

Evaluación del riesgo higiénico en una industria química dedicada a la fabricación de dióxido de manganeso electrolítico

Emilio Castejón Vilella

PID_00186827



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundació para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

Índice

Introducción	5
1. Presentación	9
2. Descripción del proceso	10
2.1. Preparación y reducción	10
2.2. Digestión	11
2.3. Purificación	11
2.4. Electrolisis	11
2.5. Preparación del producto final	13
3. Resultados de la inspección inicial	15
4. Resultados	17
4.1. Exposición a ácido sulfúrico	17
4.2. Exposición a manganeso, cobalto y níquel	18
4.3. Exposición a ácido sulfhídrico	21
4.4. Exposición a ruido	21
4.5. Exposición a estrés térmico	22
4.6. Otros datos	23
Actividades	25

Introducción

1) Riesgos higiénicos en la industria química

En la industria química, los procesos productivos son tan variados que no es posible hablar de riesgos higiénicos “típicos”. Los riesgos higiénicos pueden ser tantos como sustancias, energías o agentes biológicos se manipulen, dependiendo en todo caso de la forma en que ello se lleve a cabo.

a) Industria química: perspectiva histórica

La primera reacción química que el hombre utilizó de una forma controlada fue el fuego. Sin embargo, durante milenios el fuego fue simplemente una fuerza mística capaz de transformar una sustancia en otra (quemar madera, hervir agua...) produciendo al mismo tiempo luz y calor.

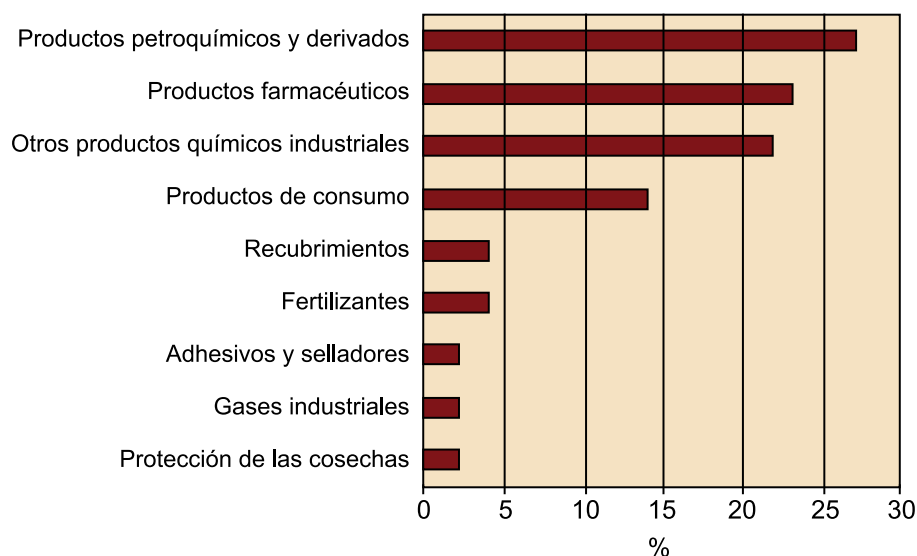
El fuego influyó de muchas maneras en la vida de las sociedades primitivas, desde los aspectos más cotidianos, como cocinar o iluminar la vivienda, hasta la introducción de tecnologías más avanzadas, como la alfarería, la producción de ladrillos o la metalurgia primitiva, que permitió la fabricación de armas y herramientas. Hacia el año 2600 a. C., los egipcios ya eran capaces de producir objetos de oro; en esa época ya se habían descubierto las aleaciones, que dieron lugar a la Edad de Bronce.

Aunque la química realizó importantes progresos empíricos a lo largo de los siglos, su origen como ciencia no se produjo hasta el siglo XVIII: el primer químico verdaderamente científico fue Antoine Lavoisier (1743-1794) que midió y estudió sistemáticamente las reacciones químicas. Entre sus principales discípulos puede citarse a Gay-Lussac, Liebig, Hofmann y Perkin.

Los avances de la química como ciencia hicieron posible que se desarrollara la producción de sustancias químicas a gran escala, que comenzó cuando, a principios del siglo XIX, se establecieron las primeras industrias de fabricación de carbonato sódico, un producto básico para la fabricación de vidrio, jabón y colorantes textiles.

Los siguientes grandes pasos fueron la fabricación de colorantes sintéticos a partir de alquitrán de hulla, que comenzó hacia 1850, la de ácido sulfúrico (1890), la de cloro, etc. Hacia 1920 empezó a recurrirse al petróleo como materia prima para la fabricación de multitud de productos químicos que a su vez servirían para sintetizar nuevas sustancias.

La diversidad de la producción de la industria química moderna puede apreciarse en el siguiente gráfico, en el que se muestra el reparto de la producción entre los distintos tipos de productos en el año 2000.



A pesar del casi infinito número de productos fabricados por la industria química moderna y la enorme variedad de procesos necesarios para su producción, dichos procesos son el resultado de la combinación de un número relativamente pequeño de **operaciones básicas**. La combinación de dichas operaciones permite construir la gran variedad de procesos químicos existentes: entre dichas operaciones pueden citarse el movimiento de fluidos, el intercambio de calor, la destilación, la extracción, la cristalización, el filtrado, etc. El estudio de dichas operaciones es la materia fundamental de la **ingeniería química**.

b) Industria química y prevención de riesgos laborales

A lo largo de la relativamente corta historia de la industria química moderna, el desconocimiento o la imprudencia han dado lugar a grandes accidentes que han tenido como consecuencia la publicación de legislaciones preventivas cada vez más estrictas. Algunos de estos accidentes han sido explosiones, seguidas o no de incendios, mientras otros se han manifestado en forma de liberación a la atmósfera de cantidades importantes de sustancias de alta toxicidad.

Entre los primeros puede citarse la explosión de una mezcla de nitrato amónico y sulfato amónico que tuvo lugar en Oppau (actualmente parte de Ludwigshafen, en Alemania) en 1921 en la que fallecieron entre 500 y 600 personas y más de 2.000 resultaron heridas. Muchas de ellas no eran trabajadores, sino que vivían en las inmediaciones de la fábrica (http://en.wikipedia.org/wiki/Oppau_explosion)

Entre las segundas debe destacarse el accidente ocurrido en Bhopal (India) en 1984, en el que 45 toneladas de isocianato de metilo (una sustancia altamente tóxica que, entre otros efectos, produce ceguera) fueron emitidas a la atmósfera. Se estima que entre 6.000 y 8.000 personas murieron en la primera semana tras el escape tóxico, y al menos otras 12.000 fallecieron posteriormente como consecuencia directa de la catástrofe, que afectó a más de 600.000 personas, 150.000 de las cuales sufrieron graves secuelas. Además, perecieron también miles de cabezas de ganado y animales domésticos y todo el entorno del lugar del accidente quedó seriamente contaminado por sustancias tóxicas y metales pesados que tardarán muchos años en desaparecer. (http://es.wikipedia.org/wiki/Desastre_de_Bhopal).

Desde el punto de vista de la higiene industrial, en cambio, las consecuencias de las exposiciones a agentes químicos, físicos y biológicos ocurridas en la industria química no se diferencian en nada de las que puedan producirse en otras actividades, especialmente en dos aspectos importantes: a menudo los efectos no se presentan hasta transcurridos muchos años desde el comienzo de la exposición y no es infrecuente que dichos efectos no estén inequívocamente ligados a la exposición a una sustancia determinada.

Tomemos por ejemplo los colorantes de bencidina, fabricados a partir de la bencidina, una sustancia altamente cancerígena cuya inhalación produce cáncer de vejiga; el primer colorante de bencidina, el llamado rojo Congo, fue sintetizado en 1884. Desde finales del siglo XIX hasta bien entrado el siglo XX la bencidina y los colorantes derivados de la misma se utilizaron sin ningún tipo de medida preventiva especial, ya que los efectos de la bencidina no se descubrieron hasta 1940, aproximadamente. Como consecuencia de la ignorancia acerca de los efectos de la bencidina, probablemente han fallecido miles de trabajadores a consecuencia de cánceres de vejiga producidos por ella.

Pero esos fallecimientos no se han producido solo en la industria química, sino también en la industria textil, donde se utilizaban ampliamente los colorantes de bencidina, también cancerígenos debido a su contenido en bencidina residual.

De ahí que difícilmente pueda hablarse de problemas de higiene industrial característicos de la industria química. Los problemas de este tipo que hallaremos en ella se dan o pueden darse en igual o mayor medida en todas aquellas actividades en las que se utilicen las mismas o parecidas sustancias o formas de energía; actividades que se dan en muchos sectores bien distintos de la industria química: desde los hospitales a las artes gráficas, por citar solo dos ejemplos de actividades que probablemente casi nadie calificaría de "químicas".

1. Presentación

El 12 de setiembre del 2011 tuvo entrada en la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de Burgos una demanda de los representantes sindicales de la empresa Electrolisis Industriales, S. A para que se inspeccionaran las condiciones de seguridad y salud en relación con las exposiciones de los trabajadores a polvo metálico, aerosoles ácidos, ruido y estrés térmico.

La Inspección de Trabajo dio traslado de la petición al órgano técnico de la comunidad autónoma para que realizara un informe sobre los asuntos a los que hacía referencia la petición sindical. Lo que se expone a continuación es una síntesis del contenido de dicho informe.

2. Descripción del proceso

Electrolisis Industriales, S. A. es una empresa dedicada a la fabricación de productos químicos mediante procesos electrolíticos; en la planta situada a 20 km de Burgos se fabrica dióxido de manganeso de alta pureza (EMD).

Se trata de una planta construida en 1967 que funciona 24 horas diarias, siete días a la semana. En la planta trabajan noventa y cuatro obreros dedicados a tareas de producción y otras diez personas ocupadas en tareas administrativas y de dirección.

Los principales tipos de ocupaciones en el área de producción se recogen en la tabla 1.

Tabla 1. Ocupaciones en el área de producción

Ocupación	Datos complementarios
Operadores de planta	Operarios cualificados. Trabajan en turnos de 12 horas 3 días una semana y 4 la siguiente. Los puestos de trabajo no son fijos, de manera que un operador determinado puede desarrollar cualquiera de las tareas asignadas a este grupo de operarios, según las necesidades de producción y las disponibilidades de personas en cada momento.
Recolectores	Recogen el producto depositado en las celdas electrolíticas. Tres turnos de ocho horas.
Aprovisionador de materia prima	Tres turnos de ocho horas.
Mecánicos	Dos turnos de ocho horas, cinco días/semana. Realizan sus tareas en cualquier punto de la planta.
Electricistas	Dos turnos de ocho horas, cinco días/semana. Realizan sus tareas en cualquier punto de la planta.
Peones	Dos turnos de ocho horas, cinco días/semana. Realizan sus tareas en cualquier punto de la planta.

La materia prima es un mineral que se extrae en minas a cielo abierto situadas en diversas partes del mundo. La fábrica de Electrolisis Industriales, S. A. utiliza material procedente de Australia. La fabricación de EMD puede considerarse dividida en cinco subprocesos: preparación y reducción, digestión, purificación, electrolisis y preparación del producto final.

2.1. Preparación y reducción

Una pala cargadora carga el mineral (que contiene dióxido de manganeso y diversas impurezas) en el parque donde está almacenado y lo descarga en un silo desde el que una cinta transportadora lo lleva a un molino (ver figura 1). En otro molino parecido se alimenta carbón. El mineral y el carbón son moli-

dos y posteriormente mezclados y conducidos a un horno de tueste donde el dióxido de carbono producido por la combustión del carbón reacciona con el dióxido de manganeso y este se convierte en dióxido manganeso (otro compuesto de manganeso distinto del dióxido de manganeso) que, a diferencia del primero, es soluble en ácido sulfúrico. El proceso se realiza a unos 800 °C.

Figura 1. Carga del mineral en el parque de almacenamiento de materias primas



2.2. Digestión

El dióxido manganeso (y las impurezas que aún lo acompañan) se hacen reaccionar con ácido sulfúrico a 90 °C y el dióxido manganeso se disuelve, formando sulfato manganeso, mientras algunas de las impurezas van al fondo (precipitan). El líquido resultante es filtrado para separar las impurezas.

2.3. Purificación

El líquido filtrado se trata con ácido sulfhídrico, lo que hace que se precipiten (depositen) en forma de sulfuros las impurezas metálicas presentes, de las que las más abundantes son el cobalto y el níquel. El líquido resultante (básicamente una solución de sulfato manganeso) es filtrado de nuevo y alimentado a las celdas electrolíticas. Los sólidos recogidos en el filtro, ricos en cobalto y níquel, son separados mediante agua a presión y envasados en bidones para su venta a otras plantas que los utilizan como materia prima para producir cobalto y níquel. En cada operación de recuperación del sólido filtrado se invierten entre 6 y 8 horas y se recogen unos 55 bidones de 200 litros de sólidos.

2.4. Electrolisis

El líquido obtenido se alimenta a las celdas electrolíticas, recipientes que contienen cátodos de cobre y ánodos de titanio a una temperatura próxima a 100 °C, que se mantiene inyectando vapor de agua. El dióxido de manganeso se deposita sobre los ánodos de titanio, que cada tres semanas son desmontados para recuperar la capa de dióxido de manganeso depositada sobre ellos.

El proceso de electrolisis se realiza en dos naves en cada una de las cuales existen dos salas de celdas. En cada sala hay unas treinta celdas, cada una de las cuales es un tanque de 3 x 1 metros de boca. Las salas de celdas tienen dos de sus paredes abiertas al exterior, pero en invierno pueden ser cerradas mediante unas cortinas de plástico que, en cambio, se mantienen abiertas en verano; ello permite regular en alguna medida la temperatura tanto en invierno como en verano y minimizar el consumo de vapor (ver figuras 2 y 3)

Figura 2. Sala de celdas con la pared lateral abierta, en época de verano



Figura 3. Sala de celdas en invierno, con el lateral cerrado con cortinas



Obsérvese que los aerosoles liberados por las celdas electrolíticas salen al exterior por las juntas de las cortinas.

Para minimizar la producción de nieblas (y limitar la pérdida de calor) en la superficie del líquido contenido en las celdas electrolíticas flotan esferas de polipropileno de unos 10 cm de diámetro. Sin embargo se observó que la eficacia del sistema era muy pobre, pues la emisión de aerosoles era importante, especialmente en la época fría, cuando las cortinas estaban parcial o totalmente cerradas (ver figuras 4 y 5).

Figura 4. Emisión de nieblas en la sala de celdas en el mes de octubre, con las cortinas parcialmente cerradas



Figura 5. Emisión de nieblas en la sala de celdas en el mes de febrero, con las cortinas totalmente cerradas



2.5. Preparación del producto final

El dióxido de manganeso depositado sobre los ánodos es separado mediante unos martillos especiales; los fragmentos obtenidos se muelen hasta alcanzar la granulometría deseada. El producto, entonces, se mezcla con una solución de sosa cáustica para eliminar la acidez residual, se filtra, se seca y se envasa en grandes sacos en los que caben unos 1.200 kg de producto.

El envasado se realiza sin extracción localizada, disponiéndose para la captación del polvo generado de un extractor en la pared. El extractor está situado, aproximadamente, a 1,5 metros de la máquina envasadora (ver figura 6).

Figura 6. Zona de envasado



3. Resultados de la inspección inicial

Durante la primera visita (octubre del 2011), se realizó una inspección preliminar de la planta y se observó la frecuencia de utilización de protecciones individuales; se tomaron también cuatro muestras personales de ácido sulfúrico, una en cada una de las salas de celdas electrolíticas. Los resultados se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Muestreo de ácido sulfúrico (octubre 2011)

Puesto de trabajo	Ubicación	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos
Recolector	Sala de celdas 4	363	ND
Recolector	Sala de celdas 4	189	ND
Recolector	Sala de celdas 3	360	ND
Operador de planta	Varias salas de celdas	351	ND

Asimismo, se efectuaron entrevistas con los representantes sindicales acerca de los posibles efectos sobre la salud que hubieran podido manifestarse entre los trabajadores y de los aspectos que pudieran constituir motivo de preocupación.

Una de las principales preocupaciones manifestadas fue la elevada concentración de nieblas en las salas de celdas electrolíticas, que llegaba a reducir notablemente la visibilidad en época de invierno debido a la escasa ventilación, y que podía implicar exposiciones elevadas a aerosoles ácidos. La elevada temperatura y humedad de las salas resulta especialmente fatigante para los recolectores, cuyo trabajo requiere un cierto esfuerzo físico, por lo que se manifestó la posibilidad de que existiera riesgo de estrés térmico.

Manifestaron asimismo su preocupación por la posible toxicidad derivada de la lenta pero perceptible disolución de las esferas de polipropileno empleadas para limitar la emisión de aerosoles en los baños electrolíticos.

Indicaron también que se producía un importante desprendimiento de polvo al manipular la materia prima (ver figura 1), especialmente en verano. Debido a que, según las manifestaciones de los trabajadores, las condiciones de trabajo parecían variar apreciablemente según la época del año, se efectuaron visitas adicionales en febrero del 2012 para evaluar las exposiciones a nieblas ácidas y metales, y en agosto del 2012 para evaluar las exposiciones a manganeso, cobalto y níquel.

Un último motivo de preocupación manifestado lo constituyó la exposición al ruido, que según los representantes sindicales era considerablemente elevado en muchos puestos de trabajo, especialmente en las salas de celdas.

La visita de la planta permitió constatar que en las salas de celdas electrolíticas la visibilidad era limitada debido a la formación de nieblas, especialmente a primera hora de la mañana y después de la puesta de sol. Para paliar el problema se utilizan cortinas de plástico practicables, tal como ya se ha indicado.

Se observó también que, en general, los pavimentos estaban sucios y que para su limpieza se empleaba el barrido en seco.

No se observó el empleo de protecciones respiratorias; en cambio, se observó que, en las salas de celdas, algunos recolectores utilizan protecciones auditivas, en algunos casos orejeras y, en otros, tapones.

Respecto a las tareas concretas realizadas por cada persona, estas varían de un día a otro, aunque manteniéndose dentro de las asignadas a la ocupación correspondiente a cada trabajador (tabla 1). Por esa razón se tomaron algunas muestras en tareas concretas, a fin de poder dictaminar cuáles de ellas contribuían en mayor medida a la exposición.

4. Resultados

4.1. Exposición a ácido sulfúrico

Durante la visita de febrero del 2012 se tomaron muestras personales de jornada completa de nieblas de ácido sulfúrico para evaluar la exposición de los trabajadores de las salas de celdas electrolíticas (recolectores y operadores de planta). Los resultados se recogen en la tabla 3.

Tabla 3. Muestreo de ácido sulfúrico (febrero 2012)

Fecha	Puesto de trabajo	Ubicación	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos
20-feb	Recolector	Sala de celdas 1	444	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 1	443	Trazas
21-feb	Recolector	Sala de celdas 1	442	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 1 y 4	457	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 1 y 4	439	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 2	679	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 2	694	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 3 y 4	434	Trazas
	Operador de planta	Varias salas de celdas	687	Trazas
22-feb	Recolector	Sala de celdas 2	460	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 2	455	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 3 y 4	448	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 3 y 4	412	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 4	450	Trazas
	Recolector	Sala de celdas 4	404	Trazas
	Operador de planta	Varias salas de celdas	687	Trazas

Las muestras se capturaron sobre tubos adsorbentes de gel de sílice (400/200 mg) utilizando un caudal de 0,2 litros por minuto, precedido de un separador de fracción torácica. El contenido en ácido sulfúrico de las muestras se analizó por cromatografía iónica utilizando el método NIOSH 7903.

4.2. Exposición a manganeso, cobalto y níquel

Asimismo, se tomaron muestras personales de jornada completa a los operadores de planta, mecánicos y peones para evaluar su exposición a manganeso, cobalto y níquel. El manganeso se encontraba en el aire en forma de polvo de óxidos insolubles; el cobalto y el níquel, en forma de sulfuros (compuestos inorgánicos insolubles). Los resultados se indican en la tabla 4.

Tabla 4. Muestreo de metales (febrero 2012)

Fecha	Puesto de trabajo	Ubicación	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos		
				Manganeso	Cobalto	Níquel
21-feb	Operador de planta	Purificación	635	33,0	0,83	Trazas
	Operador de planta	Preparación de producto final	693	76,2	0,48	Trazas
	Mecánico	Todas	233	372,8	0,03	ND
	Mecánico	Todas	437	48,1	0,21	0,44
	Mecánico	Todas	437	32,3	0,17	Trazas
	Mecánico	Todas	434	65,1	0,33	6,08
22-feb	Operador de planta	Preparación de producto final	665	731,5	Trazas	ND
	Operador de planta	Purificación	656	328,0	1,31	0,60
	Operador de planta	Digestión	539	501,3	1,67	0,70
	Mecánico	Todas	439	122,9	0,10	Trazas
	Mecánico	Todas	656	72,2	0,20	Trazas
	Mecánico	Todas	291	125,1	0,09	Trazas
	Mecánico	Todas	332	28,6	1,16	0,50

Se tomaron también muestras a los operarios encargados de la descarga del filtro de purificación durante la realización de dichas operaciones. Los resultados se indican en la tabla 5.

Tabla 5. Muestreo de metales en tareas concretas (febrero 2012)

Puesto de trabajo	Ubicación	Tarea	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos		
				Manganeso	Cobalto	Níquel
Operador de planta	Purificación	Lavado del filtro	284	42,6	5,96	2,61
Operador de planta	Preparación de producto final	Recogida de sólidos del filtro	159	19,08	0,38	0,15

Puesto de trabajo	Ubicación	Tarea	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos		
				Manganeso	Cobalto	Níquel
Peón	Planta inferior del filtro	Envasado de sólidos del filtro	118	31,86	2,48	0,99
Peón	Planta inferior del filtro	Envasado de sólidos del filtro	122	23,18	1,34	0,55

Se observó también que algunos trabajadores utilizaban equipos de protección individual respiratoria.

Durante esta visita algunos trabajadores manifestaron su preocupación por la posible inhalación de ácido sulfhídrico durante los procesos de digestión y purificación, debido a que en alguna ocasión los detectores fijos de este gas instalados por la empresa habían indicado concentraciones alarmantemente elevadas.

Durante la visita efectuada en agosto del 2012 se tomaron muestras de jornada completa de manganeso, cobalto y níquel tanto en el turno de día como en el de noche, así como en ciertas operaciones específicas. Se tomaron muestras ambientales de la sala de control del filtro, donde los operadores de planta controlan las tareas de purificación y digestión y realizan verificaciones de control de calidad en el líquido filtrado. Los resultados se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Muestreo de metales (agosto 2012)

Fecha	Turno	Puesto de trabajo	Ubicación	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos		
					Manganeso	Cobalto	Níquel
25-ago	Mañana	Operador de planta	Salas de celdas	652	59,99	0,19	ND
		Operador de planta	Digestión	664	172,64	0,73	Trazas
		Operador de planta	Preparación de producto final	684	34,89	0,04	ND
		Operador de planta	Purificación	636	76,32	0,40	Trazas
		Electricista	Todas	409	24,95	0,074	ND
		Electricista	Todas	424	22,90	0,047	ND
		Peón	Todas	413	148,68	3,56	1,49
		Mecánico	Todas	437	28,84	0,18	1,31
		Mecánico	Todas	435	52,2	0,04	ND
		Mecánico	Todas	438	118,26	0,04	ND
Operador de planta	Preparación de producto final	689	82,68	Trazas	ND		

Fecha	Turno	Puesto de trabajo	Ubicación	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos		
					Manganeso	Cobalto	Níquel
		Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	433	112,58	0,34	ND
	Tarde	Operador de planta	Varias salas de celdas	668	54,78	0,12	ND
		Operador de planta	Digestión	709	148,89	0,60	Trazas
		Operador de planta	Preparación de producto final	681	49,03	Trazas	ND
		Operador de planta	Purificación	705	10,58	0,15	ND
		Operador de planta	Preparación de producto final	635	120,65	0,056	ND
26-ago	Mañana	Operador de planta	Salas de celdas	591	24,23	0,04	ND
		Operador de planta	Digestión	647	116,46	0,49	Trazas
		Operador de planta	Preparación de producto final	670	60,3	Trazas	ND
		Operador de planta	Purificación	636	26,71	3,12	ND
		Mecánico	Todas	339	24,41	0,06	ND
		Mecánico	Todas	348	31,67	0,05	ND
		Mecánico	Todas	300	14,7	0,10	Trazas
		Operador de planta	Preparación de producto final	673	269,2	0,23	Trazas
		Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	419	159,22	0,46	0,14
	Tarde	Operador de planta	Varias salas de celdas	702	23,87	Trazas	ND
		Operador de planta	Digestión	503	90,54	0,32	ND
		Operador de planta	Preparación de producto final	713	71,3	Trazas	ND
		Operador de planta	Purificación	731	38,74	0,29	ND
		Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	448	16,58	0,04	ND
	Muestras ambientales		----	Zona de filtros	649	17.52	0,19
Muestras ambientales		----	Zona de filtros	442	9.72	0,06	ND

Las muestras se captaron empleando como soporte de retención filtros de ésteres de celulosa de 37 mm de diámetro y 0,8 micras de diámetro de poro montados sobre casetes abiertas y utilizando un caudal de aspiración de 1 litro por minuto. Las muestras se analizaron por espectroscopía de absorción atómica utilizando el método MTA/MA-025/A92 del INSHT.

Respecto a la utilización de protección individual respiratoria los trabajadores manifestaron que existía una normativa interna que hacía obligatorio su uso durante ciertas operaciones, pero que en la práctica el cumplimiento de esa normativa no era fiscalizado por los mandos, por lo que el empleo de los equipos quedaba al criterio de los trabajadores. Los trabajadores desconocían si los equipos eran sometidos a algún tipo de mantenimiento pero sabían que los filtros eran sustituidos anualmente por otros nuevos.

Asimismo, se tomaron muestras de los mismos metales durante las operaciones de envasado del producto acabado y de la carga de materia prima (ver los resultados en la tabla 7).

Tabla 7. Muestreo de metales en tareas concretas (agosto 2012)

Puesto de trabajo	Ubicación	Tarea	Tiempo de muestreo, minutos	Cantidad recogida en microgramos		
				Manganeso	Cobalto	Níquel
Operador de planta	Preparación de producto final	Ensacado	30	23,1	ND	ND
Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	Carga de materia prima	213	42,6	0,15	ND

4.3. Exposición a ácido sulfhídrico

Adicionalmente se tomaron muestras de ácido sulfhídrico a los operadores de planta en las zonas de purificación y digestión; en este último caso se utilizaron detectores electrónicos de ácido sulfhídrico, que no detectaron concentración medible.

4.4. Exposición a ruido

En las visitas de febrero y agosto del 2012 se efectuaron dosimetrías de ruido en los distintos puesto de trabajo de producción, observándose que en todos los casos se trata de ruido continuo procedente de motores, bombas, ventiladores y otros equipos que no dan lugar a impactos ni discontinuidades sensibles en el nivel de ruido producido. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de las dosimetrías de ruido

Puesto de trabajo	Ubicación	Tiempo de muestreo, minutos	Nivel equivalente, $L_{eq} A$ (dB A)
Operador de planta	Salas de celdas	627	89,5

Puesto de trabajo	Ubicación	Tiempo de muestreo, minutos	Nivel equivalente, $L_{eq} A$ (dB A)
Operador de planta	Digestión	632	86,2
Operador de planta	Preparación de producto final	418	83,1
Operador de planta	Purificación	435	87,2
Electricista	Todas	442	82,1
Electricista	Todas	285	80,2
Peón	Todas	360	86,5
Mecánico	Todas	458	83,1
Mecánico	Todas	477	87,2
Mecánico	Todas	475	81,5
Operador de planta	Preparación de producto final	520	84,2
Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	464	85,4

Se efectuaron mediciones personales de la exposición al ruido durante la realización de las tareas típicas de cada puesto de trabajo utilizando dosímetros calibrados de acuerdo con la legislación española. Los dosímetros se colocaron en la cintura o en un bolsillo de cada trabajador, y para la captación del ruido se utilizó un micrófono remoto colocado en la solapa del trabajador, en un punto aproximadamente equidistante entre su oído y el extremo del hombro. El micrófono se equipó con una pantalla de protección de viento para minimizar las consecuencias de cualquier impacto accidental y de las corrientes de aire.

4.5. Exposición a estrés térmico

En las visitas realizadas tanto en febrero como en agosto del 2012 se tomaron los datos necesarios para la evaluación del riesgo de estrés térmico en las salas de celdas electrolíticas. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de las mediciones del ambiente térmico en las salas de celdas

Fecha	Puesto de trabajo	Tipo de trabajo	WBGT °C
Febrero	Recolector	De pie. Moderado con ambos brazos	26,5
Agosto	Recolector	De pie. Moderado con ambos brazos	27,0
Febrero	Operador de planta	De pie. Ligero con ambos brazos	25,0

Fecha	Puesto de trabajo	Tipo de trabajo	WBGT °C
Agosto	Operador de planta	De pie. Ligero con ambos brazos	27,5

Se realizaron mediciones de las condiciones térmicas ambientales utilizando un equipo de medición directa del índice WBGT.

4.6. Otros datos

Durante las visitas se entrevistó en profundidad a once trabajadores de distintas ocupaciones (operadores, recolectores, proveedores, peones y personal de mantenimiento). Habían trabajado en la planta entre 1 y 38 años (media 14 años). Cinco de ellos no manifestaron sufrir ningún problema de salud que ellos atribuyeran a su trabajo. Cuatro manifestaron padecer hemorragias nasales cuando trabajaban en las salas de celdas o en un punto donde había concentraciones elevadas de polvo, especialmente el primer día de reincorporarse al trabajo después de una ausencia. Dos manifestaron padecer de problemas en los senos nasales.

Ninguno de ellos manifestó padecer problemas respiratorios, dérmicos, irritación de ojos ni náuseas, a los que aludía la petición que dio lugar a la intervención. Algunos trabajadores mostraron su preocupación por los efectos a largo plazo de la inhalación de níquel, cobalto y nieblas ácidas, así como del trabajo en el ambiente húmedo y caluroso de las celdas electrolíticas

La petición de los representantes de los trabajadores exponía también que dos personas sufrían cáncer, linfático en un caso y de garganta en otro, lo que constituía un motivo adicional de preocupación por su posible relación con el trabajo. Sin embargo no fue posible obtener datos adicionales respecto a la historia clínica ni a las exposiciones ambientales de las dos personas afectadas.

Actividades

1. ¿Cuáles son los posibles efectos negativos de los contaminantes químicos existentes en esta planta sobre la salud de los trabajadores? ¿Qué valores límite deberían adoptarse para ellos?
2. ¿De qué manera debería tenerse en cuenta en el valor de los límites de exposición, ya que la jornada laboral de algunos trabajadores supera ampliamente las ocho horas que se consideran estándar?
3. Del conjunto de los datos suministrados, ¿puede concluirse que las exposiciones a manganeso son distintas en la época de invierno (visita de febrero) y en la de verano (visita de agosto)?
4. Evaluad el riesgo higiénico de cada puesto de trabajo para la exposición a manganeso, cobalto y níquel.
5. Evaluad la exposición al ruido a partir de los datos de la tabla 8.
6. Evaluad la exposición al ambiente térmico a partir de los datos de la tabla 9 considerando que se trata de personas aclimatadas.
7. En este caso, ¿recomendaríais la adopción de medidas preventivas frente al riesgo de estrés térmico? ¿Cuáles?
8. Evaluad la exposición a nieblas de ácido sulfúrico. ¿Por qué creéis que los representantes de los trabajadores estaban preocupados por esa exposición?
9. Considerad el conjunto de los resultados de las concentraciones de manganeso obtenidas durante el muestreo de verano en el puesto de operador de planta, teniendo en cuenta que las muestras se han obtenido en **distintas ubicaciones**, ¿qué distribución estadística podemos esperar que sigan dichos resultados?
10. Realizad la prueba de Filliben con los datos de la pregunta 9. ¿Puede concluirse que los datos se ajustan a la ley lognormal? ¿Cómo explicaríais la conclusión obtenida?

Solucionario

1. ¿Cuáles son los posibles efectos negativos de los contaminantes químicos existentes en esta planta sobre la salud de los trabajadores? ¿Qué valores límite deberían adoptarse para ellos?

Los compuestos químicos a los que se encuentran expuestos los trabajadores son el ácido sulfúrico, el manganeso, el cobalto y el níquel.

a) Ácido sulfúrico: el ácido sulfúrico es un líquido denso, incoloro, corrosivo e ininflamable. Debido a su baja volatilidad apenas se evapora, por lo que su presencia en el aire solo puede darse en forma de aerosoles. Es un potente irritante de las vías respiratorias, los ojos y la piel. Debido a que algunos estudios han asociado la exposición al ácido sulfúrico al desarrollo de cáncer de laringe, el IARC lo considera cancerígeno para los humanos (grupo 1). Sin embargo, otras organizaciones no han considerado adecuada esta clasificación y no la han adoptado. Los límites de exposición profesional para agentes químicos del INSHT para el año 2012 le atribuyen un valor LEP VLA-ED de 0,05 mg/m³ medido en fracción torácica.

b) Manganeso: el manganeso es un metal de color gris plateado que se combina fácilmente con el oxígeno hasta en siete proporciones distintas. Cuando se presenta como un contaminante en el aire, suele encontrarse en forma de polvo de óxido insoluble. La exposición excesiva al mismo por inhalación produce una intoxicación crónica que produce efectos neurológicos que comienzan en forma de dolores de cabeza, debilidad, irritabilidad y en algunos casos, manifestaciones psicóticas. Si la exposición continúa pueden darse temblores, dificultades en el habla y descoordinación de movimientos, similares a las producidas por la enfermedad de Parkinson. Un síntoma muy característico es la ausencia de expresión facial. Los límites de exposición profesional para agentes químicos del INSHT para el año 2012 le atribuyen un valor LEP VLA-ED de 0,2 mg/m³ como manganeso, tanto para el manganeso elemental como para los compuestos inorgánicos del mismo.

c) Cobalto: el cobalto es un metal de color gris, esencial para la vida humana (forma parte de la vitamina B12) y con múltiples aplicaciones en metalurgia, fabricación de semiconductores y medicina nuclear. La exposición por inhalación puede producir daños pulmonares severos en forma de edema pulmonar, fibrosis y neumoconiosis. La exposición dérmica puede causar irritaciones y dermatitis alérgicas. Los límites de exposición profesional para agentes químicos del INSHT para el año 2012 le atribuyen un valor LEP VLA-ED de 0,02 mg/m³ tanto para la forma elemental como para la mayoría de los compuestos inorgánicos.

d) Níquel: el níquel es un metal de color plateado de múltiples aplicaciones en metalurgia (forma parte del acero inoxidable), recubrimientos electrolíticos (níquelado), fabricación de baterías, y otras muchas aplicaciones. En el trabajo la exposición a níquel se produce sobre todo durante su refinado, en los procesos electrolíticos en los que interviene y en la soldadura. La exposición laboral se produce principalmente a níquel metal, sulfuro de níquel y óxidos de níquel en forma de polvo y humos. Los principales órganos afectados son los pulmones y la piel, produciéndose fibrosis pulmonar, cáncer de pulmón y alergias dérmicas. Los límites de exposición profesional para agentes químicos del INSHT para el año 2012 le atribuyen un valor LEP VLA-ED de 1 mg/m³ para el níquel metal y de 0,2 mg/m³ para los compuestos inorgánicos con algunas excepciones.

2. ¿De qué manera debería tenerse en cuenta en el valor de los límites de exposición, que la jornada laboral de algunos trabajadores supera ampliamente las ocho horas que se consideran estándar?

Los valores límite están definidos para un período de referencia que, en la mayoría de los casos, es una jornada de ocho horas diarias. En España, el documento de los valores LEP que publica anualmente el INSHT especifica que “el período de referencia para el límite de larga duración es habitualmente de 8 horas, y para el límite de corta duración, de 15 minutos”.

Cuando la duración de la jornada supera ampliamente las 8 horas, se recomienda reducir el valor LEP para tener en cuenta no solo que el tiempo de exposición es mayor, y por tanto la dosis inhalada en una jornada también aumentará, sino que el tiempo de “desintoxicación” entre jornadas también disminuye. La combinación de ambos efectos aumenta la “toxicidad” del producto y, por ello, se suele admitir que el valor límite debe corregirse a la baja.

Para calcular la corrección apropiada existen diversas opciones, algunas muy sofisticadas y otras más sencillas. La más simple (y conservadora) es la propuesta por Brief y Scala, que propone corregir el valor límite aplicable multiplicándolo por un factor de corrección F del valor límite dado por la expresión:

$$F = \left(\frac{8}{h}\right) \cdot \left(\frac{24-h}{16}\right) \quad (1)$$

Donde h son las horas diarias de trabajo.

Obsérvese que cuando h vale 8, F vale 1. Es decir, en el caso de la jornada ordinaria no es precisa corrección alguna.

En cambio, cuando h es mayor que 8, F es menor que 1, es decir, utilizaremos un valor límite inferior al "normal".

En nuestro caso, con h = 12 se obtiene F = 0,5. El valor límite se reduce a la mitad.

Un buen resumen sobre este tema puede encontrarse en: <http://www.acgih.org/products/tlvintro.htm>

3. Del conjunto de los datos suministrados, ¿puede concluirse que las exposiciones a manganeso son distintas en la época de invierno (visita de febrero) y en la de verano (visita de agosto)?

Comenzaremos por calcular las concentraciones correspondientes a las tomas de muestras de metales, recogiendo los resultados en las siguientes tablas.

Muestreo de metales (febrero 2012)

Fecha	Puesto de trabajo	Ubicación	Concentración mg/m ³		
			Manganeso	Cobalto	Níquel
21-feb	Operador de planta	Purificación	0,052	0,0013	Trazas
	Operador de planta	Preparación de producto final	0,11	0,00069	Trazas
	Mecánico	Todas	1,6	0,00013	ND
	Mecánico	Todas	0,11	0,00047	0,001
	Mecánico	Todas	0,074	0,00038	Trazas
	Mecánico	Todas	0,15	0,00077	0,014
22-feb	Operador de planta	Preparación de producto final	1,1	Trazas	ND
	Operador de planta	Purificación	0,5	0,002	0,00091
	Operador de planta	Digestión	0,93	0,0031	0,0013
	Mecánico	Todas	0,28	0,00023	Trazas
	Mecánico	Todas	0,11	0,0003	Trazas
	Mecánico	Todas	0,43	0,00031	Trazas
	Mecánico	Todas	0,086	0,0035	0,0015

Muestreo de metales (agosto 2012)

Fecha	Turno	Puesto de trabajo	Ubicación	Concentración mg/m ³		
				Manganeso	Cobalto	Níquel
25-ago	Mañana	Operador de planta	Salas de celdas	0,092	0,00029	ND
	Mañana	Operador de planta	Digestión	0,26	0,0011	Trazas

Fecha	Turno	Puesto de trabajo	Ubicación	Concentración mg/m ³		
				Manganeso	Cobalto	Níquel
	Mañana	Operador de planta	Preparación de producto final	0,051	0,000052	ND
	Mañana	Operador de planta	Purificación	0,12	0,00063	Trazas
	Mañana	Electricista	Todas	0,061	0,00018	ND
	Mañana	Electricista	Todas	0,054	0,00011	ND
	Mañana	Peón	Todas	0,36	0,0086	0,0036
	Mañana	Mecánico	Todas	0,066	0,00042	0,003
	Mañana	Mecánico	Todas	0,12	0,000097	ND
	Mañana	Mecánico	Todas	0,27	0,0001	ND
	Mañana	Operador de planta	Preparación de producto final	0,12	Trazas	ND
	Mañana	Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	0,26	0,00078	ND
	Tarde	Operador de planta	Varias salas de celdas	0,082	0,00018	ND
	Tarde	Operador de planta	Digestión	0,21	0,00084	Trazas
	Tarde	Operador de planta	Preparación de producto final	0,072	Trazas	ND
	Tarde	Operador de planta	Purificación	0,015	0,00021	ND
	Tarde	Operador de planta	Preparación de producto final	0,19	0,000088	ND
26-ago	Mañana	Operador de planta	Salas de celdas	0,041	0,000068	ND
	Mañana	Operador de planta	Digestión	0,18	0,00076	Trazas
	Mañana	Operador de planta	Preparación de producto final	0,09	Trazas	ND
	Mañana	Operador de planta	Purificación	0,042	0,0049	ND
	Mañana	Mecánico	Todas	0,072	0,00017	ND
	Mañana	Mecánico	Todas	0,091	0,00015	ND
	Mañana	Mecánico	Todas	0,049	0,00032	Trazas
	Mañana	Operador de planta	Preparación de producto final	0,4	0,00034	Trazas
	Mañana	Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	0,38	0,0011	0,00033

Fecha	Turno	Puesto de trabajo	Ubicación	Concentración mg/m ³		
				Manganeso	Cobalto	Níquel
	Tarde	Operador de planta	Varias salas de celdas	0,034	Trazas	ND
		Operador de planta	Digestión	0,18	0,00064	ND
		Operador de planta	Preparación de producto final	0,1	Trazas	ND
		Operador de planta	Purificación	0,053	0,00039	ND
		Aprovisionador de materia prima	Almacén de materia prima	0,037	0,000091	ND
AMBIENTAL 1	Zona de filtros			0,027	0,0003	
Ambiental 2	Ídem			0,022	0,00013	

Puesto que los únicos puestos de trabajo que se han muestreado tanto en febrero como en agosto son los de operador de planta y de mecánico, tendremos que basar el análisis en estos dos puestos. Por otra parte, tanto las tareas de operador de planta como las de mecánico son intercambiables dentro de cada grupo, en el sentido de que una persona determinada puede trabajar en cualquier puesto de su categoría.

Por tanto, consideraremos que todas las tareas de operador de planta son una sola tarea y calcularemos el promedio de concentración del conjunto de las muestras de operador en febrero y en agosto y compararemos los resultados. Luego haremos lo mismo con los mecánicos.

Los resultados los resumiremos en la siguiente tabla, donde en cada casilla se recoge el resultado de la concentración recogido en las casillas de las tablas anteriores y en la última fila de los valores de cada columna.

Operadores de planta		Mecánicos	
Febrero	Agosto	Febrero	Agosto
0,052	0,092	1,6	0,066
0,5	0,26	0,11	0,12
0,11	0,051	0,074	0,27
1,1	0,12	0,15	0,072
0,93	0,12	0,28	0,091
	0,082	0,11	0,049
	0,21	0,43	
	0,072	0,086	
	0,015		
	0,19		
	0,041		
	0,18		

		0,09		
		0,042		
		0,4		
		0,034		
		0,18		
		0,1		
		0,053		
Media	0,5384	0,1227	0,3550	0,1113

Es evidente que la concentración media de manganeso es, tanto para los operadores como para los mecánicos, mucho más elevada (unas 3-4 veces) en invierno que en verano, lo cual coincide con las manifestaciones de los trabajadores en el sentido de que las condiciones de trabajo eran peores en la época invernal, presuntamente debido a una ventilación más escasa.

4. Evalúe el riesgo higiénico de cada puesto de trabajo para la exposición a manganeso, cobalto y níquel.

Las concentraciones medidas de cobalto son, en todos los casos, muy inferiores al valor límite de $0,02 \text{ mg/m}^3$, por lo que se descarta cualquier tipo de riesgo por esta exposición.

Lo mismo puede afirmarse de la exposición al níquel que normalmente no se detecta o aparece a nivel de trazas.

Respecto a la exposición a manganeso, los datos de exposición (promedio de las concentraciones halladas en los distintos puestos de trabajo) se resumen en la tabla siguiente:

Puesto de trabajo	Mediciones en febrero. Concentración en mg/m^3	Mediciones en agosto. Concentración en mg/m^3
Operador de planta	0,5384	0,1227
Mecánico	0,3550	0,1113
Electricista	-----	0,058
Peón	-----	0,36
Aprovisionador de materia prima (1)	-----	0,32

(1) A falta de más información, no se ha tenido en cuenta la concentración de $0,037 \text{ mg/m}^3$ encontrada en una de las mediciones por ser extremadamente baja en relación con las otras dos ($0,26$ y $0,38 \text{ mg/m}^3$).

Siendo el valor VLA-ED para el manganeso de $0,2 \text{ mg/m}^3$, puede concluirse que, suponiendo que las mediciones fuesen representativas, durante la época de invierno se supera ampliamente dicho valor para los operadores de planta y los mecánicos, lo cual exige la adopción de medidas preventivas con carácter inmediato. Esta conclusión adquiere aún más fuerza si se tiene en cuenta que al ser la jornada de trabajo de los operadores superior a 8 horas, el valor límite aplicable debería corregirse a la baja (los valores límite se consideran válidos para jornadas de ocho horas), con lo cual la diferencia entre las concentraciones medidas y el valor límite corregido sería aún mayor.

Inicialmente dichas medidas podrían consistir en un control efectivo del uso de protecciones individuales respiratorias en las operaciones en las que se alcanzan mayores concentraciones, que, obviamente, deberían incluir en todo caso las que se recogen en la tabla 5, en las que se registran concentraciones relativamente elevadas. Al mismo tiempo debería ponerse en marcha un plan de mejora de las instalaciones que redujera las concentraciones de manganeso

hasta límites compatibles con la normativa y redujera el empleo obligatorio de equipos de protección individual respiratoria a algunas operaciones específicas, tales como la descarga de los filtros.

5. Evalúe la exposición al ruido a partir de los datos de la tabla 8.

Los resultados para cada uno de los puestos de trabajo se resumen (incluyendo las distintas mediciones) en la siguiente tabla:

Puesto de trabajo	Nivel de ruido equivalente, dB A	Nivel de ruido equivalente promedio, dB A
Operador de planta	89,5-86,2- 83,3-87,2-84,2	86,6
Mecánico	83,1-87,2-81,5	84,6
Electricista	82,1-80,2	81,3
Peón	86,5	86,5
Aprovisionador de materia prima	85,4	85,4

En el caso del ruido, los promedios no deben calcularse como medias aritméticas, sino teniendo en cuenta la naturaleza logarítmica del dB. La fórmula a emplear es:

$$\text{Nivel promedio} = 10 \log \frac{1}{N} \sum 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2)$$

Donde N es el número de períodos (supuestos de igual duración, en nuestro caso un día completo) y L_i es el nivel sonoro en dB A en cada uno de ellos.

En el caso de los operadores, aunque en algunos días se supera el valor límite de 87 dB(A) que establece el Real Decreto 286/2006, que no debe superarse en ninguna jornada laboral, podría considerarse que es de aplicación el apartado 3 del artículo 5, que dice que “En circunstancias debidamente justificadas, y siempre que conste de forma explícita en la evaluación de riesgos, para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, a efectos de la aplicación de los valores límite y de los valores de exposición que dan lugar a una acción, podrá utilizarse el nivel de exposición semanal al ruido en lugar del nivel de exposición diaria al ruido para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos, a condición de que:

a) el nivel de exposición semanal al ruido, obtenido mediante un control apropiado, no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A), y

b) se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades”.

En este caso podría considerarse (aunque debería verificarse con mayor exactitud) que el promedio semanal, que se ha registrado en la tabla, vale 86,6 dB y por tanto, sería suficiente aplicar lo que indica el Real Decreto 286/2006 cuando el nivel resultante fuese superior a 85 dB(A): según el artículo 4.2, el empresario debería adoptar un programa de medidas técnicas y organizativas encaminadas a la reducción del ruido y, según el artículo 4.3, debería establecerse señalización, delimitación y limitación de acceso. Además (artículo 7) debería establecerse el uso obligatorio de equipos de protección individual y realizar la vigilancia de la salud que establece el artículo y reevaluar el puesto con la frecuencia que establece el artículo 6.4.

Lo mismo sería de aplicación al mecánico y al electricista. En el caso del peón y del provisionador, en los que solo se dispone de una medición, sería necesario ampliar el número de las mismas para llegar a una conclusión fiable.

6. Evalúe la exposición al ambiente térmico a partir de los datos de la tabla 9 considerando que se trata de personas aclimatadas.

Deberemos empezar por estimar la carga térmica metabólica, es decir, el calor producido por el organismo. Los resultados se muestran en la siguiente tabla, calculada a partir de la información disponible en el texto:

Puesto de trabajo	Componentes de la tarea			TOTAL, W/m ²
	Postura y movimiento del cuerpo, W/m ²	Actividad, W/m ²	Metabolismo basal, W/m ²	
Recolector	25	85	44	154
Operador	25	65	44	134

Según la figura 3 del texto, para consumos metabólicos entre 130 y 200 W/m² para personas aclimatadas, la Norma UNE-EN 27243 recomienda un valor de referencia de 28 °C WBGT.

En nuestro caso todas las mediciones se sitúan por debajo de ese valor, por lo que, en principio, podríamos considerar que la situación no presenta un riesgo importante.

7. En este caso, ¿recomendaríais la adopción de medidas preventivas frente al riesgo de estrés térmico? ¿Cuáles?

Habida cuenta de que en verano el valor del índice WBGT medido (27 °C) es próximo al límite recomendado (28 °C) y que las consecuencias de un estrés térmico excesivo pueden ser muy graves y desencadenarse de forma muy rápida e incluso repentina, sería recomendable adoptar medidas preventivas.

En primer lugar deberían adoptarse medidas encaminadas a disminuir la agresividad ambiental, por ejemplo, incrementando la ventilación, siempre y cuando la temperatura exterior sea inferior a la del interior de los locales. Si ello fuese posible, aislar exteriormente parte de las cubas electrolíticas podría contribuir a reducir la cantidad de calor que emiten.

Por otra parte debería favorecerse que los trabajadores beban abundantemente agua, y organizar el trabajo de manera que sea posible alternar varias veces al día entre trabajos "calurosos" y trabajos que lo sean menos.

También debería aportarse una vigilancia médica específica al menos en la época de verano.

8. Evaluad la exposición a nieblas de ácido sulfúrico. ¿Por qué creéis que los representantes de los trabajadores estaban preocupados por esa exposición?

Los datos ponen de manifiesto que en ninguna de las muchas muestras que se han tomado se encuentran más que trazas de ácido sulfúrico, lo cual indica que las esferas de polipropileno que flotan sobre el líquido contenido en las celdas electrolíticas realizan eficazmente su labor.

Probablemente la preocupación de los trabajadores tiene su origen en que las grandes cantidades de vapor de agua que se desprenden de las celdas y que generan espesas nieblas les inducen a pensar que se trata de nieblas de ácido sulfúrico, cuando en realidad se trata solo de vapor de agua.

9. Considerad el conjunto de los resultados de las concentraciones de manganeso obtenidas durante el muestreo de verano en el puesto de operador de planta, teniendo en cuenta que las muestras se han obtenido en **distintas ubicaciones**, ¿qué distribución estadística podemos esperar que sigan dichos resultados?

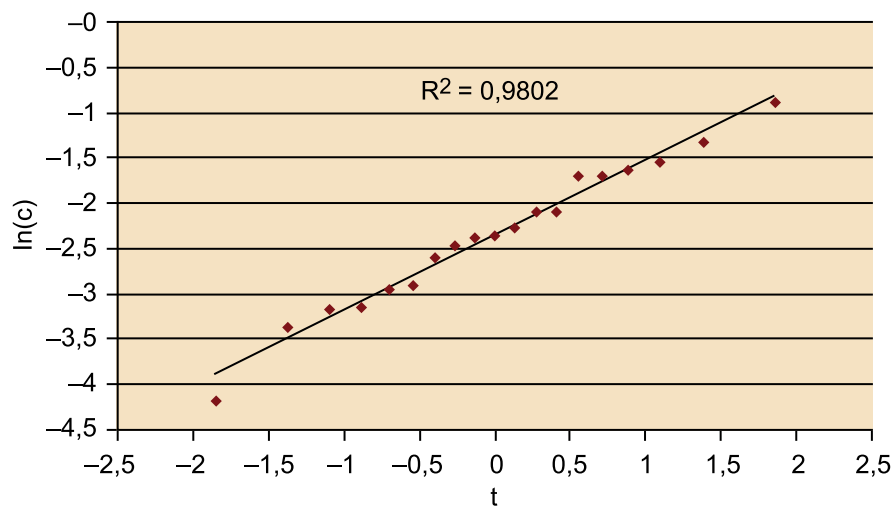
Si las muestras se hubieran tomado en una misma ubicación en distintos momentos y con duraciones aproximadamente iguales, podríamos esperar que siguieran una ley logarítmica normal. Ahora bien, como las ubicaciones son distintas, *a priori* no podemos esperar ninguna distribución concreta para el conjunto de los resultados.

10. Realizad la prueba de Filliben con los datos de la pregunta 9. ¿Puede concluirse que los datos se ajustan a la ley lognormal? ¿Cómo explicaríais la conclusión obtenida?

Los resultados de los cálculos para realizar la prueba de Filliben, tal como se explican en el texto, son los siguientes:

Número de orden	Concentración, mg/m ³	p _i	t	ln (c)
1	0,015	0,032467532	-1,8457049	-4,19970508
2	0,034	0,084415584	-1,3759692	-3,38139475
3	0,041	0,136363636	-1,09680356	-3,19418321
4	0,042	0,188311688	-0,88413493	-3,17008566
5	0,051	0,24025974	-0,70546729	-2,97592965
6	0,053	0,292207792	-0,54694636	-2,93746337
7	0,072	0,344155844	-0,40114729	-2,63108916
8	0,082	0,396103896	-0,26344476	-2,50103603
9	0,09	0,448051948	-0,13058464	-2,40794561
10	0,092	0,5	-1,3921E-16	-2,3859667
11	0,1	0,551948052	0,130584638	-2,30258509
12	0,12	0,603896104	0,263444764	-2,12026354
13	0,12	0,655844156	0,401147286	-2,12026354
14	0,18	0,707792208	0,54694636	-1,71479843
15	0,18	0,75974026	0,705467291	-1,71479843
16	0,19	0,811688312	0,884134935	-1,66073121
17	0,21	0,863636364	1,096803562	-1,56064775
18	0,26	0,915584416	1,375969201	-1,34707365
19	0,4	0,967532468	1,845704903	-0,91629073

La representación gráfica de ln (c) frente a t conducen al siguiente gráfico, en el que se ha incluido el valor de r²:



En el gráfico se observa visualmente un grado de ajuste considerable. Según la tabla 7 del texto se aceptará la hipótesis de que la distribución es lognormal con 19 mediciones, si el valor de R supera 0,949. En nuestro caso R vale 0,99, por lo que se acepta la hipótesis de lognormalidad de los datos.

El resultado puede parecer sorprendente habida cuenta de que las mediciones se han efectuado en ubicaciones distintas, pero sugiere que las exposiciones de los distintos puestos son similares, lo que explicaría que los resultados se comporten como si de un solo puesto de trabajo se tratase. La verificación de este hecho requeriría tomar un número considerable de muestras en cada una de dichas ubicaciones y comparar los resultados obtenidos.