. El volumen máximo a muestrear vendría limitado por el volumen de ruptura del constituyente con el menor volumen de ruptura obtenido individualmente.
9. La consideración de que la concentración total de la mezcla corresponde al constituyente con menor volumen de ruptura puede proporcionar, a partir de los valores de los volúmenes de ruptura individuales de este vapor a distintas concentraciones, una estimación del volumen máximo a muestrear para la atmósfera en estudio.

10. Puede ser adecuado utilizar un factor de seguridad que dependerá de la fiabilidad en el conocimiento de la composición de la atmósfera y en los valores de los volúmenes de ruptura disponibles.
11. El caudal se fija en función del tiempo de muestreo en función de las condiciones del lugar de trabajo que se va a evaluar y del volumen máximo de muestreo. El caudal no deberá de ser mayor de 0.2 l/min.
12. Se anotan y se registran antes y después de realizar la toma de muestra los tiempos, temperatura, humedad, caudal y presión barométrica.
13. Una vez que se ha terminado el muestreo, se desconecta la bomba, se retiran los tubos de muestreo y se cierran los extremos de estos con tapones de polietileno.
14. Con cada lote de muestra debe prepararse un blanco de muestra, utilizando tubos idénticos a los usados para el muestreo y sometidos a las mismas manipulaciones, excepto que no se ha pasado aire a su través.
15. Las muestras se almacenan en un lugar en el que se encuentren refrigeradas y se analizarán dentro de los catorce días siguientes a la realización del muestreo. («Determinación de vapores orgánicos en aire - Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases», s.f.)

3.6. ESTRATEGIA DE MUESTREO

En los apartados anteriores se analizó la toxicología de los contaminantes químicos que había en la fabricación de un tanque industrial, los diferentes puestos de trabajo en los que los trabajadores estarían expuestos a los contaminantes y el método de toma de muestras para la determinación de cada uno de ellos, el equipo necesario y el procedimiento a seguir.

El objetivo de este apartado es determinar el número de muestras que se van a realizar para que los datos de la evaluación sean representativos de la exposición de los trabajadores a los contaminantes químicos sin malgastar recursos.

3.6.1. Número mínimo de muestras por jornada

Siguiendo la norma UNE-EN 689, "Atmósferas 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 la estrategia de medición", que es la adecuada para nuestro caso. Puesto que, esta norma estipula que será válida cuando el período de exposición es uniforme y no se esperan fluctuaciones importantes de la concentración.

Este criterio se basa en que el tiempo de muestreo sea un 25% del tiempo que dura la exposición durante una jornada de trabajo. Cuando la duración de una muestra es muy corta, la norma determina que se pueden utilizar criterios estadísticos para disminuir el número de muestras que se deben realizar en una jornada de trabajo.

Tabla 5. Número mínimo de mediciones por jornada, Norma UNE-EN 689. Anexo A

Tiempo de duración de la muestra	Ejemplos de tipos de medición	Nº de muestras necesario para abarcar el 25% de la exposición (supuestas 8 horas)	Nº mínimo de muestras recomendado por UNE-EN 689
10 segundos	Equipos de lectura directa Medición puntual	720	30
1 minuto	Tubos detectores de corta duración (tubos colorimétricos)	120	20
5 minutos	Tubos detectores de corta duración	24	12
15 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activo, gel de sílice), Borboteadores, etc	8	4
30 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activo, gel de sílice), Borboteadores, etc	4	3
1 hora	Filtros para muestreo de aerosoles	2	2
2 horas	Filtros para muestreo de aerosoles	1	1

3.6.2. Número de trabajadores a muestrear

La norma UNE-EN 689 establece recomendaciones sobre la selección de los trabajadores para realizar las mediciones de la exposición. Como en cada puesto de trabajo hay varias personas que realizan la misma tarea, o similares, la norma plantea la posibilidad de considerar una exposición común a todos los que realizan la misma tarea. El muestreo se debería realizar a uno de cada diez trabajadores de un grupo homogéneo. En nuestro caso, ninguno de los trabajadores de la empresa padece ningún tipo de sensibilidad especial a los contaminantes químicos mencionados anteriormente.

3.6.3. Tipos de muestreo en una jornada de trabajo

Lo primero es calcular la concentración media ponderada para una jornada laboral. Este cálculo debe corresponderse con la concentración en el puesto de trabajo, independientemente de si se mide durante la duración total de la jornada laboral o de si, por el contrario, se realiza una estimación a partir de mediciones de parte de una jornada total.

Sin embargo, a pesar de estas mediciones y promediados, se debe tener en cuenta que a lo largo o incluso en el tiempo que transcurre de una jornada a otra, esto puede variar por un factor de aleatoriedad que no se puede evitar. Esta aleatoriedad son todas aquellas variaciones en un puesto de trabajo que no podemos detectar. Algunas de estas variaciones son: que cambie la forma en la que se realiza una determinada tarea, que el tiempo empleado en realizar esta varíe o que varíen las condiciones atmosféricas o los movimientos de los trabajadores.

Las mediciones, que como ya hemos dicho pueden ser de toda la jornada o promedios de parte de ella, deben ser representativas de la realidad. Para que la medición se aproxime a la realidad se han diseñado métodos para realizar estas medidas de forma más exacta. Modelos de planificación de las mediciones que permiten obtener un valor fiable de la concentración media de una jornada laboral.

Estas mediciones se pueden realizar de manera global, sin embargo, es recomendable intentar que se adapten a la duración de cada una de las tareas de trabajo que estamos estudiando. Con esto lo que se pretende, es tener una mayor información sobre los focos de contaminación y disminuir la variabilidad en los periodos de los resultados de las muestras de cada tarea.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

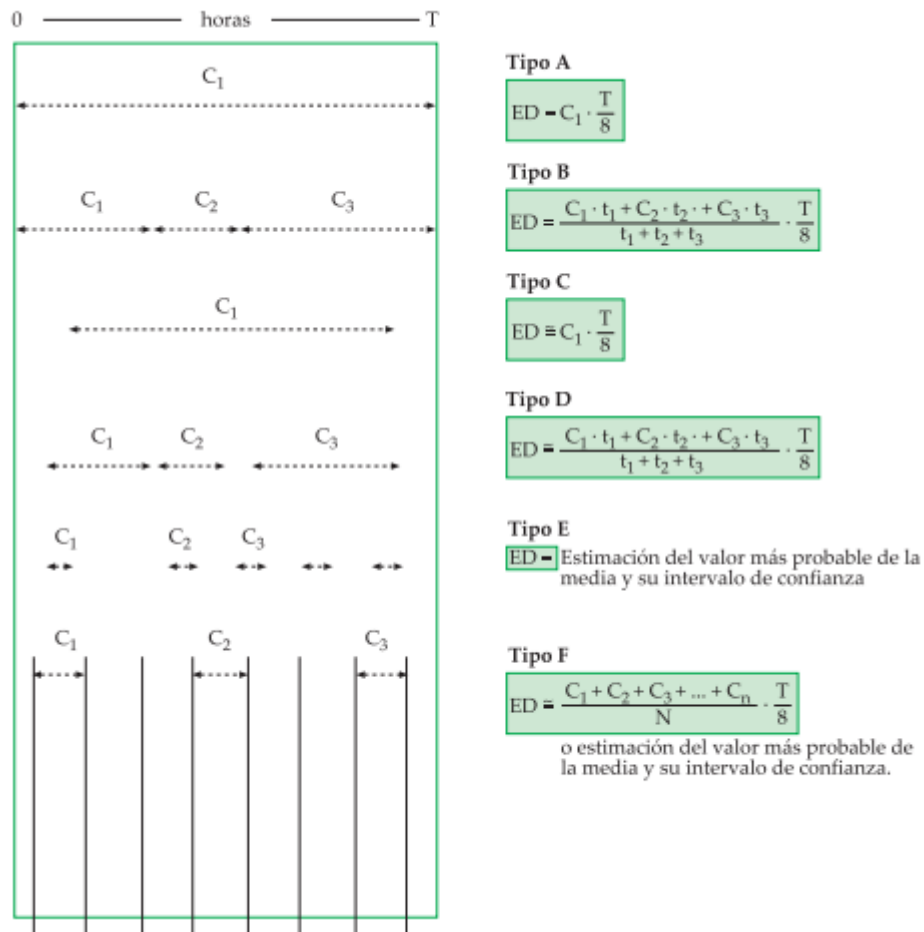


Figura 43. Tipos de muestreo en una jornada de trabajo, Guía Técnica del Real Decreto 374/2001

Como podemos ver en la Figura 43, en el eje horizontal se representa la duración de la exposición del trabajador en un día (T , en horas). También aparece C_i que representa el valor de la concentración obtenido a partir de una muestra de duración t_i .

Luego por otro lado, aparece CT que es la concentración media durante el periodo diario de exposición, ED , que es la concentración media de la jornada referida a 8 horas y las flechas, que indican los periodos muestreados dentro de la jornada laboral.

En la Figura 43 también se muestran los tipos de muestreo de una jornada de trabajo. Los modelos tipo A y B realizan la suposición de que la toma de muestras se realiza durante el total de la jornada laboral. Estos dos modelos son los que presentan mayor información sobre la exposición, por eso son preferibles al resto de modelos que se ven en la Figura 43.

El tipo A realiza la suposición de que la toma de una muestra de duración igual al periodo de exposición. El tipo B plantea cubrir el periodo de exposición con dos o más muestras consecutivas. Es más recomendable emplear el tipo de muestreo B, ya que permite detectar mejor la contaminación accidental de una muestra, así como las variaciones de la concentración durante el periodo de exposición.

Otros de los modelos de medición que podemos ver en la Figura 43 son el tipo C y D, estos realizan el muestreo de parte del tiempo total de exposición de la jornada, este muestreo suele ser entre un 70 y un 80% de la jornada. Con esta medición podemos extrapolar los datos obtenidos y suponer que, durante la totalidad de la jornada, la exposición del empelado se corresponde con esta. La diferencia entre el tipo C y D consiste en que en el C se emplea una sola muestra y el D emplea varias consecutivas.

La principal diferencia entre los tipos A y B, y los modelos C y D radica en que, para los primeros la duración de los períodos muestreados coincide con la duración diaria de la exposición. Mientras que en los tipos C y D los periodos muestreados son más cortos que la duración diaria de la exposición.

Para conseguir que en los modelos de muestreo C y D sean representativos de la exposición diaria del trabajador es necesario que, para los periodos de tiempo en los que no se ha realizado el muestreo, las condiciones sean similares a las que había durante los periodos de muestreo.

Es importante tener en cuenta que, para realizar el cálculo de la *ED* hay que considerar siempre el tiempo diario de exposición, ya que para los casos de muestreo del modelo C o D es mayor que la duración de los periodos de muestreo.

El muestreo es representativo de la exposición diaria debido a que las condiciones de las exposiciones son similares tanto cuando se realiza el muestreo como cuando no. Por ello, se empleará el tipo de muestreo D, en el que realizaremos el muestreo durante 6 horas, puesto que el tipo D se basa en muestrear el 75% de la jornada laboral de 8 horas. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (España), España, & Ministerio de la Presidencia, 2013)

3.7. RESULTADO DE LAS MUESTRAS POR SOLICITUD

Una vez que se ha realizado la toma de muestras de cada uno de los contaminantes químicos a los que están expuestos los trabajadores que fabrican tanques industriales, según lo especificado en el apartado 3.5, se llevan al laboratorio para realizar su análisis.

Los resultados que se exponen a lo largo de este apartado son los correspondientes a las muestras analizadas en el laboratorio.

Tabla 6. Resultado muestras por solicitud óxido férrico

ÓXIDO FÉRRICO			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Espectrofotómetro de absorción atómica	Filtro de membrana de ésteres de celulosa	1	0.36
		2	0.33
		3	0.27
		4	0.25
		5	0.29
		6	0.31
		7	0.34
		8	0.30
		9	0.25
		10	0.20

Tabla 7. Resultado muestras por solicitud óxido de cobre

ÓXIDO DE COBRE			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Espectrofotómetro de absorción atómica	Filtro de membrana de ésteres de celulosa	1	0.020
		2	0.015
		3	0.017
		4	0.016
		5	0.012
		6	0.019
		7	0.018
		8	0.021
		9	0.015
		10	0.018

Tabla 8. Resultado muestras por solicitud arena de sílice cristalina

ARENA DE SÍLICE CRISTALINA			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Difractómetro de rayos X	Filtración en membrana	1	0.0275
		2	0.0270
		3	0.0268
		4	0.0260
		5	0.0258
		6	0.0249
		7	0.0241
		8	0.0232
		9	0.0227
		10	0.0220

Tabla 9. Resultado muestras por solicitud xileno

XILENO			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.709
		2	0.727
		3	0.722
		4	0.739
		5	0.741
		6	0.752
		7	0.755
		8	0.758
		9	0.761
		10	0.765

Tabla 10. Resultado muestras por solicitud tolueno

TOLUENO			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.701
		2	0.748
		3	0.763
		4	0.815
		5	0.863
		6	0.889
		7	0.911
		8	1.93
		9	0.981
		10	0.942

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

Tabla 11. Resultado muestras por solicitud etilbenceno

ETILBENCENO			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.796
		2	1.023
		3	1.254
		4	1.521
		5	1.737
		6	1.854
		7	2.105
		8	2.114
		9	2.165
		10	2.212

Tabla 12. Resultado muestras por solicitud epiclorhidrina

EPICLORHIDRINA			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.0011
		2	0.0018
		3	0.0032
		4	0.0039
		5	0.0045
		6	0.0051
		7	0.0059
		8	0.0065
		9	0.0087
		10	0.0125

3.8. CÁLCULO DE LAS CONCENTRACIONES Y EXPOSICIONES DIARIAS

Una vez se han obtenido las masas de los contaminantes a partir de los análisis del laboratorio, se calcularán las concentraciones de los contaminantes que se encuentran en el proceso de fabricación de un tanque industrial, a partir de las masas mencionadas anteriormente y de los volúmenes de aire tomados por las bombas de aspiración de cada muestra.

Para hallar la concentración, en primer lugar, hay que calcular los volúmenes con la siguiente ecuación:

$$V = Q \cdot t$$

Donde Q es el caudal de aire aspirado y t el tiempo de muestreo para cada muestra.

Para obtener la concentración de los contaminantes se usará la ecuación:

$$C = \frac{\text{masa (mg)}}{\text{volumen (m}^3\text{)}}$$

Para calcular la concentración media ponderada durante el período de exposición se usará la siguiente ecuación:

$$C_{med} = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{\sum t_i} \left(\frac{mg}{m^3} \right)$$

Las ecuaciones utilizadas para calcular la exposición diaria (ED) y la exposición de corta duración (EC) son las siguientes:

$$ED = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{\sum t_i} \cdot \frac{T}{8} \left(\frac{mg}{m^3} \right)$$

$$EC = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{\sum t_i} \cdot \frac{T}{15} \left(\frac{mg}{m^3} \right)$$

Donde T es la duración diaria de la exposición al agente químico y C_i es el valor de la concentración obtenido a partir de una muestra de duración t_i .

3.8.1. Datos utilizados para la realización de los cálculos

Este apartado consiste en enumerar los datos que se emplearon en la realización de los cálculos que se harán en los apartados siguientes (3.8.2 y 3.8.3).

Los datos utilizados corresponden a lo estipulado por los métodos de toma de muestras y la norma UNE-EN 689 para los diferentes contaminantes químicos presentes en cada puesto de trabajo. Para todos los puestos de trabajo la jornada es de ocho horas diarias, es decir, cuarenta horas semanales, pero en nuestro caso el muestreo será de 6 horas diarias puesto que nuestro muestreo es de tipo D.

3.8.1.1. Puesto 1: Montaje y soldadura del tanque

- **Óxido férrico:**
 - Número mínimo de muestras según la norma UNE-EN 13890, exposición en el lugar de trabajo. Procedimientos para la medida de metales y no metales en partículas en suspensión en el aire: 6 muestras
 - Número de muestras tomadas: 10 muestras
 - Volumen de aire: 200 l
 - Caudal de la bomba: 2 l/min

- **Óxido de cobre:**
 - Número mínimo de muestras según la norma UNE-EN 13890, exposición en el lugar de trabajo. Procedimientos para la medida de metales y no metales en partículas en suspensión en el aire: 6 muestras
 - Número de muestras tomadas: 10 muestras
 - Volumen de aire: 200 l
 - Caudal de la bomba: 2 l/min

3.8.1.2. Puesto 2: Preparación y decapado de la superficie del tanque

- **Arena de sílice cristalina:**
 - Número mínimo de muestras según la norma UNE-EN 689:2019+AC: 3 muestras
 - Número de muestras tomadas: 10 muestras
 - Volumen de aire: 480 l
 - Caudal de la bomba: 2.2 l/min

3.8.1.3. Puesto 3: Tratamiento de imprimación y pintura de la superficie del tanque

- **Xileno:**
 - Número mínimo de muestras según la norma UNE-EN 689:2019+AC: 3 muestras
 - Número de muestras tomadas: 10 muestras
 - Volumen de aire: 5 l
 - Caudal de la bomba: 200 ml/min

- **Tolueno:**
 - Número mínimo de muestras según la norma UNE-EN 689:2019+AC: 3 muestras
 - Número de muestras tomadas: 10 muestras
 - Volumen de aire: 5 l
 - Caudal de la bomba: 200 ml/min

- **Etilbenceno:**
 - Número mínimo de muestras según la norma UNE-EN 689: 2019+AC: 3 muestras
 - Número de muestras tomadas: 10 muestras
 - Volumen de aire: 5 l
 - Caudal de la bomba: 200 ml/min

- **Epiclorhidrina:**
 - Número mínimo de muestras según la norma UNE-EN 689: 2019+AC: 3 muestras
 - Número de muestras tomadas: 10 muestras
 - Volumen de aire: 5l
 - Caudal de la bomba: 0.2 l/min

3.8.2. Descripción de los cálculos a realizar

A continuación, se van a realizar los cálculos para obtener el tiempo de muestreo, exposición diaria e índice de exposición. Estos datos nos ayudarán a valorar si hay o no riesgo en el puesto de trabajo.

Como estos cálculos son los mismos para todos los contaminantes, se explicarán en base a uno de ellos y posteriormente se replicará para el resto de los contaminantes. El resultado de todos los contaminantes se muestra posteriormente en varias tablas.

El primer contaminante que nos encontramos en el puesto de trabajo 1 es el óxido férrico, el caudal de muestreo es de 2 l/min, el volumen en aire es de 200 l y el número de muestras tomadas es 10. El tiempo de muestreo será:

$$V = Q \cdot t \rightarrow t = \frac{V}{Q} = \frac{200 \text{ l}}{2 \text{ l/min}} = 100 \text{ min}$$

Los resultados de las muestras analizadas en el laboratorio dieron las siguientes masas:

Muestra	Masa (mg)
1	0.36
2	0.33
3	0.27
4	0.25
5	0.29
6	0.31
7	0.34
8	0.30
9	0.25
10	0.20

Con los datos de las masas de cada una de las muestras, obtenemos la concentración de cada una de ellas con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$C_1 = \frac{0.36 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.80 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_2 = \frac{0.33 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.65 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_3 = \frac{0.27 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.35 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_4 = \frac{0.25 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.25 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_5 = \frac{0.29 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.45 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_6 = \frac{0.31 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.55 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_7 = \frac{0.34 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.70 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_8 = \frac{0.30 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.50 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_9 = \frac{0.25 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.25 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{10} = \frac{0.20 \text{ mg}}{0.2 \text{ m}^3} = 1.00 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

A continuación, calculamos la concentración media ponderada con la ecuación:

$$C_{media} = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{\sum t_i}$$

$$C_{media} = \frac{((1.80 \cdot 100) + (1.65 \cdot 100) + (1.35 \cdot 100) + (1.25 \cdot 100) + (1.45 \cdot 100) + (1.55 \cdot 100) + (1.7 \cdot 100) + (1.5 \cdot 100) + (1.25 \cdot 100) + (1.0 \cdot 100))}{(100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100)}$$

$$C_{media} = 1.45 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Los trabajadores que realizan los trabajos del puesto de trabajo 1 se encuentran expuestos a óxido férrico durante 8 horas diarias. Con esto, obtenemos que la exposición media ponderada para 8 horas es:

$$ED = \frac{\sum C_i \cdot t_i}{\sum t_i} \cdot \frac{T}{8} = 1.45 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{8h}{8h} = 1.45 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

3.8.3. Resultados de los cálculos

En las siguientes tablas se recogen los datos obtenidos de los cálculos explicados en el apartado 3.8.2 para cada uno de los contaminantes químicos que se encuentran en los puestos de trabajo.

Tabla 13. Resultados de los cálculos de óxido férrico

ÓXIDO FÉRRICO								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	2	100	200	0.2	0.36	1.80	1.45	1.45
2	2	100	200	0.2	0.33	1.65		
3	2	100	200	0.2	0.27	1.35		
4	2	100	200	0.2	0.25	1.25		
5	2	100	200	0.2	0.29	1.45		
6	2	100	200	0.2	0.31	1.55		
7	2	100	200	0.2	0.34	1.70		
8	2	100	200	0.2	0.30	1.50		
9	2	100	200	0.2	0.25	1.25		
10	2	100	200	0.2	0.20	1.0		

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

Tabla 14. Resultados de los cálculos de óxido de cobre

ÓXIDO DE COBRE								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	2	100	200	0.2	0.020	0.100	0.085	0.085
2	2	100	200	0.2	0.015	0.075		
3	2	100	200	0.2	0.017	0.085		
4	2	100	200	0.2	0.016	0.080		
5	2	100	200	0.2	0.012	0.060		
6	2	100	200	0.2	0.019	0.095		
7	2	100	200	0.2	0.018	0.090		
8	2	100	200	0.2	0.021	0.105		
9	2	100	200	0.2	0.015	0.075		
10	2	100	200	0.2	0.018	0.090		

Tabla 15. Resultados de los cálculos de arena de sílice cristalina

ARENA DE SÍLICE CRISTALINA								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	2.2	218	480	0.48	0.0275	0.0573	0.052	0.052
2	2.2	218	480	0.48	0.0270	0.0563		
3	2.2	218	480	0.48	0.0268	0.0558		
4	2.2	218	480	0.48	0.0260	0.0542		
5	2.2	218	480	0.48	0.0258	0.0538		
6	2.2	218	480	0.48	0.0249	0.0519		
7	2.2	218	480	0.48	0.0241	0.0502		
8	2.2	218	480	0.48	0.0232	0.0483		
9	2.2	218	480	0.48	0.0227	0.0473		
10	2.2	218	480	0.48	0.0220	0.0458		

Tabla 16. Resultados de los cálculos de xileno

XILENO								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.709	141.8	148.58	148.58
2	0.2	25	5	0.005	0.727	145.4		
3	0.2	25	5	0.005	0.722	144.4		
4	0.2	25	5	0.005	0.739	147.8		
5	0.2	25	5	0.005	0.741	148.2		
6	0.2	25	5	0.005	0.752	150.4		
7	0.2	25	5	0.005	0.755	151.0		
8	0.2	25	5	0.005	0.758	151.6		
9	0.2	25	5	0.005	0.761	152.2		
10	0.2	25	5	0.005	0.765	153.0		

Tabla 17. Resultados de los cálculos de tolueno

TOLUENO								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.701	140.2	190.9	190.9
2	0.2	25	5	0.005	0.748	149.6		
3	0.2	25	5	0.005	0.763	152.6		
4	0.2	25	5	0.005	0.815	163.0		
5	0.2	25	5	0.005	0.863	172.6		
6	0.2	25	5	0.005	0.889	177.8		
7	0.2	25	5	0.005	0.911	182.2		
8	0.2	25	5	0.005	1.93	386.0		
9	0.2	25	5	0.005	0.981	196.2		
10	0.2	25	5	0.005	0.942	188.4		

Tabla 18. Resultados de los cálculos de etilbenceno

ETILBENCENO								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.796	159.2	335.6	335.6
2	0.2	25	5	0.005	1.023	204.6		
3	0.2	25	5	0.005	1.254	250.8		
4	0.2	25	5	0.005	1.521	304.2		
5	0.2	25	5	0.005	1.737	347.4		
6	0.2	25	5	0.005	1.854	370.8		
7	0.2	25	5	0.005	2.105	421.0		
8	0.2	25	5	0.005	2.114	422.8		
9	0.2	25	5	0.005	2.165	433.0		
10	0.2	25	5	0.005	2.212	442.4		

Tabla 19. Resultados de los cálculos de epiclorhidrina

EPICLORHIDRINA								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.0011	0.22	1.06	1.06
2	0.2	25	5	0.005	0.0018	0.36		
3	0.2	25	5	0.005	0.0032	0.64		
4	0.2	25	5	0.005	0.0039	0.78		
5	0.2	25	5	0.005	0.0045	0.90		
6	0.2	25	5	0.005	0.0051	1.02		
7	0.2	25	5	0.005	0.0059	1.18		
8	0.2	25	5	0.005	0.0065	1.30		
9	0.2	25	5	0.005	0.0087	1.74		
10	0.2	25	5	0.005	0.0125	2.50		

3.9. VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

En este apartado, se valorará la exposición una vez se han calculado las concentraciones y las exposiciones diarias a las que se ven expuestos los trabajadores que se dedican a la fabricación de tanques industriales.

Para evaluar el riesgo por inhalación se comparará la concentración de aire ponderada de un determinado contaminante durante toda la jornada laboral con los Valores Límite Ambientales fijados para el agente en cuestión, tanto los definidos para exposiciones diarias (VLA-ED) como para los definidos en períodos cortos de exposición (VLA-EC).

En base al resultado de esta comparativa se obtendrán conclusiones sobre la exposición y se tomarán decisiones sobre las medidas preventivas a desarrollar. Como la concentración del aire es una magnitud variable a lo largo del tiempo, se puede dar la posibilidad de que no se pueda obtener una conclusión de la comparativa mencionada anteriormente, puesto que los datos obtenidos en las mediciones corresponden a un período de tiempo limitado.

3.9.1. Parámetros que intervienen en el cálculo

3.9.1.1. Valor Límite Ambiental (VLA)

Son valores límite de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en la zona de respiración de un trabajador, es decir, representan las condiciones a las que se admite que un trabajador está expuesto a lo largo de su vida laboral. Como todos los trabajadores no responden igual, por genética o hábitos de vida, se habla de mayoría y no de totalidad. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$VLA \left(\frac{mg}{m^3} \right) = \frac{(VLA \text{ en ppm}) \cdot (\text{peso molecular del agente químico en gramos})}{24.04}$$

Los VLA se utilizan exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos que se producen por inhalación de los agentes químicos que se encuentran en la lista de Valores Límite.

Existen dos tipos de Valores Límite Ambientales: valor límite ambiental para la exposición diaria (VLA-ED) y valor límite ambiental para la exposición de corta duración (VLA-EC), ya mencionados en el apartado 3.1.

3.9.1.2. Índice de exposición (I)

El índice de exposición de la jornada (I) es un parámetro adimensional que se utiliza para determinar si las concentraciones de los contaminantes se encuentran dentro de los límites máximos permitidos, comparando la exposición diaria (ED) con los Valores Límite Ambientales (VLA). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{ED}{VLA - ED}$$

3.9.1.3. Valoración de la exposición por comparación con el VLA-ED

Una vez que se ha calculado el Índice de exposición de cada uno de los contaminantes, se compara con el VLA-ED para valorar la exposición.

En los Anexos C y G de la norma UNE-EN 689:2019, sobre: Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición ambiental, se recogen dos sistemas para la toma de decisiones según el número de muestras: cuando se trata de un número pequeño y cuando se trata de un gran número.

En este caso, al tratarse de un pequeño número de muestras ($n < 6$) utilizaremos el sistema de toma de decisiones que se explica en el Anexo C de la norma UNE-EN 689:2019.

Según el valor resultado obtenido al calcular el Índice de exposición se decidirá el resultado de la decisión de la siguiente forma:

- a) Si $I_1 \leq 1$, la exposición es aceptable, por lo que se puede considerar que es improbable que se supere el Valor Límite Ambiental.
- b) Si $I_1 > 1$, la exposición es inaceptable, por lo que se debe corregir la exposición.
- c) Si $0.1 < I_1 \leq 1$, la exposición es incierta. Se deben obtener como mínimo dos valores más de ED para tener un mínimo de tres Índices de exposición. En base al resultado de estos tres Índices de exposición:
 - Si $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n \leq 0.25$, la exposición es aceptable.
 - Si $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n > 1$, la exposición es inaceptable. Por lo tanto, habría que corregir la exposición.
 - Si $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n \leq 1$, pero no se cumple que es ≤ 0.25 , se hallará la media geométrica de los índices:

$$MG = \sqrt[n]{I_1 \cdot I_2 \cdot \dots \cdot I_n}$$

- Si $MG \leq 0.5$, la exposición es aceptable.
- Si $MG > 0.5$, no se podrá obtener una conclusión definitiva. Por lo que se puede optar por obtener un nuevo índice como se explicó anteriormente o bien, detener el proceso de evaluación considerando la necesidad de establecer un control periódico de la exposición o implantar medidas específicas de prevención y repetir la evaluación después de su puesta en funcionamiento.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

Dependiendo del resultado de la decisión se tendrán tres posibilidades:

- **Exposición aceptable:** se puede considerar que es improbable que se superen los Valores Límite Ambientales en un futuro, siempre y cuando las condiciones no varíen.
- **Exposición inaceptable:** se puede considerar que es probable que se superen los Valores Límite Ambientales en alguna ocasión, por lo que habría que corregirla.
- **Exposición incierta:** es aquella en la cual no se superan los Valores Límite Ambientales y no se puede determinar si se superarán o no en un futuro.

En la Figura 44, obtenida del Anexo C de la norma UNE-EN 689:2019, se resume el procedimiento que se ha explicado para la evaluación de las exposiciones.

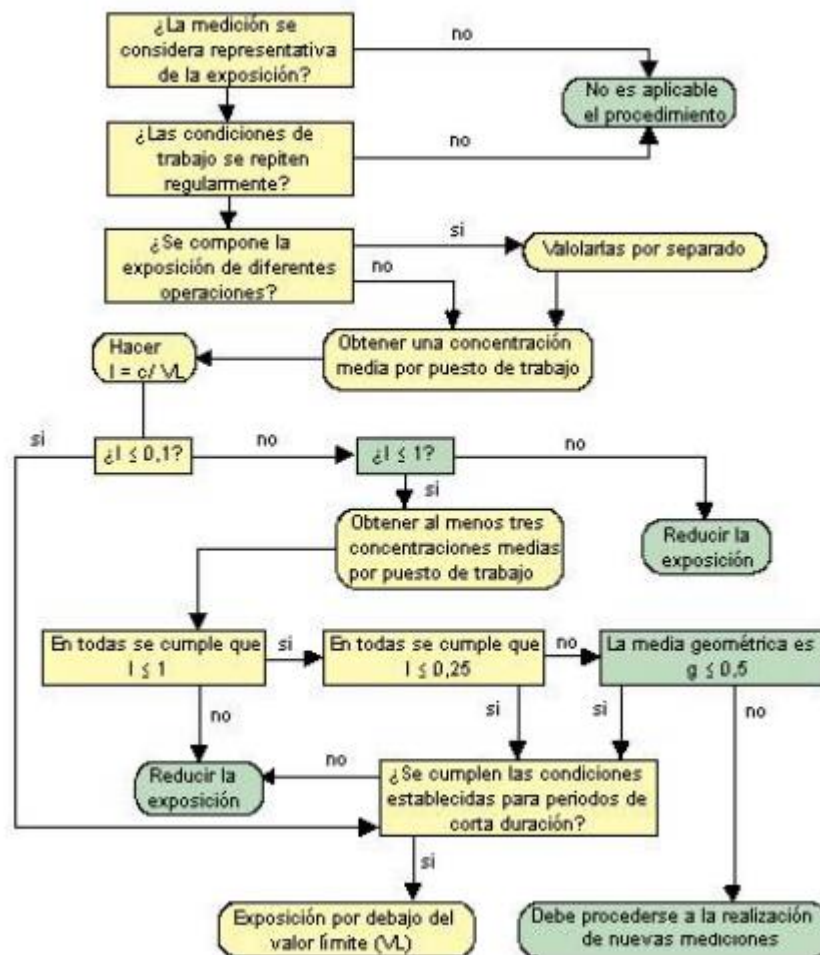


Figura 44. Evaluación de las exposiciones a través de la medición ambiental. Esquema de actuación según UNE-EN 689

3.9.1.4. Valoración de la exposición por comparación con el VLA-EC

Para poder valorar el riesgo por inhalación por comparación con el Valor Límite Ambiental para períodos de corta duración (VLA-EC) hay que obtener la concentración media ponderada durante el período de 15 minutos donde la exposición sea la más elevada con respecto a toda la exposición laboral.

Como en una jornada laboral de 8 horas, existen 32 períodos de 15 minutos consecutivos, es muy baja la probabilidad de muestrear el período de exposición de mayor concentración habiendo escogido un número determinado de períodos. Por ello, a lo hora de realizar la toma de muestras, se debe intentar realizar cuando las condiciones sean más desfavorables.

En nuestro caso, para realizar la valoración de la exposición para períodos de corta duración, escogeremos de entre todos los valores de masa de cada uno de los contaminantes químicos la mayor.

3.9.1.5. Efectos contaminados de agentes químicos

En los apartados anteriores, todos los parámetros que se han visto (Exposiciones Diarias, Valores Límite Ambientales, etc.) se encontraban relacionados con un solo agente químico, es decir, no se tenían en cuenta los efectos que pueden causar la existencia de varios agentes químicos en el mismo puesto de trabajo. En la Guía Técnica del Real Decreto 374/2001 se especifica que cuando en un ambiente se encuentran varios agentes que afectan a un sistema, se debe tener en cuenta su efecto combinado como un aditivo siempre que no se posea de información específica donde se asegure que dichos efectos actúan de manera independiente.

Los Valores Límite Ambientales se calcularán con las siguientes fórmulas:

- Para la comparación de la exposición diaria (ED) con el Valor límite ambiental para la exposición diaria (VLA-ED)

$$\sum_{i=1}^n \frac{ED_i}{VLA - ED_i}$$

- Para la comparación de la exposición de corta duración (EC) con el Valor Límite Ambiental para períodos de corta duración (VLA-EC)

$$\sum_{i=1}^n \frac{EC_i}{VLA - EC_i}$$

Si el resultado del sumatorio es superior a la unidad, quiere decir que se ha superado el Valor Límite Ambiental para esa mezcla de agentes químicos.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

3.9.1.6. Mediciones periódicas

Si cuando se realiza la evaluación de la exposición laboral este valor es cercano al valor límite se deben realizar de forma regular mediciones periódicas. Estas mediciones servirán para corroborar que las condiciones que se midieron en el momento de realizar la valoración de la exposición no varían a lo largo del tiempo. Estas nuevas mediciones ayudarán a comprobar si las medidas de control son eficaces o no, y, si se han producido cambios o tendencias en las exposiciones. Estas mediciones se realizarán durante una jornada normal de trabajo.

Si fuera necesario realizar estas mediciones, pasadas 16 semanas de la evaluación de la exposición se realizará la primera medición. Las siguientes mediciones se realizarán dependiendo de la concentración de la exposición laboral de la siguiente forma:

- Si la concentración de la exposición laboral no excede $\frac{1}{4}$ del VLA-ED se realizará a las 64 semanas.
- Si la concentración de la exposición laboral excede $\frac{1}{4}$ del VLA-ED y no excede $\frac{1}{2}$ del VLA-ED se realizará a las 32 semanas.
- Si la concentración excede $\frac{1}{2}$ del VLA-ED, pero no excede el VLA-ED se realizará a las 16 semanas.

Si al realizar varias mediciones obtuviéramos valores de la concentración de la exposición laboral muy inferiores al valor de VLA-ED podríamos reconsiderar la evaluación, puesto que, deberíamos haberla considerado aceptable desde que se realizó la evaluación de la exposición.

Si en una de las mediciones, la concentración de la exposición laboral es superior al VLA-ED, se determinará que la exposición no es aceptable. En tal caso, se determinarán las causas y las medidas preventivas para reducir la exposición y volver a evaluar la exposición.

3.9.2. Resultados de los cálculos

3.9.2.1. Valoración de la exposición de corta duración (VLA-EC)

En la Tabla 20 se recogen los resultados de la valoración de la exposición de corta duración por comparación con los VLA-EC de cada uno de los compuestos químicos que se encuentran en los puestos de trabajo:

Tabla 20. Resultados obtenidos de la valoración de exposición de corta duración

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-EC					
Puesto	Contaminante	Cmax (mg/m ³)	VLA-EC (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
1	Óxido férrico	1.80	15.00	0.12	I < 1, exposición aceptable
1	Óxido de cobre	0.02	0.60	0.17	I < 1, exposición aceptable
2	Arena de sílice cristalina	0.0573	0.15	0.38	I < 1, exposición aceptable
3	Xileno	153	442	0.35	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	386	384	1.01	I > 1, exposición inaceptable
3	Etilbenceno	442.4	884	0.50	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	2.5	5.7	0.44	I < 1, exposición aceptable

En la tabla se muestran los resultados de la valoración de la exposición de corta duración, en ella podemos ver que en el puesto de trabajo 3 existe una incidencia con el tolueno, en el que la valoración es inaceptable ya que es superior a la unidad.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

3.9.2.2. Valoración de la exposición diaria (VLA-ED)

Los resultados de la valoración de la exposición diaria por comparación con los VLA-ED de cada uno de los compuestos químicos que se encuentran en los puestos de trabajo se recogen en la Tabla 21:

Tabla 21. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-ED					
Puesto	Contaminante	ED (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
1	Óxido férrico	1.450	5.00	0.29	I < 1, exposición aceptable
1	Óxido de cobre	0.086	0.20	0.43	I < 1, exposición aceptable
2	Arena de sílice cristalina	0.052	0.05	1.04	I > 1, exposición inaceptable
3	Xileno	148.580	221.00	0.67	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	190.860	192.00	0.99	I < 1, exposición aceptable
3	Etilbenceno	335.620	441.00	0.76	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	1.064	1.90	0.56	I < 1, exposición aceptable

En la tabla se muestran los resultados de la exposición por comparación individual de cada agente químico. Como se puede observar, en el puesto de trabajo 2 existe una incidencia con la arena de sílice cristalina, en el que la valoración es inaceptable ya que es superior a la unidad.

También se puede observar que la valoración de tolueno se encuentra cerca del valor límite, pero no llega a superarlo. Por ello, como se explica en el apartado 3.9.1.6, se deben realizar mediciones periódicas para comprobar que las condiciones que se midieron en el momento de realizar la valoración de la exposición no varían a lo largo del tiempo.

La valoración no se puede dar por finalizada puesto que aún no se han tenido en cuenta que en dos de los puestos de trabajo se tiene una mezcla de agentes químicos.

3.9.2.3. Efectos combinados en el puesto de trabajo 1

En el puesto de trabajo 1, en el que se realiza el montaje y la soldadura del tanque, intervienen dos contaminantes químicos que afectan al sistema respiratorio: óxido férrico y óxido de cobre. Por lo que, para determinar la valoración de la exposición sumaremos los índices de exposición de ambos.

$$\sum I = 0.29 + 0.43 = 0.72 < 1 \rightarrow \text{Exposición aceptable}$$

3.9.2.2. Efectos combinados en el puesto de trabajo 3

En el puesto de trabajo 3 se realizan los tratamientos de imprimación y pintura del tanque. En este puesto intervienen cuatro contaminantes químicos que afectan al sistema nervioso central y al respiratorio. Estos contaminantes son: xileno, tolueno, etilbenceno y epiclorhidrina.

Para determinar la valoración de la exposición en este puesto de trabajo se sumarán los índices de exposición de cada uno de los contaminantes.

$$\sum I = 0.67 + 0.99 + 0.76 + 0.56 = 2.98 > 1 \rightarrow \text{Exposición inaceptable}$$

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

CAPÍTULO 4:

Conclusiones y Soluciones tras la
Evaluación Higiénica

4.1. CONCLUSIONES TRAS LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN HIGIÉNICA

A lo largo de los diferentes apartados del capítulo 3 se recogieron las muestras de los contaminantes químicos a los que se encuentran expuestos los trabajadores que fabrican un tanque industrial, se recibieron los resultados de los análisis del laboratorio y se evaluó la exposición a dichos contaminantes. Una vez realizada la evaluación tanto a exposición de corta duración como a exposición diaria se llegaron a las siguientes conclusiones:

- En la evaluación de exposición de corta duración, el tolueno tiene un riesgo inaceptable.
- En la evaluación de exposición diaria, en los puestos de trabajo 2 y 3 el riesgo es inaceptable.

A raíz de los resultados obtenidos en el apartado 3, en este apartado se van a explicar las medidas preventivas que se van a adoptar para proteger a los trabajadores que se dedican a la fabricación de tanques industriales.

Al trabajar al aire libre no se puede aplicar una medida de protección colectiva que sea eficaz ya que no se puede trabajar sobre el origen, es decir, no se puede encapsular el tanque para que el trabajador realice sus tareas desde el exterior. Una opción para proteger a otros trabajadores que se encuentran en la misma zona de trabajo es encapsular el tanque y que en su interior se encuentren dos trabajadores. No puede quedarse solamente un trabajador dentro del tanque en vista de que pueda ocurrir alguna emergencia o accidente.

Puesto que a los dos trabajadores que realizan la pintura del tanque no se les puede aislar del contaminante, otra opción es trabajar en el medio de transmisión. Esto supondría colocar algún dispositivo de aspiración o de ventilación, es decir, un ventilador con una manguera que impulsa aire. Este dispositivo serviría para extraer el contaminante o bien para impulsar aire limpio desde el exterior. Esto podría generar un problema ya que al insertar aire limpio con el fin de dispersar el contaminante generaría una contaminación de la pintura. Esta opción también se descarta puesto que supone una mala calidad de acabado de la pintura.

La opción elegida es aplicar las medidas sobre el trabajador, es decir, rotación en el puesto de trabajo hasta determinadas horas y dotación del equipo de protección individual.

4.1.1. Primera medida preventiva: rotación de los trabajadores durante la jornada laboral

4.1.1.1. Rotación cada 4 horas de trabajo

Si se realizara la rotación de los trabajadores, se reduciría la exposición a los contaminantes químicos. Esta rotación supondría que el trabajador desempeñe su tarea durante cuatro horas diarias en lugar de ocho, y se realizara un cambio en el que otro trabajador ocuparía su puesto y trabajaría durante otras cuatro horas.

Realizando esta rotación se reduciría la exposición de los trabajadores de los puestos de trabajo 2 y 3 a los contaminantes. Para demostrar si el riesgo se consideraría aceptable se han vuelto a realizar los cálculos para determinar la exposición. Los datos de las muestras fueron los obtenidos en el capítulo anterior.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

Se ha supuesto que las primeras cuatro muestras de los contaminantes químicos serían las correspondientes para las cuatro primeras horas de trabajo. Una vez que han pasado las cuatro horas, se cambia de trabajador y continua con la tarea, siendo las muestras obtenidas las cuatro siguientes a las mencionadas en el primer trabajador y obtenidas en el capítulo anterior.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los contaminantes químicos tanto del puesto de trabajo 2 como del 3:

-ARENA DE SÍLICE CRISTALINA:

Tabla 22. Resultado muestras por solicitud arena de sílice cristalina

ARENA DE SÍLICE CRISTALINA TRABAJADOR 1 (4h)				ARENA DE SÍLICE CRISTALINA TRABAJADOR 2 (4h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Difractómetro de rayos X	Filtración en membrana	1	0.0273	Difractómetro de rayos X	Filtración en membrana	6	0.0249
		2	0.0270			7	0.0241
		3	0.0268			8	0.0232
		4	0.0260			9	0.0227
		5	0.0258			10	0.0220

Tabla 23. Resultado de los cálculos de arena de sílice cristalina. Trabajador 1

ARENA DE SÍLICE CRISTALINA TRABAJADOR 1 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	2.2	218	480	0.48	0.0275	0.0573	0.0278	0.0278
2	2.2	218	480	0.48	0.0270	0.0563		
3	2.2	218	480	0.48	0.0268	0.0558		
4	2.2	218	480	0.48	0.0260	0.0542		
5	2.2	218	480	0.48	0.0258	0.0538		

Tabla 24. Resultado de los cálculos de arena de sílice cristalina. Trabajador 2

ARENA DE SÍLICE CRISTALINA TRABAJADOR 2 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
6	2.2	218	480	0.48	0.0249	0.0519	0.0243	0.0243
7	2.2	218	480	0.48	0.0241	0.0502		
8	2.2	218	480	0.48	0.0232	0.0483		
9	2.2	218	480	0.48	0.0227	0.0473		
10	2.2	218	480	0.48	0.0220	0.0458		

-XILENO:

Tabla 25. Resultado muestras por solicitud xileno

XILENO TRABAJADOR 1 (4h)				XILENO TRABAJADOR 2 (4h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.709	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	6	0.752
		2	0.727			7	0.755
		3	0.722			8	0.758
		4	0.739			9	0.761
		5	0.741			10	0.765

Tabla 26. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 1

XILENO TRABAJADOR 1 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.709	141.8	72.76	72.76
2	0.2	25	5	0.005	0.727	145.4		
3	0.2	25	5	0.005	0.722	144.4		
4	0.2	25	5	0.005	0.739	147.8		
5	0.2	25	5	0.005	0.741	148.2		

Tabla 27. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 2

XILENO TRABAJADOR 2 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
6	0.2	25	5	0.005	0.752	150.4	75.82	75.85
7	0.2	25	5	0.005	0.755	151.0		
8	0.2	25	5	0.005	0.758	151.6		
9	0.2	25	5	0.005	0.761	152.2		
10	0.2	25	5	0.005	0.765	153.0		

-TOLUENO

Tabla 28. Resultados muestras por solicitud tolueno

TOLUENO TRABAJADOR 1 (4h)				TOLUENO TRABAJADOR 2 (4h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.701	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	6	0.889
		2	0.748			7	0.911
		3	0.763			8	1.93
		4	0.815			9	0.981
		5	0.863			10	0.942

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

Tabla 29. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 1

TOLUENO TRABAJADOR 1 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.701	140.2	60.63	60.63
2	0.2	25	5	0.005	0.748	149.6		
3	0.2	25	5	0.005	0.763	152.6		
4	0.2	25	5	0.005	0.815	163.0		
5	0.2	25	5	0.005	0.863	172.6		

Tabla 30. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 2

TOLUENO TRABAJADOR 2 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
6	0.2	25	5	0.005	0.889	177.8	113.06	113.06
7	0.2	25	5	0.005	0.911	182.2		
8	0.2	25	5	0.005	1.93	386.0		
9	0.2	25	5	0.005	0.981	196.2		
10	0.2	25	5	0.005	0.942	188.4		

-ETILBENCENO

Tabla 31. Resultado muestras por solicitud etilbenceno

ETILBENCENO TRABAJADOR 1 (4h)				ETILBENCENO TRABAJADOR 2 (4h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.796	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	6	1.854
		2	1.023			7	2.105
		3	1.254			8	2.114
		4	1.521			9	2.165
		5	1.737			10	2.212

Tabla 32. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 1

ETILBENCENO TRABAJADOR 1 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.796	159.2	126.62	126.62
2	0.2	25	5	0.005	1.023	204.6		
3	0.2	25	5	0.005	1.254	250.8		
4	0.2	25	5	0.005	1.521	304.2		
5	0.2	25	5	0.005	1.737	347.4		

Tabla 33. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 2

ETILBENCENO TRABAJADOR 2 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
6	0.2	25	5	0.005	1.854	370.8	209.00	209.00
7	0.2	25	5	0.005	2.105	421.0		
8	0.2	25	5	0.005	2.114	422.8		
9	0.2	25	5	0.005	2.165	433.0		
10	0.2	25	5	0.005	2.212	442.4		

-EPICLORHIDRINA

Tabla 34. Resultados muestras por solicitud epiclorhidrina

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 1 (4h)				EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 2 (4h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.0011	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	6	0.0051
		2	0.0018			7	0.0059
		3	0.0032			8	0.0065
		4	0.0039			9	0.0087
		5	0.0045			10	0.0125

Tabla 35. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 1

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 1 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.0011	0.22	0.29	0.29
2	0.2	25	5	0.005	0.0018	0.36		
3	0.2	25	5	0.005	0.0032	0.64		
4	0.2	25	5	0.005	0.0039	0.78		
5	0.2	25	5	0.005	0.0045	0.90		

Tabla 36. Resultado de los cálculos de epiclorhidrina. Trabajador 2

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 2 (4h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
6	0.2	25	5	0.005	0.0051	1.02	0.774	0.774
7	0.2	25	5	0.005	0.0059	1.18		
8	0.2	25	5	0.005	0.0065	1.30		
9	0.2	25	5	0.005	0.0087	1.74		
10	0.2	25	5	0.005	0.0125	2.50		

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

Los resultados de la valoración de la exposición diaria por comparación con los VLA-ED de cada uno de los compuestos químicos a los que se encuentran expuestos los trabajadores 1 y 2 de los puestos de trabajo 2 y 3 se recogen en las siguientes tablas:

Tabla 37. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 1

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-ED TRABAJADOR 1 (4h)					
Puesto	Contaminante	ED (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
2	Arena de sílice cristalina	0.0278	0.05	0.55	I < 1, exposición aceptable
3	Xileno	72.76	221.00	0.33	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	60.63	192.00	0.31	I < 1, exposición aceptable
3	Etilbenceno	126.62	441.00	0.29	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	0.29	1.90	0.15	I < 1, exposición aceptable

Tabla 38. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 2

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-ED TRABAJADOR 2 (4h)					
Puesto	Contaminante	ED (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
2	Arena de sílice cristalina	0.0243	0.05	0.49	I < 1, exposición aceptable
3	Xileno	75.82	221.00	0.34	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	113.06	192.00	0.59	I < 1, exposición aceptable
3	Etilbenceno	209	441.00	0.47	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	0.774	1.90	0.41	I < 1, exposición aceptable

Una vez se ha realizado la valoración de la exposición después de rotar a los trabajadores de los dos puestos de trabajo se llega a la conclusión de que se ha reducido a la mitad el índice de exposición de cada uno de los compuestos químicos.

En el puesto de trabajo 2 se considera que si se rota a los trabajadores cada 4 horas no hay riesgo de exposición a agentes químicos.

La valoración no se puede dar por finalizada puesto que aún no se han tenido en cuenta que en el puesto de trabajo 3 hay una mezcla de agentes químicos.

Efectos combinados del puesto de trabajo 3

En el puesto de trabajo 3 se realizan los tratamientos de imprimación y pintura del tanque. En este puesto intervienen cuatro contaminantes químicos: xileno, tolueno, etilbenceno y epiclorhidrina. Para determinar la valoración de la exposición en este puesto de trabajo se sumarán los índices de exposición de cada uno de los contaminantes para cada trabajador.

* Trabajador 1:

$$\sum I_1 = 0.33 + 0.31 + 0.29 + 0.15 = 1.08 > 1 \rightarrow \textit{Exposición inaceptable}$$

* Trabajador 2:

$$\sum I_2 = 0.34 + 0.59 + 0.47 + 0.41 = 1.81 > 1 \rightarrow \textit{Exposición inaceptable}$$

En el puesto de trabajo 2, se podrían rotar los trabajadores cada 4 horas para reducir el riesgo de exposición a contaminantes químicos. Mientras que en el puesto de trabajo 3, no se puede realizar la rotación de los trabajadores durante 4 horas puesto que la exposición de ambos trabajadores es inaceptable.

4.1.1.2. Rotación cada 2 horas de trabajo

En este apartado se plantea realizar rotaciones de trabajadores cada dos horas de trabajo para reducir la exposición a los contaminantes químicos. Esta rotación supondría que el trabajador desempeñe su tarea durante dos horas diarias en lugar de ocho, y se realizaran cuatro cambios en el que otros trabajadores ocuparían su puesto durante dos horas cada uno.

Realizando esta rotación se reduciría la exposición de los trabajadores del puesto de trabajo 3 a los contaminantes. Para demostrar si el riesgo se consideraría aceptable se han vuelto a realizar los cálculos para determinar la exposición. Los datos de las muestras fueron los obtenidos en el capítulo anterior.

Se ha supuesto que las primeras tres muestras de los contaminantes químicos serían las correspondientes para las dos primeras horas de trabajo. Una vez que han pasado esas dos horas, se cambia de trabajador y continua con la tarea, siendo las muestras obtenidas las tres siguientes a las mencionadas en el primer trabajador y obtenidas en el capítulo anterior.

Después de que el segundo trabajador haya trabajado sus dos horas, le sucedería en el puesto de trabajo el trabajador 3, en el que las muestras serían las correspondientes a las dos siguientes muestras a las mencionadas en el segundo trabajador y obtenidas en el capítulo anterior. De igual manera se haría con el cuarto trabajador, al que le corresponderían las dos últimas muestras.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los contaminantes químicos del puesto de trabajo 3:

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

-XILENO:

Tabla 39. Resultados muestras por solicitud xileno

XILENO TRABAJADOR 1 (2h)				XILENO TRABAJADOR 2 (h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.709	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	4	0.739
		2	0.727			5	0.741
		3	0.722			6	0.752

XILENO TRABAJADOR 3 (2h)				XILENO TRABAJADOR 4 (2h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	7	0.755	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	9	0.761
		8	0.758			10	0.765

Tabla 40. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 1

XILENO TRABAJADOR 1 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.709	141.8	43.16	43.16
2	0.2	25	5	0.005	0.727	145.4		
3	0.2	25	5	0.005	0.722	144.4		

Tabla 41. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 2

XILENO TRABAJADOR 2 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
4	0.2	25	5	0.005	0.739	147.8	44.64	44.64
5	0.2	25	5	0.005	0.741	148.2		
6	0.2	25	5	0.005	0.752	150.4		

Tabla 42. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 3

XILENO TRABAJADOR 3 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
7	0.2	25	5	0.005	0.755	151.0	30.26	30.26
8	0.2	25	5	0.005	0.758	151.6		

Tabla 43. Resultado de los cálculos de xileno. Trabajador 4

XILENO TRABAJADOR 4 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
9	0.2	25	5	0.005	0.761	152.2	30.52	30.52
10	0.2	25	5	0.005	0.765	153.0		

-TOLUENO

Tabla 44. Resultado muestras por solicitud tolueno

TOLUENO TRABAJADOR 1 (2h)				TOLUENO TRABAJADOR 2 (2h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.701	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	4	0.815
		2	0.748			5	0.863
		3	0.763			6	0.889

TOLUENO TRABAJADOR 3 (2h)				TOLUENO TRABAJADOR 4 (2h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	7	0.911	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	9	0.981
		8	1.93			10	0.942

Tabla 45. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 1

TOLUENO TRABAJADOR 1 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.701	140.2	44.24	44.24
2	0.2	25	5	0.005	0.748	149.6		
3	0.2	25	5	0.005	0.763	152.6		

Tabla 46. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 2

TOLUENO TRABAJADOR 2 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
4	0.2	25	5	0.005	0.815	163.0	51.34	51.34
5	0.2	25	5	0.005	0.863	172.6		
6	0.2	25	5	0.005	0.889	177.8		

Tabla 47. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 3

TOLUENO TRABAJADOR 3 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
7	0.2	25	5	0.005	0.911	182.2	56.82	56.82
8	0.2	25	5	0.005	1.93	386.0		

Tabla 48. Resultado de los cálculos de tolueno. Trabajador 4

TOLUENO TRABAJADOR 4 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
9	0.2	25	5	0.005	0.981	196.2	38.46	38.46
10	0.2	25	5	0.005	0.942	188.4		

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

-ETILBENCENO

Tabla 49. Resultado de las muestras por solicitud de etilbenceno

ETILBENCENO TRABAJADOR 1 (2h)				ETILBENCENO TRABAJADOR 2 (2h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.796	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	4	1.521
		2	1.023			5	1.737
		3	1.254			6	1.854

ETILBENCENO TRABAJADOR 3 (2h)				ETILBENCENO TRABAJADOR 4 (2h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	7	2.105	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	9	2.165
		8	2.114			10	2.212

Tabla 50. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 1

ETILBENCENO TRABAJADOR 1 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.796	159.2	61.46	61.46
2	0.2	25	5	0.005	1.023	204.6		
3	0.2	25	5	0.005	1.254	250.8		

Tabla 51. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 2

ETILBENCENO TRABAJADOR 2 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
4	0.2	25	5	0.005	1.521	304.2	102.24	102.24
5	0.2	25	5	0.005	1.737	347.4		
6	0.2	25	5	0.005	1.854	370.8		

Tabla 52. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 3

ETILBENCENO TRABAJADOR 3 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
7	0.2	25	5	0.005	2.105	421.0	84.38	84.38
8	0.2	25	5	0.005	2.114	422.8		

Tabla 53. Resultado de los cálculos de etilbenceno. Trabajador 4

ETILBENCENO TRABAJADOR 4 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
9	0.2	25	5	0.005	2.165	433.0	87.54	87.54
10	0.2	25	5	0.005	2.212	442.4		

-EPICLORHIDRINA

Tabla 54. Resultado de las muestras por solicitud de epíclorhidrina

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 1 (2h)				EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 2 (2h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	1	0.0011	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	4	0.0039
		2	0.0018			5	0.0045
		3	0.0032			6	0.0051

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 3 (2h)				EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 4 (2h)			
Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)	Análisis	Captación	Muestra	Masa (mg)
Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	7	0.0059	Cromatógrafo de gases	Adsorción en carbón activo	9	0.0087
		8	0.0065			10	0.0125

Tabla 55. Resultado de los cálculos de epíclorhidrina. Trabajador 1

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 1 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
1	0.2	25	5	0.005	0.0011	0.22	0.12	0.12
2	0.2	25	5	0.005	0.0018	0.36		
3	0.2	25	5	0.005	0.0032	0.64		

Tabla 56. Resultado de los cálculos de epíclorhidrina. Trabajador 2

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 2 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
4	0.2	25	5	0.005	0.0039	0.78	0.27	0.27
5	0.2	25	5	0.005	0.0045	0.90		
6	0.2	25	5	0.005	0.0051	1.02		

Tabla 57. Resultado de los cálculos de epíclorhidrina. Trabajador 3

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 3 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
7	0.2	25	5	0.005	0.0059	1.18	0.25	0.25
8	0.2	25	5	0.005	0.0065	1.30		

Tabla 58. Resultado de los cálculos de epíclorhidrina. Trabajador 4

EPICLORHIDRINA TRABAJADOR 4 (2h)								
Muestra	Caudal (l/min)	Tiempo (min)	Volumen (l)	Volumen (m ³)	Masa (mg)	Concentración (mg/m ³)	C _{media} (mg/m ³)	ED (mg/m ³)
9	0.2	25	5	0.005	0.0087	1.74	0.42	0.42
10	0.2	25	5	0.005	0.0125	2.50		

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

Los resultados de la valoración de la exposición diaria por comparación con los VLA-ED de cada uno de los compuestos químicos a los que se encuentran expuestos los trabajadores 1, 2, 3 y 4 del puesto de trabajo 3 se recogen en las siguientes tablas:

Tabla 59. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 1

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-ED TRABAJADOR 1 (2h)					
Puesto	Contaminante	ED (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
3	Xileno	43.16	221.00	0.20	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	44.24	192.00	0.23	I < 1, exposición aceptable
3	Etilbenceno	61.46	441.00	0.14	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	0.12	1.90	0.06	I < 1, exposición aceptable

Tabla 60. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 2

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-ED TRABAJADOR 2 (2h)					
Puesto	Contaminante	ED (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
3	Xileno	44.64	221.00	0.20	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	51.34	192.00	0.27	I < 1, exposición aceptable
3	Etilbenceno	102.24	441.00	0.23	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	0.27	1.90	0.14	I < 1, exposición aceptable

Tabla 61. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 3

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-ED TRABAJADOR 3 (2h)					
Puesto	Contaminante	ED (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
3	Xileno	30.26	221.00	0.14	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	56.82	192.00	0.30	I < 1, exposición aceptable
3	Etilbenceno	84.38	441.00	0.19	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	0.25	1.90	0.13	I < 1, exposición aceptable

Tabla 62. Resultados obtenidos de la valoración de exposición diaria. Trabajador 4

RESULTADOS OBTENIDOS VLA-ED TRABAJADOR 4 (2h)					
Puesto	Contaminante	ED (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Índice de exposición	Valoración
3	Xileno	30.52	221.00	0.14	I < 1, exposición aceptable
3	Tolueno	38.46	192.00	0.20	I < 1, exposición aceptable
3	Etilbenceno	87.54	441.00	0.20	I < 1, exposición aceptable
3	Epiclorhidrina	0.42	1.90	0.22	I < 1, exposición aceptable

Todas las valoraciones de los agentes químicos del puesto de trabajo 3 salen aceptables, pero hay que tener en cuenta los efectos combinados de los agentes químicos sobre el trabajador.

Efectos combinados del puesto de trabajo 3

Como se ha mencionado anteriormente, en el puesto de trabajo 3 intervienen cuatro contaminantes químicos: xileno, tolueno, etilbenceno y epiclorhidrina.

Para determinar la valoración de la exposición en este puesto de trabajo se sumarán los índices de exposición de cada uno de los contaminantes para cada uno de los trabajadores.

* Trabajador 1:

$$\sum I_1 = 0.20 + 0.23 + 0.14 + 0.06 = 0.63 < 1 \rightarrow \text{Exposición aceptable}$$

* Trabajador 2:

$$\sum I_2 = 0.20 + 0.27 + 0.23 + 0.14 = 0.84 < 1 \rightarrow \text{Exposición aceptable}$$

* Trabajador 3:

$$\sum I_3 = 0.14 + 0.30 + 0.19 + 0.13 = 0.76 < 1 \rightarrow \text{Exposición aceptable}$$

* Trabajador 4:

$$\sum I_4 = 0.14 + 0.20 + 0.20 + 0.22 = 0.76 < 1 \rightarrow \text{Exposición aceptable}$$

Para que el riesgo de exposición sea aceptable en el puesto de trabajo 3 se debería de rotar a los trabajadores cada 2 horas. Para ello harían falta cuatro trabajadores para realizar las tareas de dicho puesto de trabajo.

4.1.2. Segunda medida preventiva: utilización de equipos de protección individual

Como se ha explicado en el inicio de este apartado, la mejor opción para proteger al trabajador es realizar rotaciones en los puestos de trabajo o dotarlo de equipos de protección individual. Las medidas de extracción localizadas no son una opción puesto que la fabricación de un tanque industrial se realiza al aire libre debido a sus dimensiones.

Por lo tanto, además de rotar a los trabajadores durante la jornada laboral se llevarán a cabo medidas de protección individual para protegerlos mientras se encuentran en su lugar de trabajo.

Según el Real Decreto 773/1997, del 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, un equipo de protección individual es *“cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin”*.

Una vez que se ha decidido que se van a utilizar los equipos de protección individual (EPI) se debe decidir qué equipo es el adecuado para las condiciones en las que se encuentran los trabajadores. En la Figura 45 se esquematizan las actuaciones que se deben llevar a cabo para seleccionar EPI.

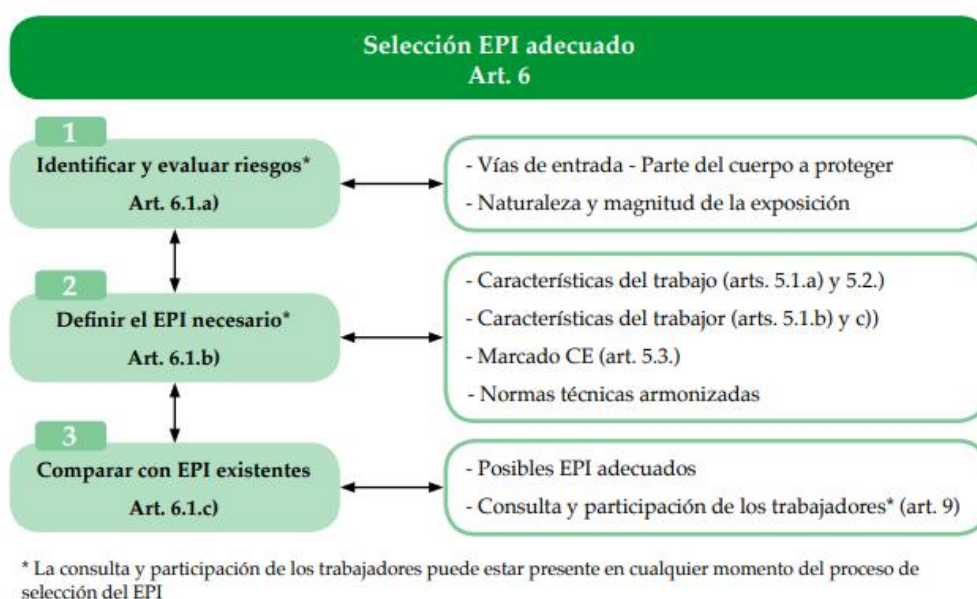


Figura 45. Actuaciones para seleccionar EPI, Guía Técnica del Real Decreto 773/1997. INSST

En nuestro caso, los EPIS seleccionados para proteger a los trabajadores de los puestos de trabajo se detallan a continuación.

4.1.2.1. Protección respiratoria

* **Mascarillas de retención mecánica**

Se utilizarán para evitar el riesgo por inhalación de partículas que se encuentran en el aire. El material que filtra es un entramado de fibras plásticas en el que se queda retenido el contaminante. Estos filtros son los llamados de tipo P.

En nuestro caso elegiremos una mascarilla especial para partículas de soldadura, como se puede ver en la Figura 46. Ofrece un nivel de protección FFP2 contra partículas finas de polvo, aerosoles, vapores y humos metálicos.

Se trata de una mascarilla desechable que contiene un filtro de partículas que permite su uso prolongado contra los humos de soldadura. Además, contiene una capa de carbón activo que filtra el gas de ozono que se crea en la soldadura y disminuye la sensación de olores molestos. En su capa externa tiene un tratamiento especial retardante de llama que sirve para reducir el efecto de las salpicaduras de soldadura.

Según las especificaciones del fabricante el máximo nivel de uso que se le puede dar es: cuando se trata de ozono hasta 10 veces el valor umbral límite, y cuando se trata de partículas es 10 veces el valor umbral límite



Figura 46. Mascarilla para partículas de soldadura FFP2

* **Filtros contra gases y vapores**

Se utilizarán para evitar el riesgo por inhalación de humos, gases y vapores orgánicos volátiles que se encuentran en el aire. El material filtrante es carbón activo que es sometido a distintos tratamientos en función del contaminante que se quiera retener.

En nuestro caso se ha elegido un filtro contra gases y vapores de compuestos químicos, Figura 47. El material de la carcasa es polietileno de alta densidad.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales



Figura 47. Filtro 755 A1

Según la Figura 48, validada por el INSST, en la que se muestran los tipos, clases, código de color, uso y particularidades de cada filtro podemos comprobar de qué tipo sería nuestro filtro.

TIPO	CLASE	COLOR	USO/PARTICULARIDADES
A	1, 2 ó 3	Marrón	Gases y vapores orgánicos de punto de ebullición > 65°C
AX	-----	Marrón	Gases y vapores orgánicos de punto de ebullición ≤ 65°C. No reutilizable
B	1, 2 ó 3	Gris	Gases y vapores inorgánicos
E	1, 2 ó 3	Amarillo	Dióxido de azufre y otros gases ácidos
K	1, 2 ó 3	Verde	Amoniaco y sus derivados
P	1, 2 ó 3	Blanco	Partículas
SX	-----	Violeta	Gases específicos. Debe figurar el nombre de los productos químicos y sus concentraciones máximas frente a los que el filtro ofrece protección
NO-P3	-----	Azul Blanco	Óxidos de nitrógeno. No reutilizable
Hg-P3	-----	Rojo Blanco	Vapores de mercurio. Duración máxima 50 horas

Figura 48. Tipos, clases, colores y usos según filtros, INSST

Como se puede observar en la Figura 48, este filtro ofrece protección contra gases tipo A, es decir, gases y vapores orgánicos con punto de ebullición de más de 65°C. En las particularidades se detalla que el filtro se puede reutilizar. Además, en la ficha técnica del filtro también lo especifica como se puede observar en la Figura 49.


Tipo Type	Color Colour	
A		Gases y vapores orgánicos con punto de ebullición > 65 °C Organic gases and vapours with boiling point > 65 °C

Figura 49. Características del filtro 755 A1, Climax

4.1.2.2. Guantes de protección

* **Guantes de protección para soldadura**

Son guantes que protegen contra el riesgo de proyecciones de metales fundidos y partículas incandescentes que se forman en las operaciones de soldadura, Figura 50. Protegen al trabajador hasta el antebrazo y el material del que están fabricados es piel de serraje vacuno.



Figura 50. Guantes de protección de soldadura

* **Guantes de protección para chorreo**

Son guantes que sirven para proteger al trabajador mientras desarrolla el chorreo de la superficie de tanque. Protegen hasta el codo para que no se llegue a mantener contacto con la vía dérmica, Figura 51.



Figura 51. Guantes de protección para chorreo

* **Guantes de protección química**

Son usados para evitar el contacto vía dérmica con cualquier agente químico contaminante que pueda existir en el lugar de trabajo. Además, son reutilizables y están fabricados para resistir contra productos químicos, disolventes, hidrocarburos, aceites, grasas y abrasiones.



Figura 52. Guantes de protección química

4.1.2.3. Pantallas de protección facial

* **Pantalla de protección para soldadura**

Esta pantalla, ver Figura 53, sirve para proteger contra las radiaciones emitidas en los procesos de soldadura. Además de absorber las radiaciones nocivas de este proceso, detiene los impactos que puedan producir las partículas. La visera está fabricada con acetato de celulosa y la montura con polietileno.



Figura 53. Pantalla facial de protección para soldadura

* **Pantalla de protección para chorreo de arena**

Consta de una almohada ligera de relleno de espuma que sirve para reducir el ruido exterior y dar más comodidad al trabajador. Permite un flujo de aire manteniendo en el exterior los contaminantes y cuenta con un sistema de distribución de aire que crea un flujo constante de aire respirable, previniendo el empañamiento. Además, cuenta con una doble lente para garantizar una visión óptima sin reflejos como se puede ver en la Figura 54.



Figura 54. Pantalla de protección para chorreo de arena

* **Gafas de protección ocular**

Sirven para proteger al trabajador del impacto de posibles partículas y además posee acción filtrante contra la radiación solar. Están fabricadas de policarbonato incoloro, como se puede observar en la Figura 55.



Figura 55. Gafas de protección ocular

4.1.2.4. *Protección corporal*

* **Mono de seguridad**

Sirve para proteger al trabajador de cualquier salpicadura e intentar evitar cualquier contacto vía dérmica. El mono, ver Figura 56, es ignífugo, es decir, es resistente al calor y al fuego.



Figura 56. Mono de trabajo

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el proceso de fabricación de tanques industriales

* **Calzado de protección**

El calzado de protección, ver Figura 57 ,sirve para proteger los pies del trabajador, así como de la contaminación por agentes químicos, descargas eléctricas y caídas.



Figura 57. Botas de seguridad

* **Casco de seguridad**

El casco sirve para proteger la cabeza del trabajador de peligros y golpes mecánicos. También puede proteger frente a otros riesgos de naturaleza mecánica, térmica o eléctrica. El casco, ver Figura 58 ,está fabricado de policarbonato puesto que resiste mejor al paso del tiempo.



Figura 58. Casco de seguridad

4.1.2.5. Protección corporal específica

* **Protección corporal de soldador**

La protección corporal de soldador consta de: mandil, polainas y manguitos. Sirven para proteger al trabajador contra el riesgo de proyecciones de metales fundidos y partículas incandescentes ocasionadas en operaciones de soldadura. El mandil protege el torso, el abdomen y las piernas del soldador. Los manguitos protegen desde los hombros hasta las muñecas y las polainas los pies. Todos ellos se pueden ver en la Figura 59 y están fabricados con serraje vacuno.



Figura 59. Protección corporal de soldadura

* **Protección corporal de chorreo de arena**

Sirven para proteger al trabajador contra el riesgo de proyecciones de partículas ocasionadas en el trabajo de chorreo de arena. El buzo protege brazos, torso y piernas, el peto protege el torso y el calzado protege el empeine y las espinillas. Todos ellos se pueden ver en la Figura 60 y están fabricados en cuero.



Figura 60. Protección corporal de chorreo de arena

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

* **Protección corporal para pintura**

Sirve para proteger al trabajador contra el riesgo de proyecciones de polvos y partículas generadas en el proceso de pintura. El buzo protege completamente el cuerpo del trabajador, como se puede ver en la Figura 61.



Figura 61. Buzo de pintura

4.2. RECOMENDACIONES

Una vez se ha realizado la evaluación higiénica, se realizan una serie de recomendaciones que se deben tener en cuenta:

- * Para evitar el riesgo de exposición a agentes contaminantes durante el trabajo, es necesario realizar rotaciones entre los trabajadores en algunos de los puestos de trabajo.
- * Se recomienda utilizar equipos de protección individual respiratorios, faciales y corporales para evitar que cualquier contaminante químico atraviese cualquier vía de penetración.
- * Se recomienda que se realice un programa de formación a los trabajadores para informarles de cual sería el correcto mantenimiento de los equipos de protección individual.
- * Se recomienda realizar un control administrativo de reposición de los equipos de protección individual para asegurarse de que se encuentran en buen estado y funcionan de manera correcta.
- * Se recomienda realizar controles médicos a los trabajadores para comprobar que las dosis a las que están expuestos en su lugar de trabajo no provocan daños en su salud.

Evaluación de la exposición a contaminantes químicos
en el proceso de fabricación de tanques industriales

Bibliografía

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (s.f.). Recuperado el 12 de abril de 2020: <https://www.insst.es/>
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/l/1995/11/08/31/con>
- Real Decreto 39/1997, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/01/17/39/con>
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/04/06/374>
- Higiene Industrial, INSST. (s.f.) Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.insst.es/documents/94886/161958/Cap%C3%ADtulo+30.+Higiene+industrial>
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo, basado en el Real Decreto 374/2001. (2013) Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+agentes+qu%C3%A+micos+relacionados+con+los+lugares+de+trabajo/7ff71954-0742-4cf4-bc30-7a9ffea37429>
- Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos relacionados con la Exposición de los Trabajadores al Ruido, basado en el Real Decreto 286/2006, INSST. (2008). Recuperado el 13 de abril de 2020: <https://www.insst.es/documents/94886/96076/gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+ruido.pdf/85821846-2195-4359-94eb-08fdc6457dce>
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/11/10/1299/con>
- Real Decreto Legislativo 8/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2015/10/30/8/con>
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/04/14/486/con>
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1989/10/27/1316>
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/03/10/286/con>

- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/05/12/664>
- Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/06/23/656>
- Límites de exposición profesional para agentes químicos en España, INSST (2019). Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.insst.es/documents/94886/188493/L%C3%ADmites+de+exposici%C3%B3n+profesional+para+agentes+qu%C3%ADmicos+2019/7b0b9079-d6b5-4a66-9fac-5ebf4e4d83d1>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR. (s.f.). Recuperado el 29 de marzo de 2020: <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
- T. Aroca (2017). Evaluación de la exposición a contaminantes químicos derivados de la soldadura y tratamiento superficial de chasis de motocicletas. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado el 12 de abril de 2020: <https://repositorio.upct.es/xmlui/handle/10317/6461>
- A. Roca (2018). Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el tratamiento superficial realizado en casco y cubiertas de barcos. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado el 12 de abril de 2020: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/7302>
- M. García (2019). Evaluación de la exposición a contaminantes químicos en el tratamiento superficial de la restauración y revestimiento de fachadas afectadas por ambientes marítimos en ciudades portuarias o costeras. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado el 12 de abril de 2020: <https://repositorio.upct.es/xmlui/handle/10317/7797>
- Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/06/23/656>
- Ceja, J (1980). Procedimiento General para la Fabricación y Montaje de Tanques de Almacenamiento. Tampico, Tamps.
- Brownell, L y Young, E (1959). Process Equipment Design. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc.
- Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos, CORES. (s.f.). Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.cores.es/es>

- Norma UNE-EN 14015, especificación para el diseño y fabricación de tanques de acero contruidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, no enterrados, soldados, para el almacenamiento de líquidos a temperatura ambiente y superior.
- Norma UNE-EN 10200:2001, sobre la clasificación y tipos de aceros.
- Norma UNE-EN 689, atmósferas 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 la estrategia de medición.
- Real Decreto 1692/2007, de 14 de diciembre, por el que se establece el título de Técnico en Soldadura y Calderería y se fijan sus enseñanzas mínimas. Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/boe/dias/2008/01/17/pdfs/A03471-03496.pdf>
- Norma UNE-EN ISO 3834:2015, requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos.
- Norma UNE-EN 1011:2010, soldeo. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos.
- Norma UNE-EN ISO 15614:2018, especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo.
- Norma UNE-EN ISO 8501, preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies.
- UNE-EN ISO 12944, sobre Pinturas y Barnices. Protección de Estructuras de Acero frente a la Corrosión mediante Sistemas de Pinturas Protectores”.
- Norma UNE 48307, sobre pinturas y barnices. Recubrimientos de tanques de combustible.
- Norma API 12 C, especificación API para tanques de almacenamiento de aceite soldados.
- Código API-ASME Sección IX, soldadura: Desarrollo y calificación de Procedimientos y Soldadores.
- Directiva (UE) 2019/130 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de enero de 2019 por la que se modifica la Directiva 2004/37/CE relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo. Recuperado el 28 de marzo de 2020: <https://www.boe.es/doue/2019/030/L00112-00120.pdf>
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. Recuperado el 28 de abril de 2020: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-12735-consolidado.pdf>
- Norma UNE-EN 13890, exposición en el lugar de trabajo. Procedimientos para la medida de metales y no metales en partículas en suspensión en el aire. Requisitos y métodos de ensayo.

- Norma UNE-EN 689:2019+AC, exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición profesional.
- Ficha de seguridad óxido de hierro, ROTH. (2016). Recuperado el 4 de mayo de 2020: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-5634-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wxOTE4NTI8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oMDMvaDgwLzgzNTA5NDg0NjI2MjIucGRmfDBkMjg3MmY2YjZlMzA2NGYxM2FiNDNmNjNINzE0YjQ1MTFiOGJkYTBMzMm5ODc3YzJlYTMzMzdkOGQ1MWM4NjQ>
- Ficha de seguridad óxido cuproso, ROTH. (2017). Recuperado el 4 de mayo de 2020: https://www.google.com/search?ei=1DiwXqTxMquNlWSP1rnwBQ&q=oxido+cuproso+ficha+de+seguridad+roth&oq=oxido+cuproso+ficha+de+seguridad+roth&gs_lcp=CgZwc3ktYWlQAZoECCEQCICVughYwe4IYMvwCGgHcAB4AIABvAKIAbgekgeIMy4xNC41LjGYAQCgAQQGqAQdnd3Mtd2I6&scient=psy-ab&ved=0ahUKEwikq7b5xprpAhWrxoUKHQ9rDI4Q4dUDCAw&uact=5#
- Ficha de seguridad arena de sílice, CLARVI. (2018). Recuperado el 4 de mayo de 2020: [https://clarvi.com/pdfs/files/Hojas%20de%20Seguridad/ARENA%20SILICA%20Y%20GRAVAS%20CLARVI%20HDS%20SGA%20\(20180817\).pdf](https://clarvi.com/pdfs/files/Hojas%20de%20Seguridad/ARENA%20SILICA%20Y%20GRAVAS%20CLARVI%20HDS%20SGA%20(20180817).pdf)
- Ficha de seguridad xileno, Merck (2017). Recuperado el 4 de mayo de 2020: https://www.merckmillipore.com/ES/es/product/msds/MDA_CHEM-808697?Origin=PDP
- Ficha de seguridad tolueno, ROTH (2020). Recuperado el 4 de mayo de 2020: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-9558-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyODk1NzR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oODkvaGM1LzgzNTA5NDg0NjI2MjIucGRmfDk3NmRlM2I5NTM5NTYxNzlmMWM5NzNiYTawZTA5MDA2YWQ2YTlyZmU1Njg2Mzk5NGlZDIwNGMxMGFhYjNmNzM>
- Ficha de seguridad etilbenceno, ROTH (2017). Recuperado el 4 de mayo de 2020: <https://www.carlroth.de/medias/SDB-0272-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMzE2MDR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oOTkvaDc0LzgzNTA5MDQ3ODI4NzducGRmfDNjNzc5NTFiNjFkOTUzMzc3MTBjNTRkNDU2YzFjZTMxYzhlOTRmMzc2MjY5MGZkMmJlYmZiNDM5MzNiZTU5MWQ>
- Ficha de seguridad epiclorhidrina, Barcelonesa (2013). Recuperado el 4 de mayo de 2020: https://www.vadequimica.com/media/catalog/product/f/s/fs-epiclorhidrina_1.pdf
- Índice general de protocolos y métodos, INSST. (s.f.). Recuperado el 27 de marzo de 2020: <https://www.insst.es/documents/94886/203011/Indice+general+MTA/a715acbb-ee3d-4953-9ce1-f3818ed07e8e>

- MTA/MA-025/A16: “Determinación de metales y sus compuestos iónicos en aire-Método de captación en filtro/ Espectrografía de absorción atómica con llama”, INSST. (2016). Recuperado el 4 de mayo de 2020:
https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA_025_A16.pdf/5f447f11-1194-41cc-aa97-0720e855677f
- MTA/MA-056/A06: “Determinación de sílice libre cristalina (cuarzo, cristobalita, tridimita) en aire - Método del filtro de membrana / Difracción de rayos X”, INSST. (2016). Recuperado el 4 de mayo de 2020:
https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA_056_A06.pdf/6874e506-7697-49c6-ae77-ee55dc53e9a5
- MTA/MA-030/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”, INSST. (s.f.). Recuperado el 4 de mayo de 2020:
https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA_030_A92.pdf/ac88773d-81a9-4408-854d-d2451d16a2c7
- MTA/MA-032/A98: “Determinación de vapores orgánicos en aire - Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases”, INSST. (s.f.). Recuperado el 4 de mayo de 2020:
https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA_032_A98.pdf/3b41758a-2677-4a80-9f44-d4861169e309
- Nota Técnica de Prevención: “Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (III): muestreadores de la fracción torácica, respirable y multifracción”, INSST. (2007). Recuperado el 14 de abril de 2020: <https://www.insst.es/documents/94886/327740/ntp-765.pdf/b9f1ba1a-6163-46ed-9059-4ecf4026a9a3>
- Guía Técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, basada en el Real Decreto 773/1997, INSST. (2012). Recuperado el 28 de abril de 2020:
<https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+para+la+utilizaci%C3%B3n+por+los+trabajadores+en+el+trabajo+de+equipos+de+protecci%C3%B3n+individual/c4878c11-26a0-4108-80fd-3ecbef0aee38>
- Nota técnica de prevención, Equipos de protección respiratoria: identificación de los filtros según sus tipos y clases, INSST. (2008). Recuperado el 28 de abril de 2020:
<https://www.insst.es/documents/94886/327401/787a.pdf/a1b42248-4b92-4ec8-a575-3a3b326a3e0d>
- Mascarilla para partículas de soldadura FFP2, 3M™. (s.f.). Recuperado el 29 de abril de 2020:
https://www.3m.com/es_ES/empresa-es/todos-productos-3m/~/3M-Mascarilla-para-part%C3%ADculas-de-soldadura-FFP2-con-v%C3%A1lvula-06920-/?N=5002385+8709313+8711017+8711405+8720539+8720542+8720777+3292305083&preselect=3293786499&rt=rud

- Tipos de filtros, INNST. (2020). Recuperado el 29 de abril de 2020: <https://www.insst.es/documents/94886/487826/Filtros>
- Filtro para vapores volátiles orgánicos, Climax. (s.f.). Recuperado el 29 de abril de 2020: <https://www.productosclimax.com/wp-content/uploads/2018/02/755-FILTROS-1-1.pdf>