



Comisión  
Europea

Guía no vinculante  
de buenas prácticas  
para la aplicación  
de la Directiva 2013/35/UE  
**sobre campos electromagnéticos**

Volumen 2:  
Casos prácticos

La presente publicación ha contado con el apoyo financiero del Programa de la Unión Europea para el Empleo y la Innovación Social «EaSI» (2014-2020).

Para obtener más información sobre dicho programa, se ruega consultar la dirección siguiente:  
<http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1081&langId=es>

Guía no vinculante  
de buenas prácticas  
para la aplicación  
de la Directiva 2013/35/UE

# sobre campos electromagnéticos

Volumen 2:  
Casos prácticos

**Comisión Europea**  
Dirección General  
de Empleo, Asuntos Sociales e Inclusión  
Unidad B3

Manuscrito finalizado en noviembre de 2014

Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre podrán considerarse responsables del uso que pudiera hacerse de la información contenida en la presente publicación.

Los enlaces que recoge la presente publicación eran válidos en el momento en que se finalizó el manuscrito.

© Fotografía de la cubierta: corbis

Cualquier uso o reproducción de fotografías que no estén sujetas a los derechos de autor de la Unión Europea requerirá la autorización directa del titular o titulares de los derechos de autor.

***Europe Direct es un servicio que le ayudará a encontrar respuestas  
a sus preguntas sobre la Unión Europea***

**Número de teléfono gratuito (\*):**

**00 800 6 7 8 9 10 11**

(\*) Tanto la información como la mayoría de las llamadas (excepto desde algunos operadores, cabinas u hoteles) son gratuitas.

Más información sobre la Unión Europea, en el servidor Europa de internet (<http://europa.eu>).

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2015

ISBN 978-92-79-45951-1

doi:10.2767/869414

© Unión Europea, 2015

Reproducción autorizada, con indicación de la fuente bibliográfica.

# ÍNDICE

Casos prácticos .....	7
<b>1. OFICINAS .....</b>	<b>9</b>
1.1. Lugares de trabajo .....	9
1.2. Naturaleza del trabajo .....	9
1.3. Método para la evaluación .....	10
1.4. Resultados de la evaluación .....	10
1.5. Evaluación de riesgos .....	10
1.6. Precauciones ya adoptadas .....	11
1.7. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	11
<b>2. ESPECTRÓMETRO DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR .....</b>	<b>12</b>
2.1. Lugares de trabajo .....	12
2.2. Naturaleza del trabajo .....	12
2.3. Información sobre el equipo que produce el CEM .....	12
2.4. Método para la evaluación de la exposición.....	13
2.5. Resultados de la evaluación de la exposición.....	14
2.6. Evaluación de riesgos .....	14
2.7. Precauciones ya adoptadas .....	15
2.8. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	16
<b>3. ELECTRÓLISIS .....</b>	<b>17</b>
3.1. Lugares de trabajo .....	17
3.2. Naturaleza del trabajo .....	17
3.3. Información sobre el equipo que produce los CEM.....	17
3.3.1. Sala de celdas electrolizadoras.....	17
3.3.2. Módulo de cubículos de rectificadores .....	18
3.4. Cómo se utiliza la aplicación.....	20
3.5. Método para la evaluación de la exposición.....	20
3.5.1. Sala de celdas electrolizadoras.....	21
3.5.2. Módulo de cubículos de rectificadores .....	21
3.6. Resultados de la evaluación de la exposición.....	22
3.6.1. Sala de celdas de electrolizadores.....	23
3.6.2. Módulo de rectificadores.....	27
3.7. Evaluación de riesgos .....	29
3.8. Precauciones ya adoptadas .....	31
3.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	31
3.10. Otras fuentes de información .....	31
<b>4. MEDICINA.....</b>	<b>32</b>
4.1. Lugares de trabajo .....	32
4.2. Naturaleza del trabajo .....	32
4.3. Información sobre los equipos que producen CEM .....	32
4.3.1. Unidades de electrocirugía.....	32
4.3.2. Estimulación magnética transcraneal .....	33
4.3.3. Diatermia de onda corta .....	34
4.4. Cómo se utilizan las aplicaciones .....	34
4.4.1. Unidades de electrocirugía.....	34

4.4.2.	Estimulación magnética transcraneal.....	34
4.4.3.	Diatermia de onda corta.....	35
4.5.	Método para la evaluación de la exposición.....	35
4.6.	Resultados de la evaluación de la exposición.....	36
4.6.1.	Unidad de electrocirugía.....	36
4.6.2.	Dispositivo de EMT.....	39
4.6.3.	Diatermia de onda corta.....	43
4.7.	Evaluación de riesgos.....	43
4.7.1.	Unidad de electrocirugía.....	43
4.7.2.	Dispositivo de EMT.....	43
4.8.	Precauciones ya adoptadas.....	46
4.9.	Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	46
4.9.1.	Unidad de electrocirugía.....	46
4.9.2.	Dispositivo de EMT.....	46
4.9.3.	Diatermia de onda corta.....	47
<b>5.</b>	<b>TALLER DE INGENIERÍA.....</b>	<b>48</b>
5.1.	Lugar de trabajo.....	48
5.2.	Naturaleza del trabajo.....	48
5.3.	Cómo se utilizan las aplicaciones.....	48
5.3.1.	Inspección por partículas magnéticas.....	48
5.3.2.	Desmagnetizador.....	49
5.3.3.	Máquina lijadora de superficies.....	50
5.3.4.	Otras herramientas empleadas en el taller.....	50
5.4.	Información sobre los equipos que producen CEM.....	51
5.5.	Método para la evaluación de la exposición.....	51
5.6.	Resultados de la evaluación de la exposición.....	51
5.6.1.	Inspección por partículas magnéticas.....	51
5.6.2.	Desmagnetizador.....	52
5.6.3.	Máquina lijadora de superficies.....	54
5.6.4.	Otras herramientas empleadas en el taller.....	54
5.7.	Evaluación de riesgos.....	55
5.8.	Precauciones ya adoptadas.....	59
5.9.	Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	59
5.10.	Referencia a fuentes de información adicional.....	61
<b>6.</b>	<b>AUTOMÓVIL.....</b>	<b>63</b>
6.1.	Lugar de trabajo.....	63
6.2.	Naturaleza del trabajo.....	63
6.3.	Cómo se utilizan las aplicaciones.....	63
6.4.	Información sobre los equipos que producen CEM.....	65
6.5.	Método para la evaluación de la exposición.....	67
6.6.	Resultados de las evaluaciones de la exposición.....	68
6.6.1.	Resultados de la evaluación de la exposición de los equipos de soldadura por puntos de un taller de reparación.....	69
6.6.2.	Resultados de la evaluación de la exposición de los calentadores de inducción usados en el taller de reparación de carrocería.....	71
6.7.	Conclusiones de las evaluaciones de exposición.....	72
6.8.	Evaluación de riesgos.....	74
6.9.	Precauciones ya adoptadas.....	74
6.10.	Otras precauciones como consecuencia de las evaluaciones.....	75
6.11.	Los equipos de soldadura por puntos en la fabricación de vehículos.....	76
6.11.1.	Evaluación del equipo de soldadura por puntos en la fábrica.....	76
6.11.2.	Resultados de las mediciones de los equipos de soldadura por puntos en la fábrica.....	78

6.11.3.	Resultados de las mediciones de los equipos de soldadura por puntos en la fábrica en el contexto de los NA .....	80
6.11.4.	Resultados de las mediciones de los equipos de soldadura por puntos en la fábrica en el contexto de los VLE .....	80
<b>7.</b>	<b>SOLDADURA .....</b>	<b>83</b>
7.1.	Lugar de trabajo .....	83
7.2.	Naturaleza del trabajo .....	83
7.3.	Información sobre los equipos que producen CEM .....	83
7.3.1.	Equipos de soldadura por puntos .....	83
7.3.2.	Equipos de soldadura en cordón .....	84
7.4.	Cómo se utilizan las aplicaciones .....	85
7.5.	Método para la evaluación de la exposición .....	85
7.6.	Resultados de la evaluación de la exposición .....	86
7.6.1.	Equipo de soldadura de banco .....	86
7.6.2.	Equipo de soldadura por puntos suspendido portátil .....	87
7.6.3.	Soldadoras en cordón .....	89
7.7.	Evaluación de riesgos .....	90
7.8.	Precauciones ya adoptadas .....	94
7.9.	Otras precauciones como consecuencia de la evaluación .....	94
7.10.	Referencia a fuentes de información adicional .....	95
7.10.1.	Equipo de soldadura por puntos de banco .....	95
7.10.2.	Equipo de soldadura por puntos suspendido portátil .....	96
7.10.3.	Soldadora en cordón .....	96
<b>8.</b>	<b>FABRICACIÓN METALÚRGICA .....</b>	<b>98</b>
8.1.	Lugar de trabajo .....	98
8.2.	Naturaleza del trabajo .....	98
8.3.	Información sobre los equipos que producen CEM y sobre cómo se utilizan .....	98
8.3.1.	Instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones .....	98
8.3.2.	Instalación de producción de ferro-titanio .....	99
8.3.3.	Gran instalación eléctrica de fundición .....	99
8.3.4.	Instalación de horno de arco .....	100
8.3.5.	Laboratorio de servicios de análisis .....	100
8.4.	Método para la evaluación de la exposición .....	101
8.4.1.	Instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones .....	101
8.4.2.	Instalación de producción de ferro-titanio .....	101
8.4.3.	Gran instalación eléctrica de fundición .....	101
8.4.4.	Instalación de horno de arco .....	102
8.4.5.	Laboratorio de servicios de análisis .....	102
8.5.	Resultados de la evaluación de la exposición .....	102
8.5.1.	Evaluación inicial de la exposición .....	102
8.5.2.	Evaluación detallada de la exposición del horno de inducción de la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones .....	104
8.6.	Evaluación de riesgos .....	106
8.7.	Precauciones ya adoptadas .....	108
8.8.	Otras precauciones como consecuencia de la evaluación .....	108
8.9.	Referencia a fuentes de información adicional .....	109
<b>9.</b>	<b>APARATOS DE PLASMA DE RADIOFRECUENCIA .....</b>	<b>112</b>
9.1.	Naturaleza del trabajo .....	112
9.2.	Información sobre los equipos que producen CEM .....	112
9.3.	Cómo se utiliza la aplicación .....	113
9.4.	Método para la evaluación de la exposición .....	113
9.5.	Resultados de la evaluación de la exposición .....	115

9.6. Evaluación de riesgos.....	116
9.7. Precauciones ya adoptadas.....	117
9.8. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	118
9.9. Información adicional.....	119
<b>10. ANTENAS DE AZOTEA.....</b>	<b>120</b>
10.1. Lugar de trabajo.....	120
10.2. Naturaleza del trabajo.....	120
10.3. Información sobre los equipos que producen CEM.....	121
10.4. Cómo se utiliza la aplicación.....	123
10.5. Método para la evaluación de la exposición.....	123
10.6. Resultados de la evaluación de la exposición.....	124
10.7. Evaluación de riesgos.....	125
10.8. Precauciones ya adoptadas.....	126
10.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	127
<b>11. EMISORES-RECEPTORES PORTÁTILES.....</b>	<b>128</b>
11.1. Lugar de trabajo.....	128
11.2. Naturaleza del trabajo.....	128
11.3. Cómo se utiliza la aplicación.....	130
11.4. Método para la evaluación de la exposición.....	130
11.5. Resultados de la evaluación de la exposición.....	130
11.6. Evaluación de riesgos.....	130
11.7. Precauciones ya adoptadas.....	131
11.8. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	131
<b>12. AEROPUERTOS.....</b>	<b>132</b>
12.1. Lugar de trabajo.....	132
12.2. Naturaleza del trabajo.....	132
12.2.1. Radar.....	132
12.2.2. Radiofaro no direccional.....	132
12.2.3. Equipo medidor de distancia.....	133
12.3. Información sobre los equipos que producen CEM.....	133
12.3.1. Radares.....	133
12.3.2. Radiofaro no direccional.....	134
12.3.3. Equipo medidor de distancia.....	134
12.4. Cómo se utilizan las aplicaciones.....	134
12.5. Método para la evaluación de la exposición.....	134
12.5.1. Radar.....	134
12.5.2. Radiofaro no direccional.....	136
12.5.3. Equipo medidor de distancia.....	136
12.6. Resultados de la evaluación de la exposición.....	136
12.6.1. Radar.....	137
12.6.2. Radiofaro no direccional.....	137
12.6.3. Equipo medidor de distancia.....	138
12.7. Evaluación de riesgos.....	138
12.8. Precauciones ya adoptadas.....	141
12.8.1. Radar.....	141
12.8.2. Radiofaro no direccional.....	142
12.8.3. Equipo medidor de distancia.....	142
12.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación.....	142
12.9.1. Radar.....	142
12.9.2. Radiofaro no direccional.....	143
12.9.3. Equipo medidor de distancia.....	143

# CASOS PRÁCTICOS

Este conjunto de casos prácticos constituye el volumen 2 de la *Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos* («Directiva CEM»). Debe leerse junto con la parte principal de la guía, que forma el volumen 1.

Los casos prácticos siguientes se han elaborado para una serie de sectores laborales que pueden ocupar a trabajadores de pequeñas y medianas empresas. Se basan en evaluaciones reales de situaciones de la vida real. No obstante, debido a la complejidad de algunas de estas evaluaciones, se han simplificado o resumido para hacerlas más útiles al lector y para limitar el tamaño total del volumen. Se destinan a ilustrar una diversidad de enfoques prácticos que pueden adoptar los empresarios para la gestión de los riesgos asociados a la exposición a los campos electromagnéticos (CEM). Se incluyen ejemplos de buenas prácticas.

Algunos de los casos prácticos incluyen gráficos de contorno que tratan de ofrecer una ilustración esquemática (en planta) de los niveles de exposición medidos (o calculados) en torno a determinados elementos de equipos.

Algunos de los casos prácticos incluyen los resultados de modelización por ordenador representados por gráficos en color de la distribución del campo eléctrico inducido máximo o de la tasa de absorción específica de energía en los vóxeles de  $2 \text{ mm}^3$  que componen el modelo humano. El objetivo de estos gráficos es ofrecer una ilustración esquemática de dónde se absorbe el campo en el cuerpo humano, y no tanto ofrecer una información precisa sobre la magnitud de estos campos. En los gráficos correspondientes a la baja frecuencia, se presentan los campos eléctricos inducidos máximos y no el percentil 99 de los campos eléctricos inducidos (usados para comparación con los valores límites de exposición).

Los casos prácticos incluidos en este volumen son los que se muestran a continuación:

1. **Oficinas**
2. **Espectrómetro de resonancia magnética nuclear**
3. **Electrólisis**
4. **Medicina**
5. **Taller de ingeniería**
6. **Automóvil**
7. **Soldadura**
8. **Fabricación metalúrgica**
9. **Aparatos de plasma de radiofrecuencia**
10. **Antenas de azotea**
11. **Emisores-receptores portátiles**
12. **Aeropuertos**



# 1. OFICINAS

## 1.1. Lugares de trabajo

Este caso práctico se refiere a un grupo de oficinas de una empresa de ingeniería de tamaño medio. Las oficinas tienen equipos eléctricos de oficina habituales conectados a la red eléctrica. Los ordenadores son una combinación de: equipos de sobremesa conectados a una Red de Área Local (LAN), equipos portátiles que utilizan un sistema Wi Fi y un servidor de red. Hay también una pequeña cocina para su uso por los trabajadores. Los equipos eléctricos de la cocina son un calentador de líquidos, un frigorífico y un horno de microondas. Hay también un gran servidor de red central que se encuentra en una sala independiente. La zona de oficinas se mantiene segura empleando un sistema de control de acceso de identificación por radiofrecuencia (RFID), disponiendo cada trabajador de una tarjeta de acceso. El director de la oficina decidió revisar la evaluación de riesgos de la oficina tras oír a otros colegas hablar de la adopción de nueva legislación de transposición de la Directiva CEM.

## 1.2. Naturaleza del trabajo

Los trabajadores de la oficina pasan mucha parte de su tiempo trabajando con ordenadores y haciendo llamadas telefónicas inalámbricas (DECT) y con teléfonos móviles. Las tarjetas de identificación permiten el acceso a las oficinas cuando se colocan próximas a los cierres de puertas con RFID. Algunas de estas fuentes de campos electromagnéticos se presentan en la figura 1.1. Todos los trabajadores pueden hacer uso de la cocina para prepararse bebidas calientes y recalentar la comida en el horno de microondas.

**Figura 1.1. Fuentes de campos electromagnéticos en la oficina**



### 1.3. Método para la evaluación

El director de la oficina recorrió la oficina tomando nota de los equipos que emplean electricidad, incluidos los que producen campos electromagnéticos, y habló con los trabajadores para asegurarse de que no se había dejado de considerar ningún elemento. Una vez leída la sección 1 de la *Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos*, el director observó que el mejor método para evaluar el riesgo era observar si los elementos identificados aparecían en el cuadro 3.2 del capítulo 3 del volumen 1 de la guía. Si alguno de los elementos no estuviera incluido en este cuadro, podría hacer falta una evaluación adicional.

### 1.4. Resultados de la evaluación

El director de la oficina incluyó todos los equipos eléctricos (cuadro 1.1) y anotó si aparecían en el cuadro 3.2 del capítulo 3 del volumen 1 de la guía.

**Cuadro 1.1. Lista de equipos eléctricos de la zona de la oficina**

Elemento	Bajo riesgo para cualquier trabajador (cuadro 3.2, capítulo 3)	Evaluación necesaria para trabajadores que utilicen dispositivos médicos implantados activos (DMIA) o lleven en el cuerpo dispositivos médicos (cuadro 3.2, capítulo 3)	Observaciones
Ordenadores	✓		
Servidor de red con SAI asociados y cableado de red	✓		La salida de los SAI será similar a la del suministro eléctrico normal
Ordenadores portátiles (con acceso a Wi-Fi)		✓	
Teléfonos inalámbricos (DECT)		✓	
Cables de la red eléctrica	✓		
Teléfonos móviles		✓	
Fotocopiadora	✓		
Punto de acceso a Wi-Fi		✓	
Calentador de líquidos	✓		
Frigorífico	✓		
Horno de microondas	✓		El horno precisa un buen mantenimiento
Acceso de seguridad con RFID		✓	

### 1.5. Evaluación de riesgos

Los resultados de la evaluación indican que el uso de los equipos de oficina detallados en el cuadro 3.2 del capítulo 3 del volumen 1 de la guía no sobrepasará los valores límite de exposición (VLE) relacionados con efectos para la salud relevantes, de acuerdo con la Directiva CEM. No obstante, existe la posibilidad de que otros equipos incluidos en el cuadro 3.2 puedan causar interferencias en dispositivos médicos implantados activos (DMIA) u otros dispositivos médicos que lleven los trabajadores en el cuerpo. La evaluación de riesgos específicos de CEM que se muestra en el cuadro 1.2 se ha añadido a la evaluación de riesgos general de la oficina.

## 1.6. Precauciones ya adoptadas

Se efectúan comprobaciones periódicas del estado general del horno de microondas durante las inspecciones de seguridad normales de la oficina.

## 1.7. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

El director de la oficina aplica unas pocas medidas simples:

- Todo nuevo equipo de tipo distinto debe ser revisado teniendo en cuenta lo previsto en la Directiva CEM para ver si modifica el resultado de la evaluación de riesgos.
- cuando un trabajador de la oficina informe de que tiene un riesgo particular a causa de un dispositivo médico implantado activo, el director de la oficina revisará junto a él la información que les haya transmitido el facultativo responsable de su atención.

**Cuadro 1.2. Complementos específicos de CEM a la evaluación general de la oficina**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Radiación CEM del horno de microondas	Comprobaciones periódicas del estado general del horno incluyendo los daños en las juntas de la puerta, la rejilla de la ventana y el funcionamiento de los cierres	Todos los trabajadores	✓			✓			Bajo	No se precisan
Interferencia de la radiación CEM con DMIA o dispositivos médicos llevados en el cuerpo	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares	✓			✓			Bajo	Asegurarse de que los trabajadores con equipos o dispositivos eléctricos médicos se sometan a una evaluación individual de riesgos a su vuelta al trabajo, en la que se identifiquen y apliquen las precauciones recomendadas por su asesor médico  Todo equipo nuevo deberá ser evaluado

## 2. ESPECTRÓMETRO DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

### 2.1. Lugares de trabajo

Los espectrómetros de resonancia magnética nuclear (RMN) pueden representar un peligro a causa de intensos campos magnéticos estáticos. Se utilizan para investigar las propiedades de los materiales, por ejemplo en las industrias de fabricación en relación con el análisis de compuestos químicos. Este caso práctico se presenta en una compañía farmacéutica en la que las unidades RMN se sitúan en un laboratorio de espectroscopia exclusivo. Había planes de adquisición de una nueva unidad y el responsable de seguridad quiso revisar la evaluación de riesgos antes de elaborar un plan de actuación.

### 2.2. Naturaleza del trabajo

Se carga pequeñas muestras del material que se va a analizar, bien simplemente a mano, bien automáticamente por lotes por medio de una cadena transportadora en el cilindro vertical de la unidad RMN (figura 2.1).

**Figura 2.1. Unidad RMN, completa con cadena transportadora de muestras y plataforma de carga**



### 2.3. Información sobre el equipo que produce el CEM

En la preparación para la revisión, el responsable de seguridad reunió información general sobre las unidades RMN y observó que:

- El electroimán genera un intenso campo magnético estático (0 Hz); las densidades de flujo van desde unos 0,5 hasta 20 T, dependiendo de la unidad. Las pequeñas unidades de sobremesa tienden a utilizar imanes permanentes de tierras raras, mientras que las unidades autónomas más grandes utilizan imanes superconductores. El imán permanece completamente activado durante largos períodos de tiempo para mejorar la estabilidad

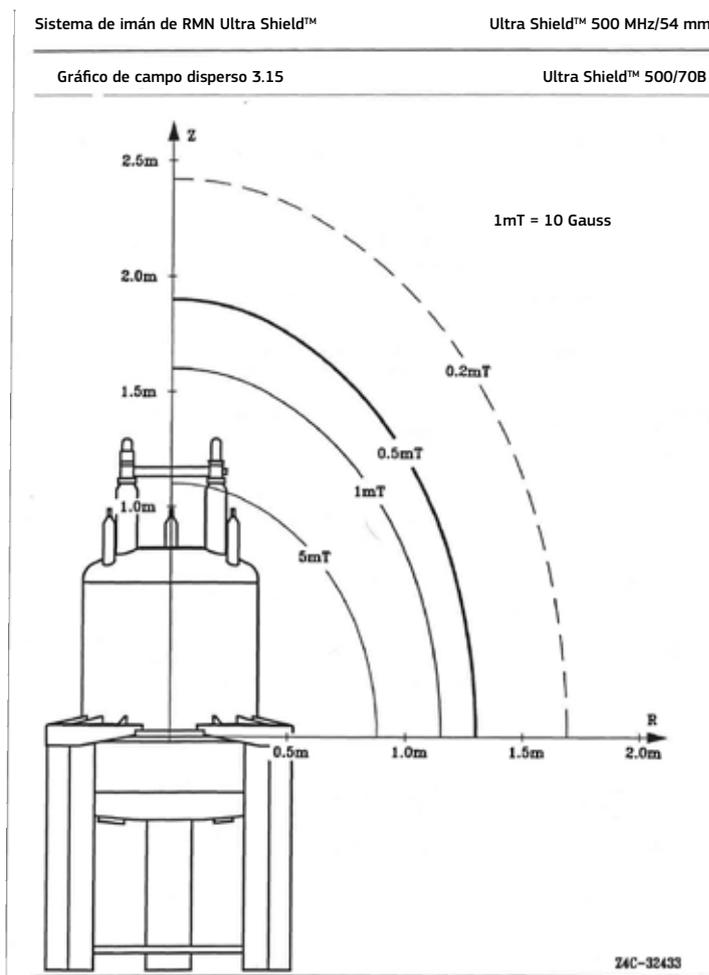
del campo y no es factible reducir la intensidad de campo cuando se acerque un trabajador.

- Los fabricantes han mejorado progresivamente el diseño de sus unidades para incorporar apantallamientos pasivos y activos a fin de reducir la intensidad de campo magnético estático accesible al trabajador. De esa forma se puede confinar casi totalmente el peligroso campo magnético dentro de los límites del criostato. En unidades más antiguas, o menos bien apantalladas, el campo magnético peligroso puede extenderse algunos metros en la zona de trabajo.
- Estos campos magnéticos externos tienden a distorsionarse y verse encauzados por estructuras de acero (por ejemplo, vigas) dentro del edificio.

## 2.4. Método para la evaluación de la exposición

El responsable de seguridad sabía que el fabricante de la nueva unidad podía facilitar información sobre la intensidad del campo magnético al que podían acceder los trabajadores. Y, lo que es más importante, podía describir el alcance de todo peligro producido por efectos indirectos, tal como el riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos o la interferencia con equipos y dispositivos electrónicos médicos. Siguiendo su buena práctica, el fabricante podía proporcionar un gráfico del campo magnético estático disperso alrededor de la unidad (figura 2.2).

**Figura 2.2. Gráfico del campo magnético estático disperso alrededor de la unidad RMN**



El responsable de seguridad sabía que también sería posible evaluar la intensidad de campo magnético estático alrededor de la unidad con un magnetómetro adecuado, y que sería mucho más fácil conseguir un resultado fiable con un sensor isotrópico (de tres ejes) que con uno de un solo eje. Sin embargo, este método exigiría una inversión de tiempo y dinero, así como la consideración de los peligros asociados a la toma de mediciones, especialmente si los instrumentos tenían revestimiento metálico. Para la evaluación, el responsable de seguridad decidió excluir las mediciones sobre la base de que el fabricante facilitaría una buena información.

El responsable de seguridad tuvo en cuenta asimismo los grupos de trabajadores que tendrían acceso al laboratorio de RMN y las tareas que era probable que llevaran a cabo. Observó que ciertos técnicos de servicio de los fabricantes de las unidades de RMN tendrían acceso ocasional y que accederían a zonas de alta intensidad de campo, por ejemplo la base del criostato para operaciones de ajuste del espectrómetro. No obstante, tomó nota de que su empresa pediría a esos técnicos que aportaran una evaluación escrita de riesgos y procedimientos de seguridad para su trabajo y que demostraran su competencia (por ejemplo, mediante la aportación de pruebas de una formación adecuada y una experiencia práctica) antes de su visita. Sobre esta base, evaluó como bajos los riesgos asociados al trabajo de estos técnicos. También subrayó que a los contratistas de limpieza no se les permitiría el acceso al laboratorio.

## 2.5. Resultados de la evaluación de la exposición

A partir de la revisión de las unidades existentes dentro del laboratorio RMN, el responsable de seguridad sabía que puede haber una considerable variación de la distancia de peligro dependiendo del diseño y, especialmente, del apantallamiento: en unidades antiguas sin apantallamiento con alta intensidad de campo, esa distancia puede ser de varios metros, mientras que en unidades modernas bien apantalladas podía ser prácticamente nula. Sin embargo, no se esperaba que la intensidad de campo superara los valores límites de exposición (VLE) para los efectos directos en lugares accesibles a los trabajadores de la empresa. Aunque hubiera una importante salida de potencia del amplificador de radiofrecuencia, se esperaba que el campo de radiofrecuencia estaría contenido totalmente dentro de la unidad y no sería accesible a los trabajadores.

A partir de la información facilitada por el fabricante (figura 2.2), el responsable de seguridad identificó los niveles de actuación (NA) para los efectos indirectos que era probable que se superasen en un radio de 1,3 m desde la superficie exterior del criostato.

## 2.6. Evaluación de riesgos

El responsable de seguridad sabía que ya se tenía una evaluación de riesgos para el laboratorio de RMN y observó que esta seguía la metodología sugerida por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. Ahí se evalúan todos los riesgos para los trabajadores en el laboratorio, incluidos los de:

- trabajo en altura cuando se cargan las muestras;
- líquidos criogénicos y *quenching* (atenuación) de los imanes superconductores;
- atmósfera asfixiante de nitrógeno en espacios cerrados bajo el criostato, tal como un cárter para cambio de muestras;
- proyección de objetos ferromagnéticos (por ejemplo, herramientas e instrumentos);
- interferencia con equipos y dispositivos electrónicos médicos.

En consecuencia, sería fácil registrar el nuevo plan de actuación a partir de la revisión actual en la evaluación de riesgos existente. En el cuadro 2.1 se presenta un ejemplo de un riesgo específico de CEM para el laboratorio de RMN.

## 2.7. Precauciones ya adoptadas

El responsable de seguridad observó que se han adoptado una serie de medidas de organización en el laboratorio de RMN para impedir o restringir la exposición. La primera de ellas ha sido la selección de unidades de RMN con apantallamiento pasivo o activo de última generación. Otras medidas de buenas prácticas aplicadas son las siguientes:

- localizar las unidades de RMN en un laboratorio exclusivo con control de acceso físico, en forma de acceso mediante el tecleo de una clave;
- colocar señales de advertencia y prohibición de acuerdo con la Directiva 92/58/CEE en la puerta de entrada al laboratorio (figura 2.3) (ello incluye un aviso para personas que lleven puesto un equipo electrónico médico);
- impedir la introducción en el laboratorio de herramientas y otros objetos ferromagnéticos;
- separar las unidades de RMN de otros equipos de laboratorio y puestos de trabajo;
- levantar una barrera de cadena y poner señales en el suelo, en la posición de la curva de contorno de 0,5 mT, para control del acceso (figura 2.4);
- aportar información, instrucción y formación a los que trabajen en el laboratorio y asegurarse de que hay una supervisión adecuada;
- solicitar a los técnicos de servicio que aporten documentación escrita de seguridad y que demuestren su competencia antes de su visita.

**Figura 2.3. Señales de advertencia y prohibición en la puerta de entrada al laboratorio de RMN**



**Figura 2.4. Demarcación del área restringida mediante una barrera de cadena y colocación de señales en el suelo**



**Cuadro 2.1. Evaluación del riesgo específico de CEM para el laboratorio de RMN**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del campo magnético estático	Laboratorio aparte con control de acceso físico	Trabajadores del laboratorio	✓			✓			Bajo	
	Señales de advertencia y prohibición									
	Información, instrucción y formación									Formación de actualización Incluir artículo en el boletín de seguridad
	Exigencia de documentación de seguridad escrita y demostración de competencia	Técnicos de servicio	✓			✓			Bajo	
	Acceso no permitido al personal de limpieza	Personal de limpieza	✓			✓			Bajo	Asegurarse de que el personal de limpieza está al tanto
Efectos indirectos del campo magnético estático (interferencia con implantes médicos, riesgo de proyección)	Impedir la entrada de objetos ferromagnéticos	Todos los anteriores		✓		✓			Bajo	Asegurarse de que el personal de mantenimiento está al tanto
	Véase anteriormente	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Bajo	Véase anteriormente
Campo de radiofrecuencia	Totalmente contenido en la unidad y no accesible	Todos los anteriores	✓			✓			Bajo	Ninguna

## 2.8. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

El responsable de seguridad se mostró satisfecho en general con la revisión de la evaluación de riesgos y de los peligros asociados a la nueva unidad. Se consideró que las medidas de organización eran suficientes aunque habían pasado cinco años desde que los trabajadores recibieron por última vez formación acerca de los peligros y las precauciones asociados al laboratorio de RMN. De acuerdo con ello, el responsable de seguridad elaboró un plan de actuación con los elementos siguientes:

- actualizar la formación de los trabajadores del laboratorio con una serie de breves sesiones de sensibilización, dándose prioridad a los nuevos trabajadores;
- asegurarse de que el personal de mantenimiento conoce los peligros, especialmente de las «herramientas ferromagnéticas volantes»;
- confirmar que los contratistas de limpieza saben que les está prohibido entrar en el laboratorio;
- incluir un artículo sobre los peligros asociados al laboratorio en el siguiente boletín de seguridad de la empresa.

## 3. ELECTRÓLISIS

Las fuentes de CEM son en este caso práctico las siguientes:

- electrolizadores,
- rectificadores de tiristor,
- barras ómnibus,
- transformadores.

### 3.1. Lugares de trabajo

Los equipos estaban colocados en una gran instalación de fabricación de cloro. Los lugares de trabajo de interés eran los siguientes:

- la sala de celdas electrolizadoras,
- los módulos de cubículos de rectificadores.

### 3.2. Naturaleza del trabajo

La mayor parte del trabajo en el equipo es realizada por personal técnico experimentado y cualificado, al que se le puede pedir que trabaje en alguno de los equipos asociados a la instalación de producción de cloro. Esto podría implicar periódicamente el desmontaje y la revisión de un electrolizador mientras los electrolizadores adyacentes siguen «vivos».

La instalación era relativamente nueva y se había tenido en cuenta la seguridad de CEM en la etapa de diseño. Este caso práctico es, por tanto, un ejemplo de buena práctica y pone de relieve la importancia de considerar la exposición a CEM en las etapas de planificación de un proyecto importante.

### 3.3. Información sobre el equipo que produce los CEM

#### 3.3.1. Sala de celdas electrolizadoras

La sala de celdas electrolizadoras comprende 20 electrolizadores, que producen cloro al aplicar una corriente eléctrica a la salmuera siguiendo el método de electrólisis de celda de membrana. A cada electrolizador se aplica una corriente continua de 450 V, 16,5 kA. Alrededor de los electrolizadores se han instalado protectores Perspex para impedir el acceso a conductores eléctricos activos.

Incluyendo el protector, cada electrolizador tiene 17,2 m de largo y 4,4 m de ancho, y se compone de 138 celdas divididas en dos «paquetes» de 69 celdas cada uno, conectadas en serie. Los electrolizadores están separados por una distancia de aproximadamente 1,1 m. La disposición de los electrolizadores se muestra en la figura 3.1.

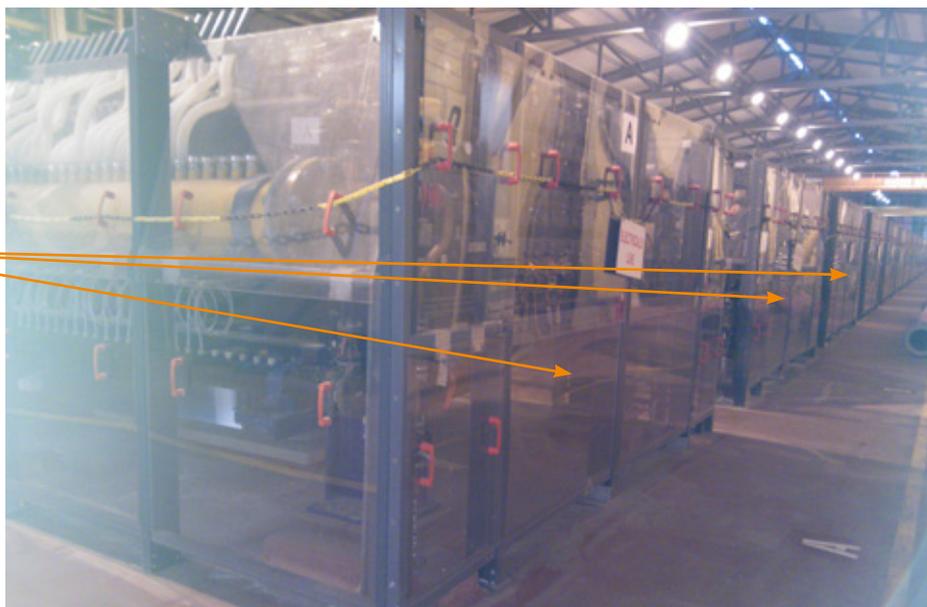
Se ha efectuado en la fase de diseño una evaluación del modelo teórico basada en cálculos de campos magnéticos alrededor de las partes conductoras de corriente de la instalación para tener confianza en que se reducirán al mínimo las exposiciones a los CEM.

**Figura 3.1. Electrolizadores en la sala de celdas**

**Un solo electrolizador,  
visto en toda su  
longitud**



**Varios  
electrolizadores**



### 3.3.2. Módulo de cubículos de rectificadores

Cada módulo de cubículos de rectificadores (figura 3.2) contiene un rectificador de tiristores, que proporciona alimentación de CC a dos electrolizadores. Las barras ómnibus que suministran alimentación a los electrolizadores pasan por vía aérea a una altura de unos 4,2 m por encima del nivel del suelo. Los módulos están vallados para impedir el acceso desde el exterior del edificio y la puerta de cada uno de ellos está cerrada con una señal de advertencia colocada a su lado (figura 3.3). Cuando los electrolizadores están funcionando, no está normalmente permitido el acceso a los módulos.

Los transformadores que alimentan la sala de celdas están situados fuera de los módulos de cubículos de rectificadores, al otro lado de la pared de los rectificadores. Los módulos de transformadores están también vallados para impedir el acceso (figura 3.4).

Figura 3.2. Un módulo de cubículos de rectificadores



Barras ómnibus aéreas

Rectificador de tiristores

Figura 3.3. Restricción de acceso al módulo de cubículos de rectificadores



Puerta bloqueada del cubículo de rectificadores

**Figura 3.4. Los módulos de transformadores**

### 3.4. Cómo se utiliza la aplicación

El proceso de producción del cloro es automático y se dirige a distancia desde una sala de control en un edificio próximo.

### 3.5. Método para la evaluación de la exposición

Las mediciones de las exposiciones las realizó un consultor experto empleando instrumentos especiales. Como la instalación había sido diseñada con la seguridad CEM bien presente y el diseño incluía una evaluación del modelo teórico basada en cálculos de campos magnéticos alrededor de las partes conductoras de la instalación, las medidas tenían por objeto confirmar que las medidas de protección y prevención ya dispuestas eran eficaces para reducir la exposición a los CEM.

Se llevaron a cabo mediciones tanto de la densidad de flujo magnético estático, debida a la corriente continua suministrada a los electrolizadores, como de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo, debida a que la corriente continua había sido producida a partir de la rectificación de una alimentación de corriente alterna, y se debía esperar algún rizado en la corriente continua suministrada a los electrolizadores. La frecuencia del rizado se confirmó asimismo durante la evaluación de la exposición.

El consultor llevó a cabo un estudio de «tiempos y movimientos» antes de efectuar las mediciones para asegurar que estas se llevaban a cabo en puntos representativos de lugares de trabajo normales. Se hicieron las mediciones mientras funcionaban los electrolizadores con carga constante.

Los resultados de las mediciones se compararon con los valores límites de exposición (VLE) y los niveles de actuación (NA) de efectos directos apropiados, así como con NA de efectos indirectos respecto a campos magnéticos estáticos (interferencia con dispositivos médicos implantados activos y peligro de atracción y proyección de objetos en el campo periférico de fuentes de alta intensidad de campo).

Cuando se evaluó la exposición de los trabajadores con riesgos particulares, se comparó con los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía).

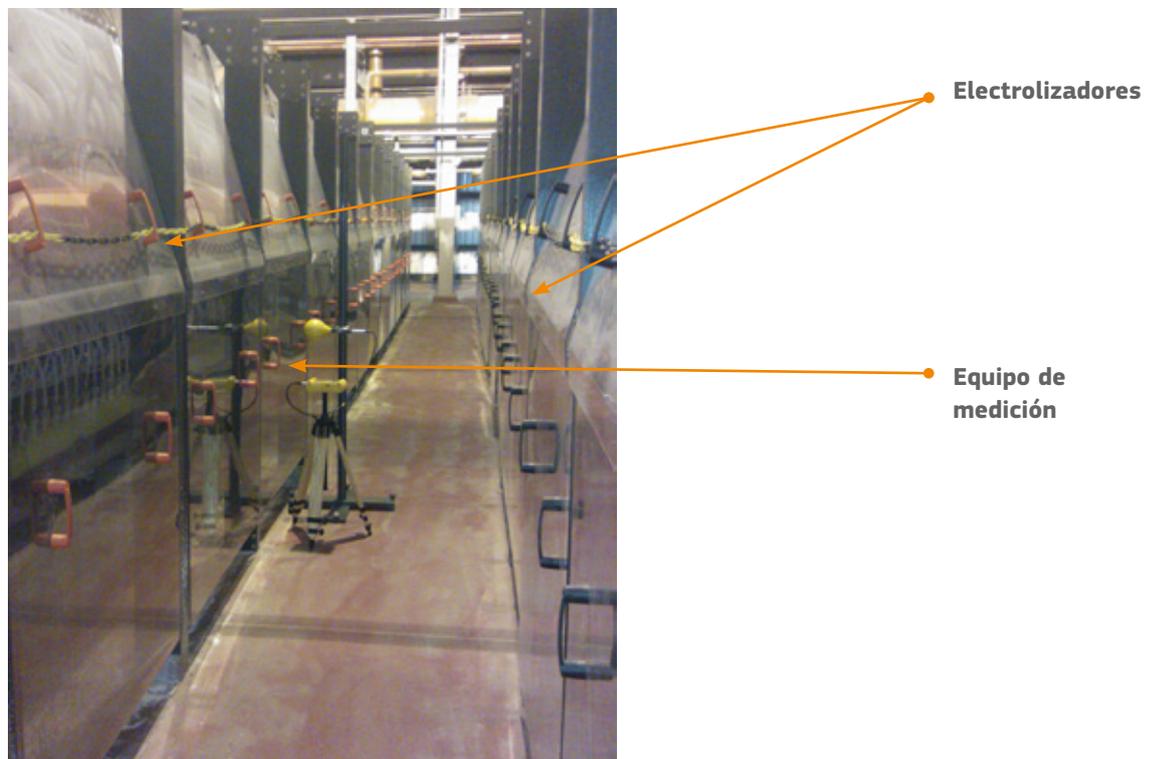
### 3.5.1. Sala de celdas electrolizadoras

Se llevaron a cabo mediciones de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo y de la densidad de flujo magnético estático entre dos electrolizadores (figura 3.5). Se realizaron tres juegos de medidas:

- a intervalos de distancia cubriendo la separación existente entre dos electrolizadores;
- a intervalos de distancia a lo largo de toda la longitud central de la separación de un extremo a otro de los electrolizadores;
- en el plano vertical junto uno de los electrolizadores.

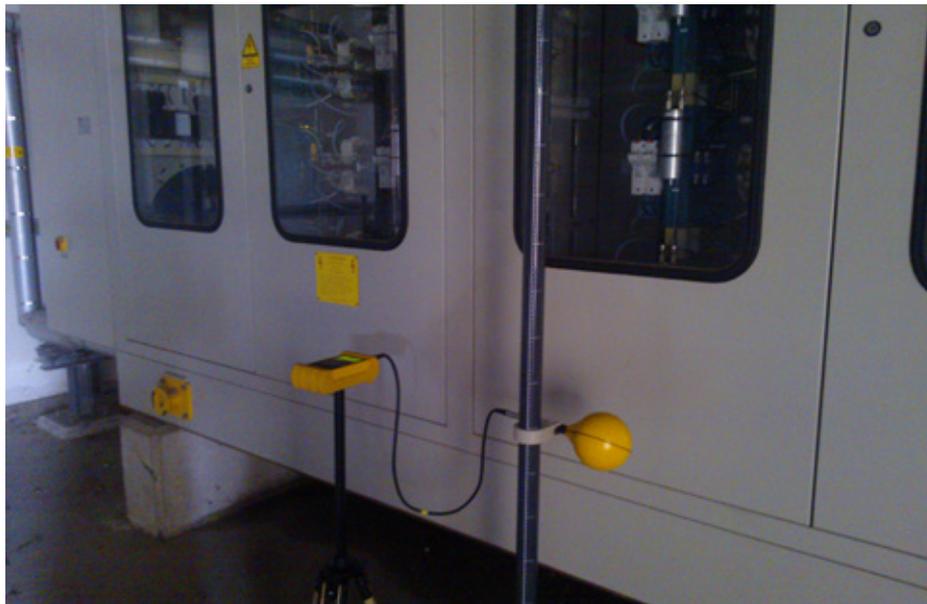
Estas mediciones dieron una representación de la exposición de un trabajador que caminará entre los electrolizadores de la sala de celdas, lo que se considera como el caso más desfavorable de situación de exposición.

**Figura 3.5. Mediciones efectuadas entre dos electrolizadores**



### 3.5.2. Módulo de cubículos de rectificadores

Se llevaron a cabo mediciones de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo y de la densidad de flujo magnético estático alrededor de un rectificador de tiristores (figura 3.6), bajo las barras ómnibus y junto a la pared entre el rectificador y el transformador.

**Figura 3.6. Mediciones efectuadas cerca de un rectificador de tiristores**

### 3.6. Resultados de la evaluación de la exposición

Los resultados de las mediciones de la exposición se compararon con los VLE y NA apropiados. En el caso de la electrólisis, los valores importantes con los que comparar los resultados de las mediciones son:

- para campos magnéticos estáticos:
  - VLE para densidad de flujo magnético de campos magnéticos estáticos (condiciones de trabajo normales);
  - nivel de actuación para densidad de flujo magnético de campos magnéticos estáticos (interferencia con dispositivos médicos implantados activos tales como marcapasos cardíacos);
  - nivel de actuación para densidad de flujo magnético de campos magnéticos estáticos (riesgo de atracción y de proyección de objetos en el campo periférico de fuentes de alta intensidad de campo);
- para campos magnéticos variables en el tiempo:
  - niveles de actuación para densidad de flujo magnético de campos magnéticos variables con el tiempo;
  - los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para campos magnéticos variables en el tiempo (para trabajadores con riesgos particulares).

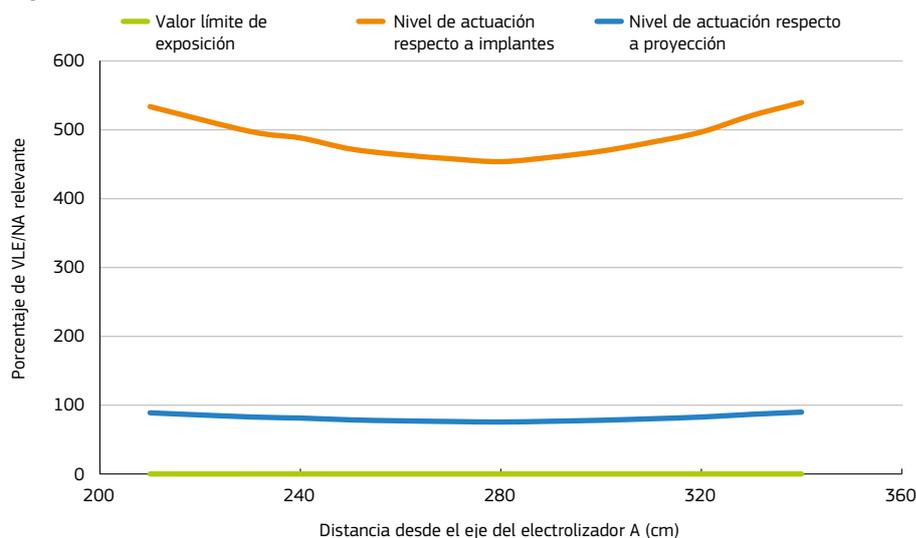
En las figuras 3.7 a 3.17 se presentan los resultados importantes de la evaluación de la exposición, junto con algunos ejemplos de los diagramas obtenidos en la evaluación del modelo teórico.

Debe observarse que los resultados de la evaluación de la exposición no se pueden comparar directamente con la evaluación del modelo porque esta se llevó a cabo antes de la publicación de la Directiva CEM y se basaba en los niveles de referencia de la exposición laboral de la Comisión Internacional sobre Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), que eran más restrictivos que los niveles de actuación de la Directiva CEM.

### 3.6.1. Sala de celdas de electrolizadores

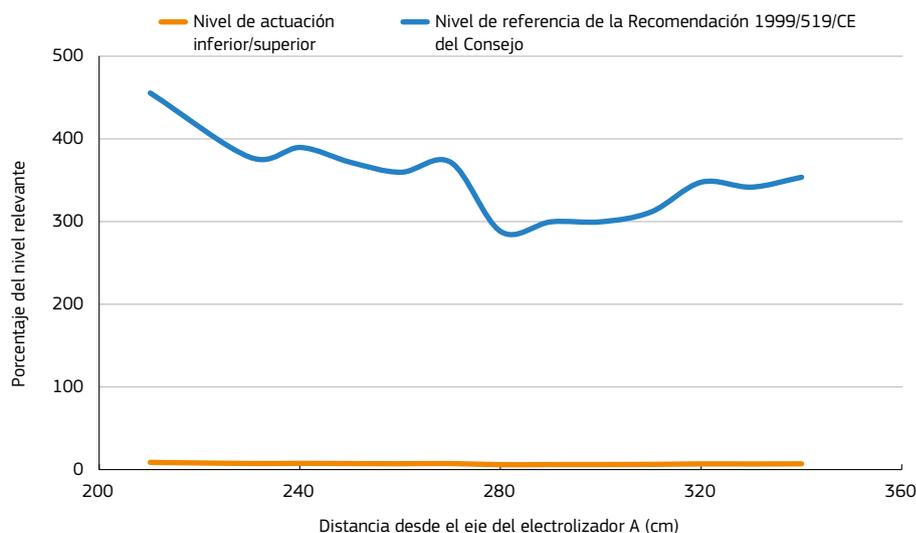
Los gráficos siguientes muestran la variación de la densidad de flujo magnético en relación con los VLE y los NA aplicables descritos anteriormente. Se confirmó que la frecuencia del rizado de la alimentación de CC era de 300 Hz. El equipo de medida también detectó armónicos de 600 Hz y 900 Hz, aunque la contribución de los armónicos a la exposición total no era de importancia en este caso.

**Figura 3.7. Variación de la densidad de flujo magnético estático a través de la separación entre dos electrolizadores**



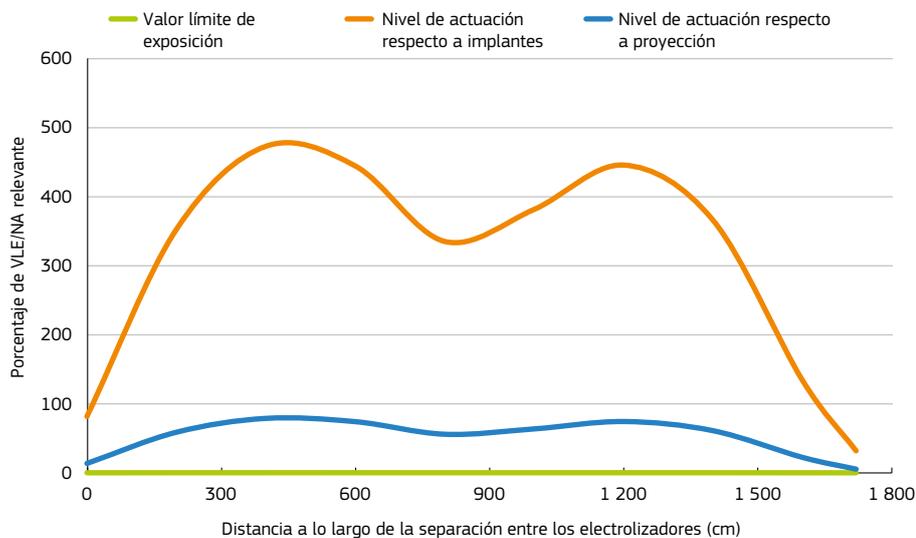
*N. B.:* Las mediciones se efectuaron a una altura de 120 cm sobre el nivel del suelo.  
 Valor límite de exposición (condiciones de trabajo normales): 2 T  
 Nivel de actuación respecto a implantes: 0,5 mT  
 Nivel de actuación respecto a proyección: 3 mT  
 Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 5\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los VLE/NA.

**Figura 3.8. Variación de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo de 300 Hz a través de la separación entre dos electrolizadores**



*N. B.:* Las mediciones se efectuaron a una altura de 120 cm sobre el nivel del suelo.  
 Niveles de actuación superior e inferior para campo magnético de 300 Hz: 1 000  $\mu$ T  
 Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para un campo magnético de 300 Hz: 16,7  $\mu$ T  
 Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA/NR.

**Figura 3.9. Variación de la densidad de flujo magnético estático a lo largo de la separación entre dos electrolizadores**



*N.B.:* Las mediciones se efectuaron a una altura de 120 cm sobre el nivel del suelo.

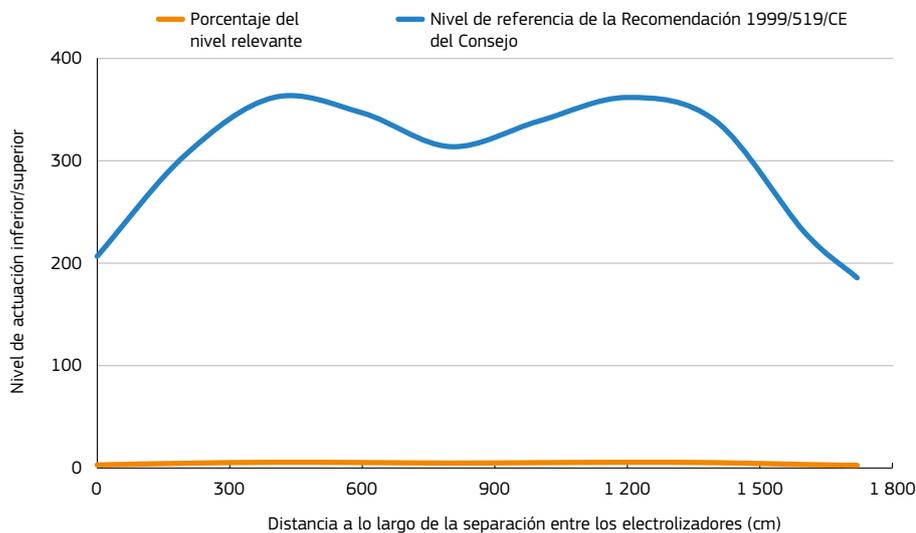
Valor límite de exposición (condiciones de trabajo normales): 2 T

Nivel de actuación respecto a implantes: 0,5 mT

Nivel de actuación respecto a proyección: 3 mT

Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 5\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los VLE/NA.

**Figura 3.10. Variación de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo de 300 Hz a lo largo de la longitud de la separación entre dos electrolizadores**



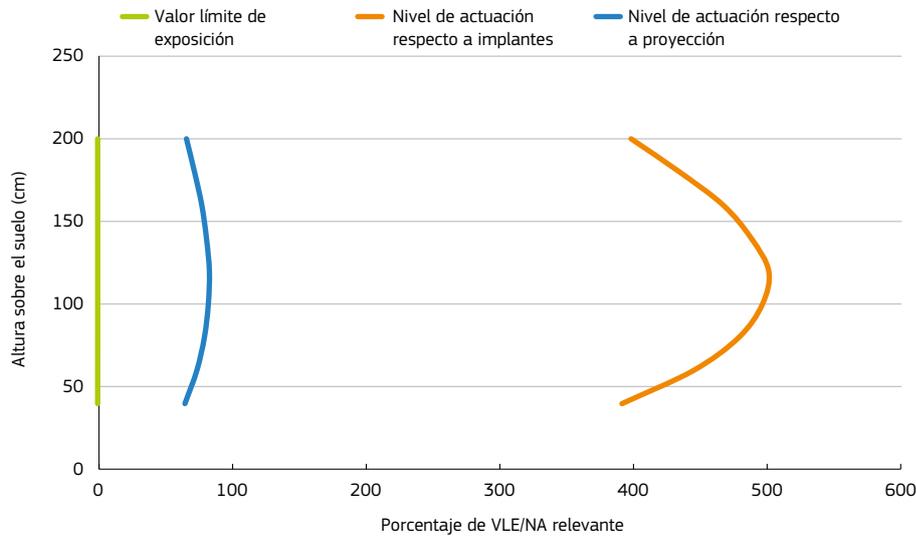
*N.B.:* Las mediciones se efectuaron a una altura de 120 cm sobre el nivel del suelo.

Niveles de actuación superior e inferior para campo magnético de 300 Hz: 1 000  $\mu$ T

Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para un campo magnético de 300 Hz: 16,7  $\mu$ T

Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA/NR.

**Figura 3.11. Variación de la densidad de flujo magnético estático con la altura junto a uno de los electrolizadores**



*N.B.:* Las mediciones se realizaron a una distancia de 230 cm desde el eje de uno de los electrolizadores.

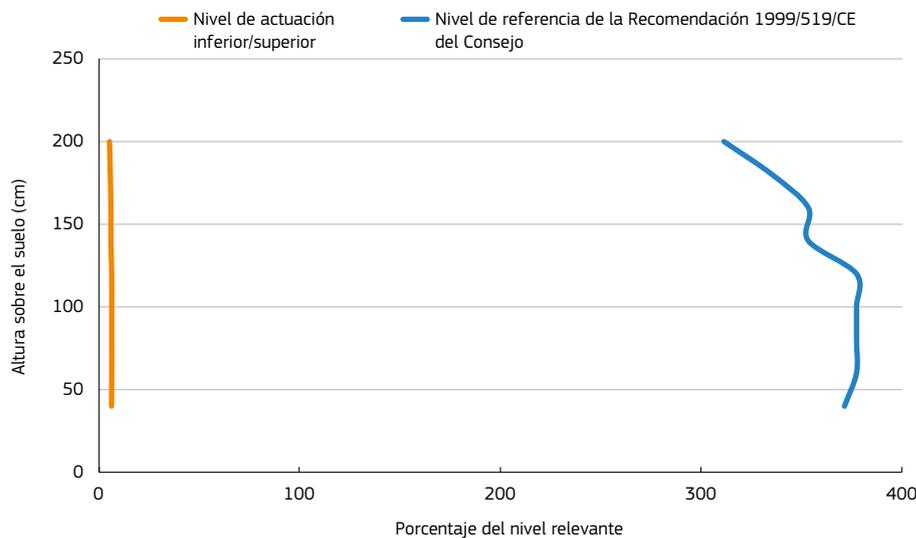
Valor límite de exposición (condiciones de trabajo normales): 2 T

Nivel de actuación respecto a implantes: 0,5 mT

Nivel de actuación respecto a proyección: 3 mT

Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 5\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los VLE/NA.

**Figura 3.12. Variación de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo de 300 Hz con la altura junto a uno de los electrolizadores**



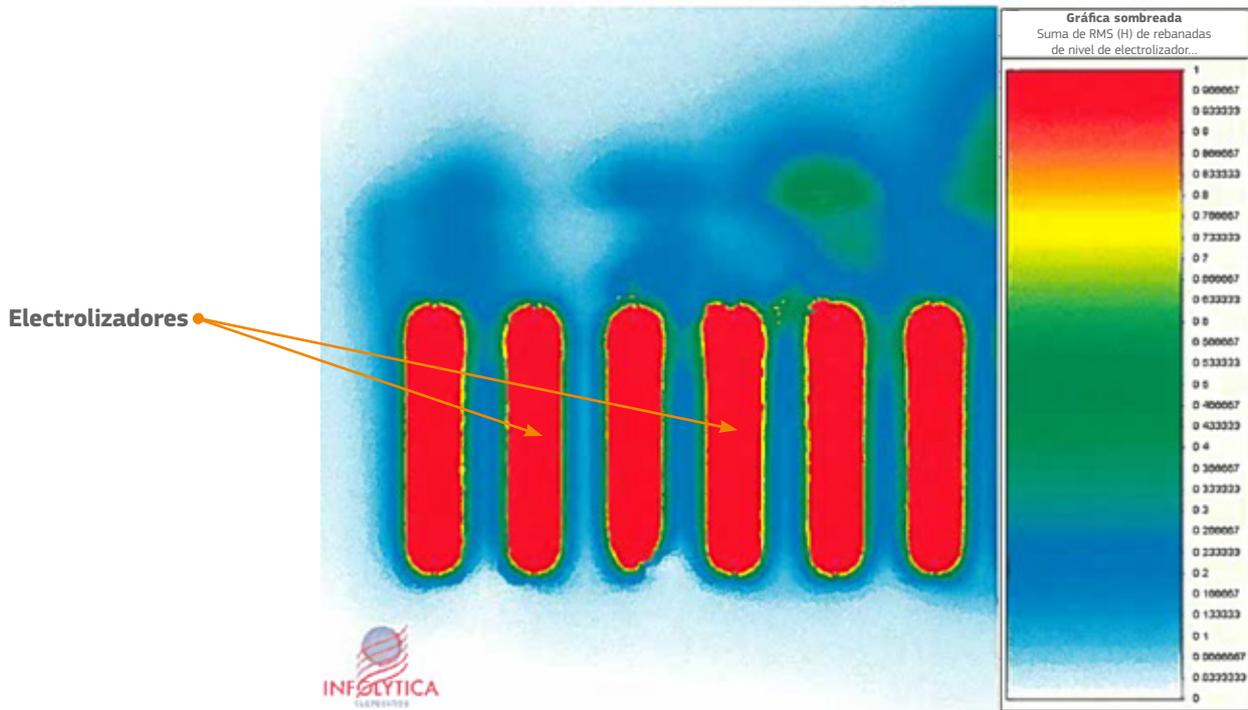
*N.B.:* Las mediciones se realizaron a una distancia de 230 cm desde el eje de uno de los electrolizadores.

Niveles de actuación superior e inferior para campo magnético de 300 Hz: 1 000  $\mu$ T

Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para un campo magnético de 300 Hz: 16,7  $\mu$ T

Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA/NR.

**Figura 3.13. Ejemplo de diagrama de evaluación del modelo teórico para la sala de celdas de electrolizadores (vista en planta)**



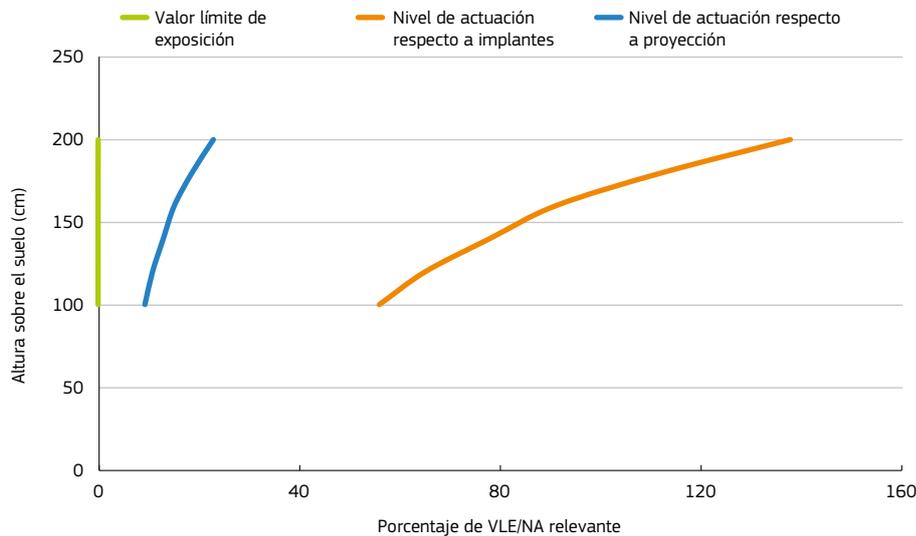
La evaluación de la exposición en la sala de celdas de electrolizadores proporcionó a la empresa la información siguiente:

- la exposición a los campos magnéticos de los electrolizadores estaba por debajo de los VLE relevantes y de los NA de efectos directos;
- las personas con dispositivos médicos implantados activos pueden encontrar un peligro derivado de los campos magnéticos estáticos de la sala de celdas;
- los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo eran superados a lo largo de la longitud de los electrolizadores por lo que se refiere a los campos magnéticos variables con el tiempo; sin embargo, era improbable que en la sala de celdas hubiera trabajadores con riesgos particulares.

### 3.6.2. Módulo de rectificadores

Los gráficos siguientes muestran la variación de la densidad de flujo magnético en relación con los VLE y los NA aplicables descritos anteriormente. Se confirmó que la frecuencia del rizado de la alimentación de CC era de 300 Hz, y se detectaron también campos de 50 Hz del exterior del transformador.

**Figura 3.14. Variación de la densidad de flujo magnético estático con la altura bajo el aislante de CC de la barra ómnibus**



N.B.: El aislante de CC de la barra ómnibus estaba aproximadamente a 420 cm sobre el nivel del suelo.

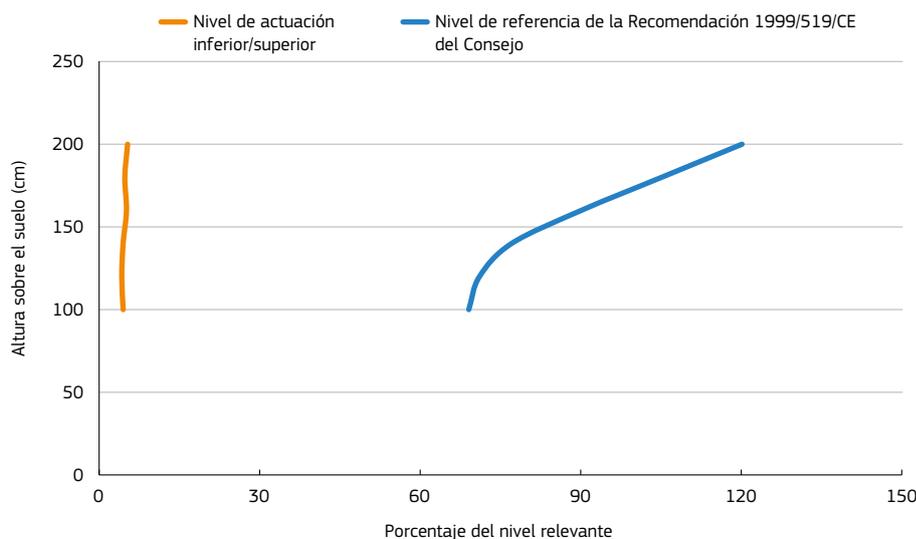
Valor límite de exposición (condiciones de trabajo normales): 2 T

Nivel de actuación respecto a implantes: 0,5 mT

Nivel de actuación respecto a proyección: 3 mT

Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 5\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los VLE/NA.

**Figura 3.15. Variación de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo de 300 Hz con la altura bajo el aislante de CC de la barra ómnibus**



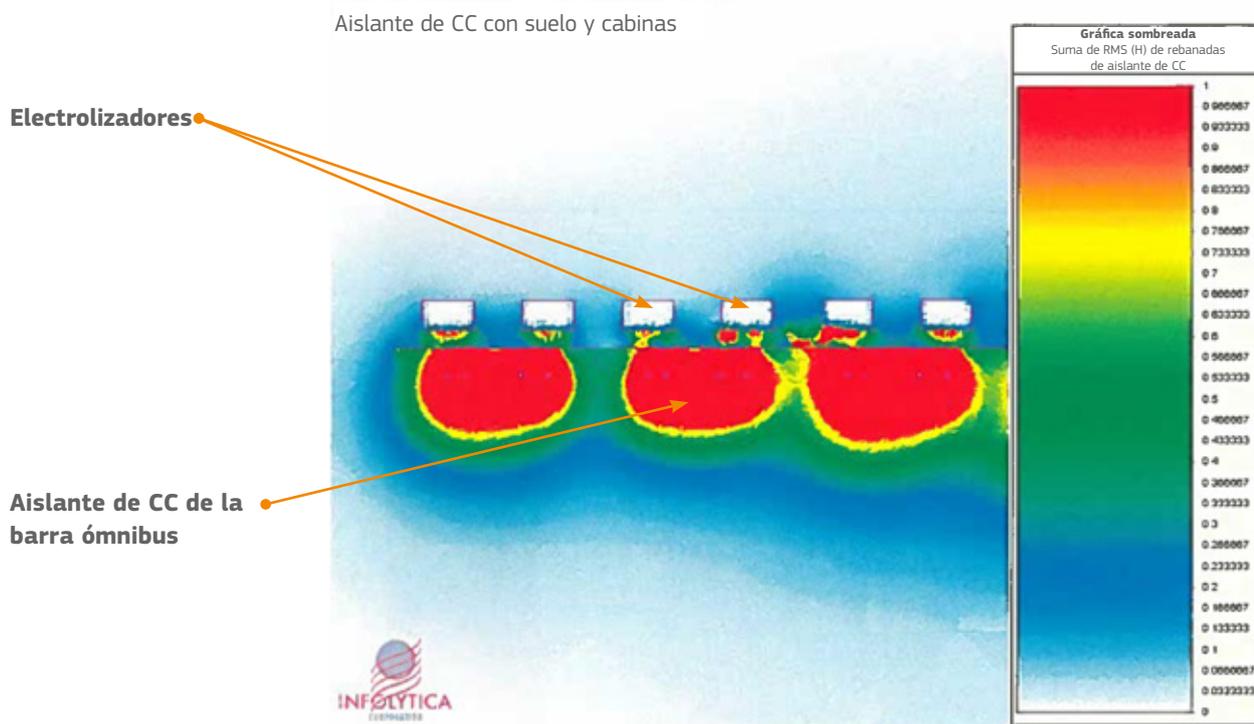
N.B.: El aislante de CC de la barra ómnibus estaba aproximadamente a 420 cm sobre el nivel del suelo.

Niveles de actuación superior e inferior para campo magnético de 300 Hz: 1 000  $\mu$ T

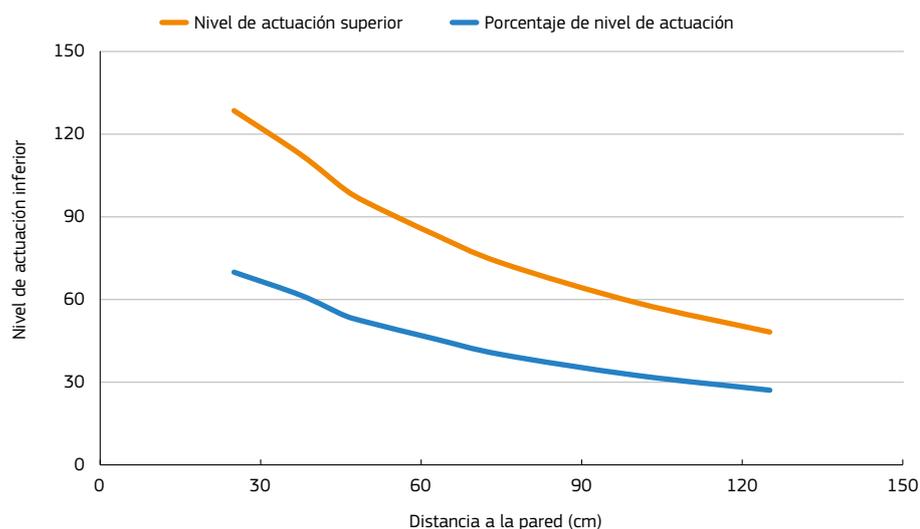
Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para un campo magnético de 300 Hz: 16,7  $\mu$ T

Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA/RL.

**Figura 3.16. Ejemplo de diagrama de evaluación del modelo teórico para las zonas alrededor del aislante de CC de la barra ómnibus (sección transversal)**



**Figura 3.17. Variación de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo de 50 Hz con la distancia a la pared entre el rectificador de tiristores y el transformador**



N.B.: Las mediciones se efectuaron a una altura de 120 cm sobre el nivel del suelo.

Nivel de actuación inferior para campo magnético de 50 Hz: 1 000  $\mu$ T

Nivel de actuación superior para campo magnético de 50 Hz: 6 000  $\mu$ T

Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA/NR

La evaluación de la exposición al módulo de rectificadores aportó a la empresa la información siguiente:

- la exposición a los campos magnéticos de las barras ómnibus y de los rectificadores de tiristores estaba por debajo de los niveles de actuación relativos a los efectos directos a nivel del suelo;
- la exposición a los campos magnéticos variables con el tiempo del transformador al otro lado de la pared detrás del rectificador era mayor que el nivel de actuación inferior relativo a la densidad de flujo magnético variable con el tiempo hasta una distancia de 37 cm desde la superficie de la pared dentro del módulo de rectificadores;
- la exposición a los campos magnéticos variables con el tiempo del transformador estaba por debajo del nivel de actuación superior relativo a la densidad de flujo magnético variable con el tiempo en el módulo de rectificadores;
- las personas que llevan dispositivos médicos implantados activos pueden encontrarse en peligro debido a los campos magnéticos estáticos en cualquier sitio de los módulos de rectificadores; sin embargo, las señales de advertencia y la información de seguridad del sitio se consideraron adecuados;
- los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo eran superados en relación con los campos magnéticos variables con el tiempo. No obstante, era improbable que en los módulos de rectificadores hubiera trabajadores con riesgos particulares.

### 3.7. Evaluación de riesgos

Basándose en la evaluación de la exposición llevada a cabo por el consultor, la empresa efectuó una evaluación de riesgos de la instalación de producción de cloro en relación con los CEM. Esta metodología era coherente con la propuesta por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. La evaluación de riesgos llegó a la conclusión de que:

- los trabajadores con riesgos particulares pueden experimentar un peligro en la cercanía de los electrolizadores;
- los trabajadores, incluidos los que tienen riesgos particulares, pueden encontrarse en peligro en los módulos de cubículos de rectificadores como consecuencia de la exposición a campos magnéticos.

En el cuadro 3.1 se presenta un ejemplo de riesgos específicos de CEM para una instalación de producción de cloro.



### 3.8. Precauciones ya adoptadas

La seguridad frente a los CEM tuvo una alta prioridad en las primeras fases del diseño de la instalación y por ello se habían adoptado varias medidas de protección y prevención, como los siguientes:

- se había reducido al mínimo la intensidad de campo magnético variable con el tiempo que generaría el rizado de la alimentación de CC a los electrolizadores, empleando por ejemplo rectificadores de 12 pulsos, en vez de los de 6 pulsos;
- la instalación tenía el tamaño suficiente para permitir que se pudieran separar fácilmente de los trabajadores las zonas de campos magnéticos intensos;
- se habían dispuesto de forma clara por toda la instalación señales adecuadas de la presencia de campos magnéticos intensos;
- se había hecho saber a los trabajadores la posibilidad de exposición a CEM y se les instruyó para que informaran a la empresa si llevaban un implante médico.

### 3.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

La evaluación de la exposición confirmó que la instalación había sido bien diseñada por lo que se refiere a la exposición a CEM y que, por lo tanto, no eran necesarias otras precauciones como consecuencia de dicha evaluación.

### 3.10. Otras fuentes de información

Publicación Euro Chlor — *Electromagnetic Fields in the Chlorine Electrolysis Units. Health Effects, Recommended Limits, Measurement Methods and Possible Prevention Actions* (2014).

## 4. MEDICINA

### 4.1. Lugares de trabajo

Se pidió al departamento de Física Médica de un hospital que evaluara la forma en que la aplicación de la Directiva CEM podía impactar en las labores llevadas a cabo en el hospital.

### 4.2. Naturaleza del trabajo

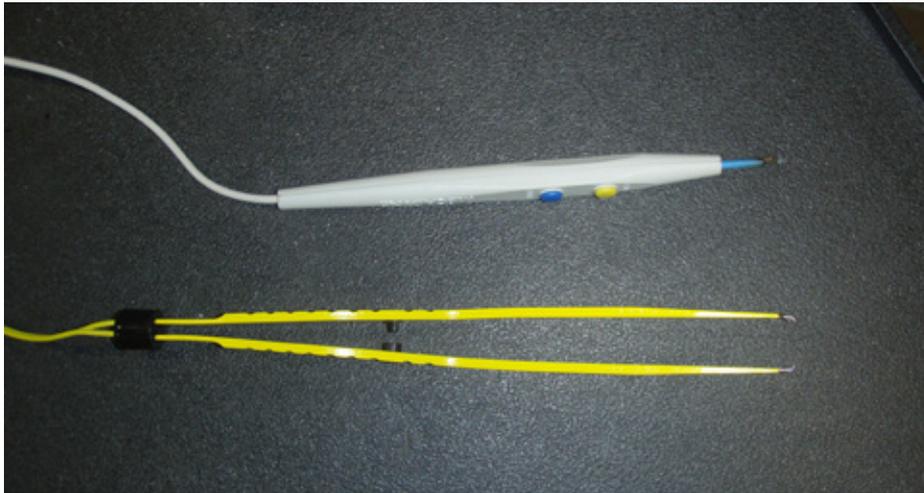
Se utilizan ampliamente aparatos eléctricos en el tratamiento, la monitorización y el diagnóstico de los pacientes. El grupo de física médica empezó su evaluación identificando los equipos que podían producir campos electromagnéticos intensos. Revisó el inventario de equipos del hospital e identificó tres equipos que sabía que eran productores de campos electromagnéticos intensos; se trataba de unidades de electrocirugía, dispositivos de estimulación magnética transcraneal (EMT) y unidades diatérmicas de onda corta. El hospital no utiliza actualmente equipos de diatermia de onda corta; no obstante, se incluyeron en la evaluación. El grupo deseaba también investigar la posibilidad de que equipos sensibles de monitorización de pacientes se vieran afectados por la interferencia electromagnética, especialmente los que se empleasen en la cercanía de dispositivos que producían campos electromagnéticos intensos. Identificó que los equipos más propensos a las interferencias electromagnéticas serían los equipos médicos sensibles usados en los procedimientos de electrocirugía (por ejemplo, ventiladores y dispositivos electrocardiográficos).

### 4.3. Información sobre los equipos que producen CEM

#### 4.3.1. Unidades de electrocirugía

Los aparatos de electrocirugía se emplean en el hospital para el corte y/o la coagulación de tejidos humanos en un número importante de procedimientos quirúrgicos. Operan haciendo pasar una corriente eléctrica de alta tensión a través del tejido al que se está interviniendo. Estas unidades suelen trabajar en la gama de frecuencias intermedias, entre unos 300 kHz y 1 MHz, y utilizan potencias entre 50 y 300 W. Una unidad de electrocirugía comprende un electrodo activo, un generador, cables que conectan el generador a dicho electrodo y el electrodo de retorno o placa de masa montada en el cuerpo del paciente (figura 4.1). Se suministra alimentación eléctrica al electrodo activo (sonda de electrocirugía) a través de cables que pueden ir sin apantallar. La corriente pasa a través del tejido del paciente y vuelve a la unidad de electrocirugía por el electrodo de retorno.

**Figura 4.1. Electrodo activo y de retorno y cables asociados**



#### 4.3.2. Estimulación magnética transcraneal

Un aparato de EMT produce intencionadamente impulsos de campos electromagnéticos con el fin de inducir corrientes en el [cerebro](#) y se puede emplear en ciertas aplicaciones (por ejemplo, en el diagnóstico de enfermedades y lesiones cerebrales, como tratamiento para la depresión y, más recientemente, para migrañas y jaquecas). Los aparatos típicos de EMT se componen de una unidad principal que produce un impulso de corriente elevada y una bobina de estimulación controlada manualmente (figura 4.2). En aparatos disponibles comercialmente, la energía se almacena en grandes condensadores de alta tensión. Estos condensadores se descargan en la bobina empleando un tiristor, capaz de conectar grandes intensidades de corriente en unos pocos segundos. Hay dos diseños de bobina que se utilizan ampliamente y que se emplean en el hospital: la bobina circular y la bobina con forma de ocho (aunque existen otros).

**Figura 4.2. Bobina de EMT «en forma de ocho»**



### 4.3.3. Diatermia de onda corta

Los aparatos de diatermia de onda corta emiten radiación de radiofrecuencia (RF), típicamente a 27,1 MHz. Los utilizan los fisioterapeutas para tratamientos terapéuticos de los músculos y las articulaciones. Hay dos modos de operación: capacitiva, en el que se coloca al paciente en el campo de RF entre dos electrodos de placa (figura 4.3), e inductiva, en el que se aplica el campo electromagnético mediante una bobina.

**Figura 4.3. Diatermia de onda corta capacitiva**



## 4.4. Cómo se utilizan las aplicaciones

### 4.4.1. Unidades de electrocirugía

El cirujano sostiene normalmente la sonda de tratamiento cerca de la parte superior de su cuerpo. Los cables pueden colocarse cerca de quienes trabajan en el quirófano y, en particular, junto a la mano y el brazo del cirujano.

### 4.4.2. Estimulación magnética transcraneal

Se coloca la bobina cerca de la cabeza del paciente y se genera un impulso electromagnético, o una serie de impulsos, para inducir corrientes en el cerebro del paciente. Es posible que la sonda esté fijada en posición o que la mantenga el clínico (figura 4.4).

**Figura 4.4. Bobina circular de EMT en uso**



#### 4.4.3. Diatermia de onda corta

Se informó al grupo de que la diatermia de onda corta no se utilizaba ya en el hospital, aunque la habían empleado anteriormente los fisioterapeutas. El grupo no conocía a fondo los procedimientos de trabajo seguidos cuando se utilizaba este equipo, pero decidió hacer una evaluación por si el hospital planeaba volver a ponerlo en uso en el futuro.

### 4.5. Método para la evaluación de la exposición

El grupo de física médica sabía que los tres dispositivos médicos identificados generan intensos campos electromagnéticos. No obstante, no estaba seguro de si dichos aparatos producían campos que pudieran ocasionar que los trabajadores superaran los valores límites de exposición (VLE). Por ello, llegó a la conclusión de que se precisaba una evaluación más completa y que era necesaria la medición de los campos electromagnéticos. El grupo seleccionó dos equipos para las mediciones; una unidad de electrocirugía ConMed 5000 y un aparato de EMT 200 MAGSTIM. Decidió no llevar a cabo en ese momento mediciones en ninguna unidad de diatermia de onda corta.

El departamento de Física Médica posee una diversidad de sondas de medición para vigilancia de campos electromagnéticos. El grupo empleó una sonda isotrópica (de tres ejes) para efectuar las mediciones. Para cada equipo se precisaban distintas sondas a causa de las distintas frecuencias de los campos electromagnéticos generados.

## 4.6. Resultados de la evaluación de la exposición

### 4.6.1. Unidad de electrocirugía

La unidad de electrocirugía ConMed 5000 se empleó en modo monopolar. Esta unidad puede trabajar en modo de corte y modo de coagulación. No obstante, las mediciones preliminares determinaron que los campos electromagnéticos producidos en el modo de corte eran más altos que en el modo de coagulación y, por ello, la mayoría de las mediciones fueron efectuadas en este modo. Se evaluó la frecuencia del campo haciendo una medición y presentando la forma de onda en un osciloscopio, observándose que era de 391 kHz. La potencia aplicada fue de 200 W.

Se midieron los campos eléctrico y magnético alrededor de los cables de tratamiento y de retorno. A efectos de comparación del campo medido con los niveles de actuación (NA), debido al campo de frecuencia intermedia, son aplicables tanto los NA para efectos térmicos como para no térmicos.

Los resultados de mediciones presentados en el cuadro 4.1 muestran la intensidad de campo magnético a varias distancias horizontales a mitad de la longitud del cable de tratamiento. A partir de estos resultados, el grupo extrapoló el campo magnético a 1 cm del cable y calculó que era del 7 % del NA relativo a las extremidades.

La evaluación del campo magnético alrededor del equipo demostró al grupo que la exposición del cirujano o de otros trabajadores médicos en el quirófano no superaría los NA de la Directiva CEM ni los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

**Cuadro 4.1. Intensidad de campo magnético a varias distancias del cable de tratamiento como porcentaje de los niveles de actuación y de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo**

Distancia al cable (cm)	Intensidad de campo magnético ( $\text{Am}^{-1}$ )	Densidad de flujo magnético ( $\mu\text{T}$ )	Efectos no térmicos		Efectos térmicos	
			Porcentaje de niveles de actuación inferiores/superiores (%) <sup>(1)</sup>	Porcentaje de niveles de actuación relativos a las extremidades (%) <sup>(2)</sup>	Porcentaje del nivel de actuación (%) <sup>(3)</sup>	Porcentaje de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (%) <sup>(4)</sup>
10	0,64	0,81	0,81	0,27	16	34
20	0,53	0,67	0,67	0,22	13	29
50	0,26	0,33	0,33	0,11	6,4	14
100	0,09	0,11	0,11	0,04	2,1	4,7
150	0,04	0,05	0,05	0,02	1,0	2,1

<sup>(1)</sup> Nivel de actuación inferior/superior de densidad de flujo magnético para frecuencia de 391 kHz: 100  $\mu\text{T}$ .

<sup>(2)</sup> Nivel de actuación de densidad de flujo magnético en las extremidades para frecuencia de 391 kHz: 300  $\mu\text{T}$ .

<sup>(3)</sup> Nivel de actuación de densidad de flujo magnético para frecuencia de 391 kHz: 5,12  $\mu\text{T}$ .

<sup>(4)</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo de la densidad de flujo magnético para frecuencia de 391 kHz: 2,35  $\mu\text{T}$ .

*N.B.:* Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 2,7$  dB, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA/NR.

Se midió el campo eléctrico en una zona ocupada por el cable de tratamiento y el cable de retorno. Se halló que el campo eléctrico producido por el cable de retorno era considerablemente más alto que el producido por el cable de tratamiento, lo que indicaba que el cable de tratamiento estaba apantallado. En el cuadro 4.2 se detalla la intensidad de campo eléctrico como función de la distancia al cable de retorno. Estas mediciones se efectuaron para diversas distancias horizontales a la mitad del cable. El campo más alto medido, a 10 cm del cable, es menor que los niveles de actuación. No obstante, los resultados muestran que los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se podían superar a menos de unos 20 cm de este cable.

**Cuadro 4.2. Intensidad de campo eléctrico a varias distancias del cable de retorno como porcentaje de los niveles de actuación y de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo**

Distancia al cable (cm)	Intensidad de campo eléctrico ( $Vm^{-1}$ )	Efectos no térmicos		Efectos térmicos	
		Porcentaje del nivel de actuación inferior (%) <sup>(1)</sup>	Porcentaje del nivel de actuación superior (%) <sup>(2)</sup>	Porcentaje del nivel de actuación (%) <sup>(3)</sup>	Porcentaje de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (%) <sup>(4)</sup>
10	116	68,2	19,0	19,0	133
20	92,5	54,4	15,2	15,2	106
30	66,8	39,3	11,0	11,0	76,8
50	48,5	28,6	8,0	8,0	55,8
100	11,9	7,0	2,0	2,0	13,7
150	6,55	3,9	1,1	1,1	7,5

<sup>(1)</sup> Nivel de actuación inferior de intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de 3 kHz a 10 MHz:  $170 Vm^{-1}$ .

<sup>(2)</sup> Nivel de actuación superior de intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de 3 kHz a 10 MHz:  $610 Vm^{-1}$ .

<sup>(3)</sup> Nivel de actuación superior de intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de 3 kHz a 10 MHz:  $610 Vm^{-1}$ .

<sup>(4)</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo de la intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen entre 150 kHz y 1 MHz:  $87 Vm^{-1}$ .

N.B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 0,8$  dB, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA/RL.

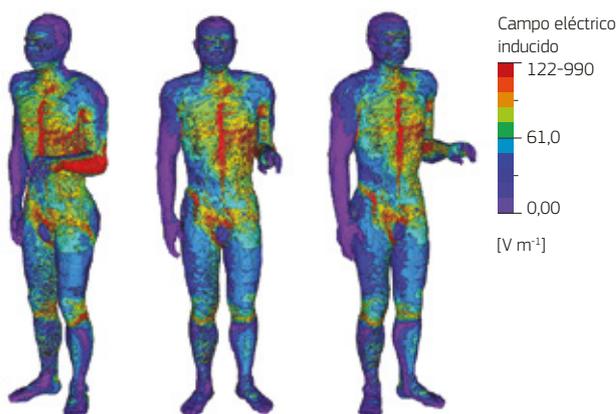
Para finalizar el estudio, el grupo empleó entonces su *software* de modelización para predecir la exposición del paciente y lo reconfiguró para modelizar la exposición del cirujano en términos de VLE. Se calcularon tanto los valores de los campos eléctricos inducidos como los de la tasa de absorción específica de energía (SAR) para la situación de exposición en que el aparato de electrocirugía está siendo utilizado y los cables discurren a lo largo del brazo del cirujano con una separación de 1 cm.

Se calculó el campo eléctrico inducido en diversos tejidos (cuadro 4.3). Se calculó el valor más alto, que resultó ser  $628 mV m^{-1}$  en hueso. Es el 0,6 % de los relativos a efectos VLE sobre la salud, confirmando al grupo que los VLE para efectos no térmicos no los sobrepasaría el cirujano. En la figura 4.5 se ilustra la distribución del campo eléctrico inducido en un modelo humano. Por supuesto, es posible que los cables de la unidad de electrocirugía pudieran encontrarse más cerca de 1 cm, o incluso en contacto con el cirujano. Sin embargo, el grupo llegó a la conclusión que los bajos valores del campo eléctrico inducido significan que los VLE relativos a los efectos sobre la salud no se superarían alrededor de la unidad investigada.

**Cuadro 4.3. Campo eléctrico inducido como porcentaje de los VLE relativos a efectos sobre la salud**

Tejido	Campo eléctrico inducido ( $\text{mV m}^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>	Porcentaje de VLE relacionados con efectos sobre la salud
Hueso	628	0,60 %
Grasa	493	0,47 %
Piel	461	0,44 %
Cerebro	146	0,14 %
Médula espinal	275	0,26 %
Retina	103	0,10 %

<sup>(1)</sup> VLE relativos a efectos sobre la salud de la intensidad de campo eléctrico interno para frecuencias en el margen entre 3 kHz y 10 MHz:  $105 \text{ Vm}^{-1}$  (RMS).

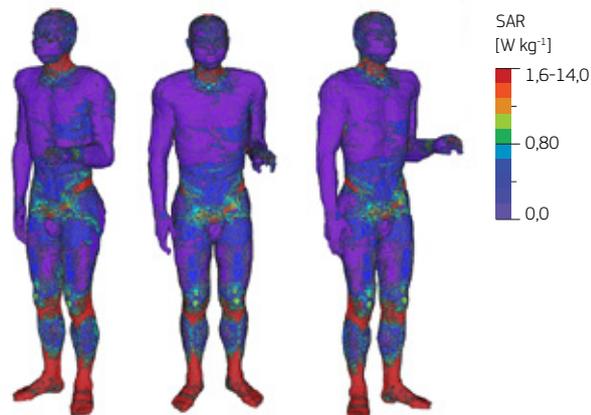
**Figura 4.5. Distribución del campo eléctrico inducido en el modelo humano para una exposición al cable de electrocirugía de 391 kHz**

Se calcularon valores de SAR localizados y para todo el cuerpo (cuadro 4.4) que muestran que los VLE no se superarían en la posición del cirujano. Se muestra la distribución de SAR en un modelo humano (figura 4.6).

**Cuadro 4.4. Valores más altos de SAR para la posición de exposición considerada y comparación con los VLE**

Posición	SAR ( $\text{Wkg}^{-1}$ )	VLE ( $\text{Wkg}^{-1}$ )	Porcentaje de VLE
SAR media para todo el cuerpo	0,0338	0,4	8,4
SAR máxima de 10 g localizada en cabeza y tronco	0,780	10	7,8
SAR máxima de 10 g localizada en las extremidades	1,75	20	8,7

**Figura 4.6. Distribución de SAR en el modelo humano derivada de la exposición al campo de 391 kHz producido por la unidad de electrocirugía**



Tras la evaluación, el grupo se reafirmó en que era poco probable que el cirujano u otros trabajadores del hospital se vieran expuestos a campos por encima de los VLE. Sin embargo, reconoció que el paciente podía estar expuesto a campos por encima de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo, especialmente cerca de la posición del electrodo de retorno. Generalmente no se consideraba que esto fuera un problema, ya que la exposición sería una parte justificada de la cirugía. Sin embargo, puede ser preciso considerar si el paciente lleva un dispositivo médico implantado activo (DMIA). Otro posible riesgo identificado era la interferencia electromagnética con dispositivos médicos sensibles en el quirófano; el grupo sabía que esto había pasado en circunstancias en que la sonda de tratamiento se había colocado cerca de esos dispositivos.

#### 4.6.2. Dispositivo de EMT

El dispositivo de EMT 200 MAGSTIM tiene dos piezas manuales: una que incorpora una bobina circular y otra con dos de estas bobinas formando un «ocho». El clínico fija la salida del generador como un porcentaje de su salida máxima. Puede seleccionarse que produzca un solo impulso o una serie de impulsos.

En mediciones preliminares se determinó que la bobina circular producía los niveles más altos de campos magnéticos. Esta bobina (figura 4.7) está alojada en una carcasa plástica y sus devanados están hechos de cobre, un material seleccionado por su baja resistencia eléctrica y alta conductividad térmica. La bobina está compuesta por 14 espiras concéntricas, de entre 70 mm y 122 mm de diámetro.

El grupo llevó a cabo mediciones empleando la bobina circular, con el generador puesto al 100 % de su salida máxima, y en el modo de un solo impulso. El fabricante facilitó datos sobre las características del impulso (figura 4.8).

Figura 4.7. La bobina circular del EMT

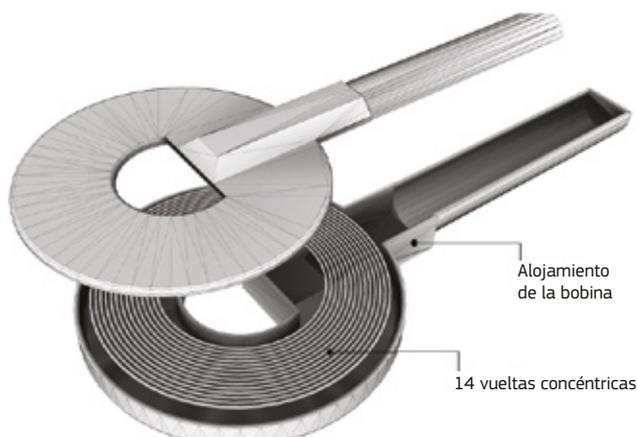
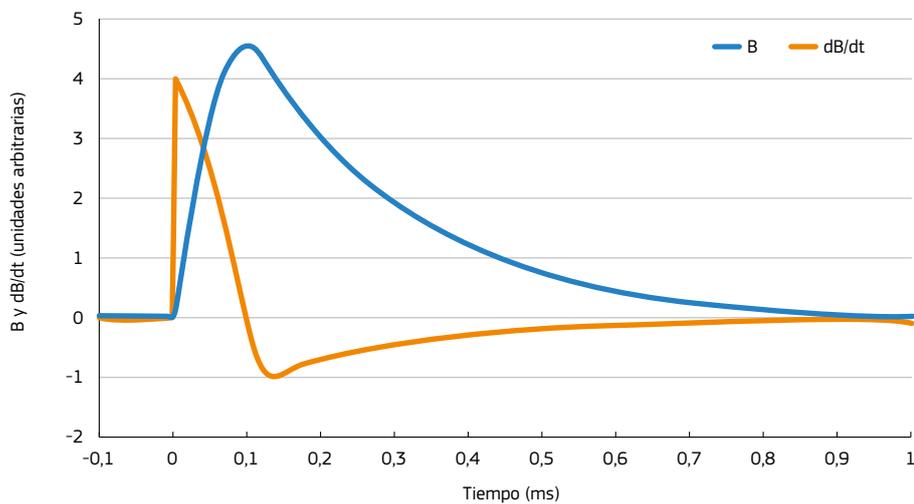
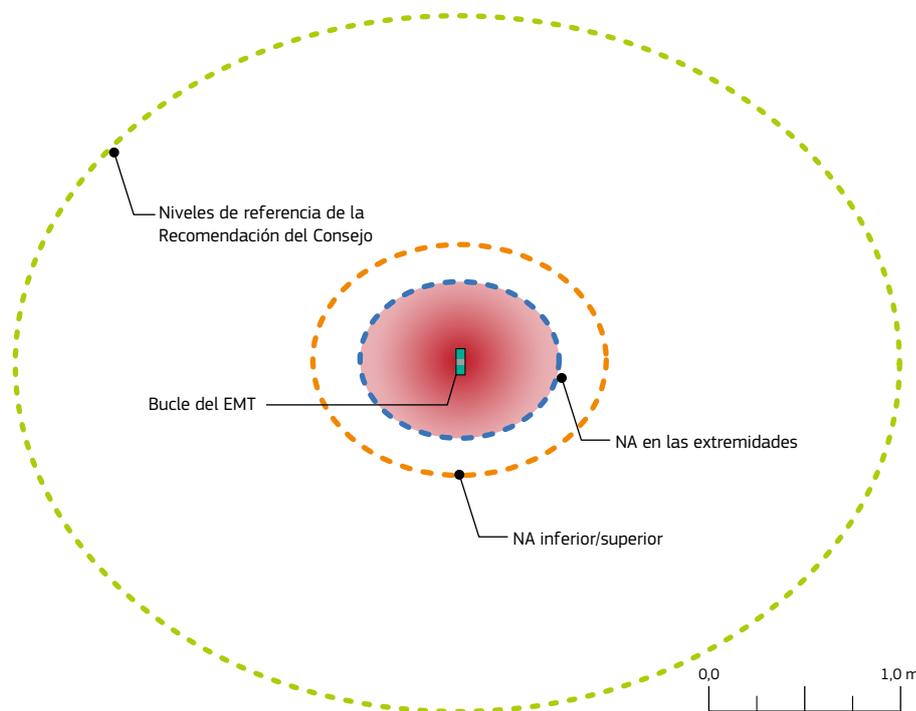


Figura 4.8. Características del impulso único según los datos del fabricante



Como se esperaba, los valores más altos de los campos se midieron directamente delante y en el centro de la bobina; las zonas en las que se podían superar los niveles de actuación (NA) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se muestran en la figura 4.9. En la posición típica de la mano del operador (sosteniendo la pieza destinada manual 11 cm por debajo del centro de la bobina), se midió que la densidad del flujo magnético era un 5 600 % del NA en las extremidades.

**Figura 4.9. Vista en planta que muestra el contorno en cuyo interior podrían superarse el nivel de actuación relativo a las extremidades (azul), los niveles de actuación inferior/superior (rojo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde) en torno al aparato de EMT**



*N.B.*: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA/NR cuando se evaluaron las distancias anteriores.

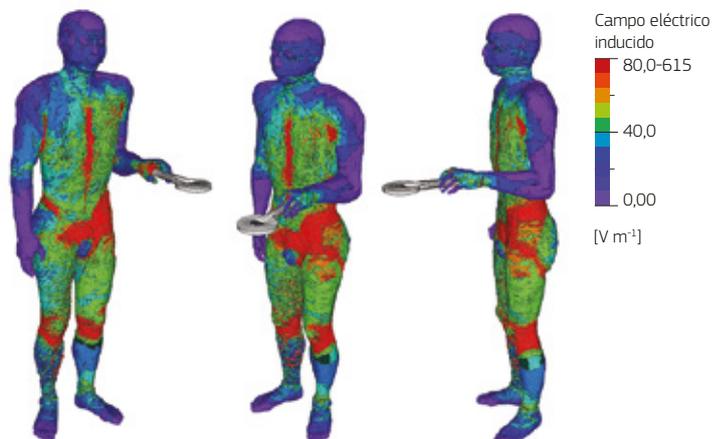
El grupo era consciente de que la exposición para los profesionales era muy probable que superara los NA. De nuevo, realizó una modelización en ordenador de la posible exposición de los profesionales en términos de VLE. La modelización se llevó a cabo en dos posiciones del profesional: la primera con la bobina sostenida a 30 cm del cuerpo y la segunda con ella sostenida a 15 cm del tronco. La modelización demostró que se podía superar el VLE hasta en un 35 700 % (cuadro 4.5). La distribución del campo eléctrico inducido en un modelo humano para ambas posiciones se ilustra en las figuras 4.10 y 4.11.

**Cuadro 4.5. Valores modelizados en ordenador del campo eléctrico inducido y comparación con los VLE**

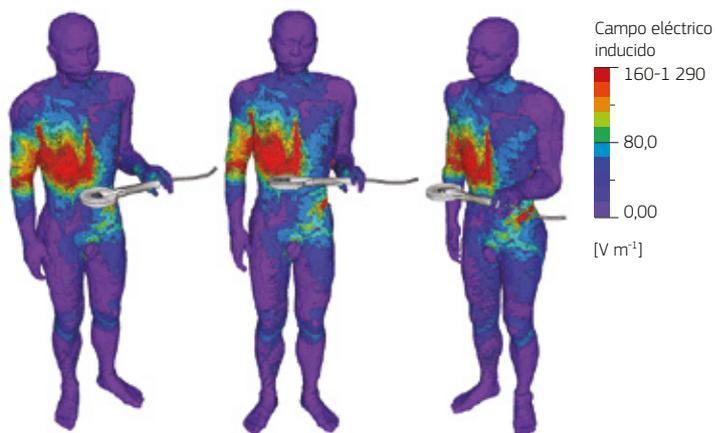
Posición	Campo eléctrico inducido ( $\text{Vm}^{-1}$ )	Porcentaje de VLE relacionados con efectos para la salud <sup>(1)</sup>
Bobina sostenida a 30 cm del cuerpo	265 (hueso)	24 100 %
Bobina sostenida a 15 cm del tronco	393 (hueso)	35 700 %

<sup>(1)</sup> VLE relacionado con efectos sobre la salud de la intensidad de campo eléctrico interno para frecuencias en el margen entre 1 Hz y 3 kHz:  $1,1 \text{ Vm}^{-1}$  (máximo).

**Figura 4.10. Distribución del campo eléctrico inducido en el modelo humano relativo a la exposición a la bobina del dispositivo de EMT cuando se está de pie con la bobina sostenida a 30 cm del cuerpo**



**Figura 4.11. Distribución del campo eléctrico inducido en el modelo humano relativo a la exposición a la bobina del dispositivo de EMT cuando se está de pie con la bobina sostenida a 15 cm del cuerpo**



El grupo llegó a la conclusión de que, si la sonda la mantenía en posición el profesional, se superarían casi con seguridad los VLE de efectos sobre la salud. La interferencia con un DMIA podía ser también un riesgo. Sin embargo, la interferencia con otros aparatos del hospital se consideró como un problema de menor importancia que con la unidad de electrocirugía, puesto que el equipo no se solía usar en zonas que contuvieran dispositivos médicos sensibles.

### 4.6.3. Diatermia de onda corta

Aunque el grupo no llevó a cabo una evaluación de ninguna de las unidades de diatermia de onda corta en el hospital, sabía que las mismas podían dar lugar a altas exposiciones de los fisioterapeutas y posiblemente de otros trabajadores. Evaluaciones efectuadas con aparatos similares en otros establecimientos han concluido que los NA podían superarse en un radio de unos 2 m de los aparatos de diatermia de onda corta capacitivos y de 1 m de los mismos aparatos de tipo inductivo. El grupo decidió que se necesitaría una evaluación más de sus propios equipos si se fueran a volver a utilizar. Es de esa forma se podrían aconsejar a los fisioterapeutas unas prácticas de trabajo seguro (por ejemplo, distancias de trabajo seguras) y determinar si los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se podían sobrepasar en zonas en las que pudieran entrar trabajadores con riesgos particulares.

## 4.7. Evaluación de riesgos

El hospital llevó a cabo evaluaciones de riesgos para la unidad de electrocirugía (cuadro 4.6) y el aparato de EMT (cuadro 4.7) basándose en las mediciones realizadas por el grupo de físicos médicos, que era coherente con la metodología sugerida por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. La evaluación de riesgos llegó a las conclusiones siguientes:

### 4.7.1. Unidad de electrocirugía

- El uso de esta unidad no es probable que dé lugar a que el cirujano u otros trabajadores del hospital superen los VLE.
- Existe la posibilidad de interferencias electromagnéticas con los DMIA y otros dispositivos médicos en la sala.

### 4.7.2. Dispositivo de EMT

- El uso de esta unidad es probable que dé lugar a que el profesional clínico, y quizá otros trabajadores del hospital, superen los VLE, posiblemente por un margen considerable.
- Son posibles interferencias electromagnéticas con los DMIA.
- Es pequeña la posibilidad de interferencia electromagnética con dispositivos médicos sensibles, ya que el equipo no se utiliza en la proximidad de estos aparatos.

El hospital elaboró un plan de actuación a partir de la evaluación de riesgos, lo que fue documentado.

**Cuadro 4.6. Evaluación de riesgos específicos derivados de CEM de la unidad de electrocirugía**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del CEM	La modelización ha demostrado que los trabajadores no superarán los VLE	Cirujano y otros miembros del equipo quirúrgico	✓			✓			Bajo	No se precisa ninguna
Efectos indirectos del CEM (efecto en dispositivos médicos implantados activos [DMIA] y otros dispositivos médicos sensibles)	Ninguna	Cirujano y otros miembros del equipo quirúrgico  Paciente		✓		✓			Bajo	Avisar a los trabajadores del peligro de posibles interferencias con dispositivos médicos sensibles  Se pide a los trabajadores que informen al grupo de física médica de cualquier caso de interferencia con dispositivos médicos  El grupo de física médica considerará avisar a los cirujanos acerca de las distancias mínimas de seguridad para la sonda de tratamiento y los cables con los DMIA y otros dispositivos médicos sensibles

**Cuadro 4.7. Evaluación de riesgos específicos derivados de CEM del aparato estimulador magnético transcraneal (EMT)**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
<p>Efectos directos del CEM:</p> <p>Los VLE relativos a efectos sobre la salud podrían ser superados por el médico que utilice el equipo</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 235 cm de la sonda</p>	Ninguna	<p>Profesional clínico</p> <p>Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)</p>	✓					✓	Medio	<p>Debe prohibirse que las trabajadoras embarazadas utilicen el equipo o que permanezcan en la sala cuando se esté usando</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia en este sentido</p> <p>Si es posible, montar la sonda en un pie</p>
<p>Efectos indirectos del CEM (efecto en los DMIA):</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 235 cm de los electrodos</p>	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares	✓				✓		Medio	<p>Debe comunicarse a los trabajadores información sobre este peligro</p> <p>Debe prohibirse que los trabajadores que lleven DMIA utilicen el equipo o que permanezcan en la sala cuando se esté usando</p> <p>No se debe tratar con este aparato a los pacientes que lleven DMIA</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia y prohibición en este sentido</p>

## 4.8. Precauciones ya adoptadas

Antes de la evaluación de las mediciones realizadas, no se aplicaba ninguna precaución para limitar la exposición a los CEM.

## 4.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

Como consecuencia de la evaluación de las mediciones efectuadas y tras valorar los peligros asociados al equipo, el hospital ha elaborado un plan de actuación y decidido adoptar las siguientes precauciones adicionales:

### 4.9.1. Unidad de electrocirugía

En relación con la unidad de electrocirugía:

- avisar a los trabajadores del peligro de posibles interferencias con dispositivos médicos sensibles;
- pedir a los trabajadores que informen al grupo de física médica de cualquier caso de interferencia con dispositivos médicos;
- el grupo de física médica considerará avisar a los profesionales clínicos acerca de las distancias mínimas de seguridad para la sonda de tratamiento y los cables con los DMIA y otros dispositivos médicos sensibles.

### 4.9.2. Dispositivo de EMT

En relación con el aparato de EMT:

- prohibición a las trabajadoras embarazadas y a los trabajadores con DMIA de utilizar el equipo o de permanecer en la sala durante el tratamiento;
- no aplicación del tratamiento a pacientes portadores de DMIA;
- colocación de señales de advertencia de la presencia de campos magnéticos intensos, así como de prohibición para personas portadoras de DMIA (figura 4.12);
- si fuera posible, montaje de la sonda en un dispositivo manipulador de precisión para que el profesional pueda estar más separado de la sonda durante el tratamiento;
- en caso necesario, el grupo de física médica considerará la designación de un dispositivo manipulador a distancia que permita al profesional estar alejado de la sonda durante el tratamiento.

**Figura 4.12. Ejemplos de señales de advertencia de campos magnéticos intensos y una ilustración del símbolo de prohibición para portadores de DMIA**



### 4.9.3. Diatermia de onda corta

En relación con la diatermia de onda corta:

- el grupo de física médica aconsejará a los fisioterapeutas del hospital que le informen antes de llevar a cabo tratamientos de diatermia de onda corta, para poder llevar a cabo una evaluación de riesgos derivados de CEM y aplicar medidas de control adecuadas, si fuera preciso.

## 5. TALLER DE INGENIERÍA

### 5.1. Lugar de trabajo

Una empresa de ingeniería quería evaluar la forma en que le afectaría la aplicación de la Directiva CEM. La empresa dispone de una diversidad de equipos eléctricos en el taller de ingeniería, tales como:

- unidad de inspección por partículas magnéticas,
- desmagnetizador,
- máquina lijadora de superficies,
- cizalladoras,
- sierras de cinta,
- sierra eléctrica para metales,
- sierra de disco,
- fresadora (motor),
- taladradora de pie,
- conformadora en caliente,
- tornos,
- taladro de mano,
- muela.

### 5.2. Naturaleza del trabajo

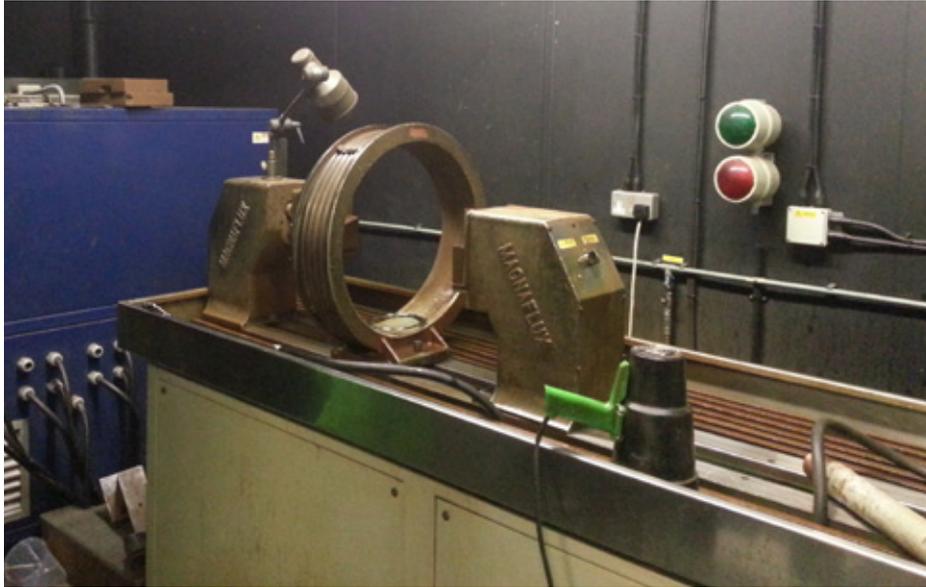
La empresa sabía que algunos de sus equipos, como la unidad de inspección por partículas magnéticas empleada para ensayos no destructivos y el desmagnetizador utilizado para desmagnetizar componentes, son fuentes de campos electromagnéticos. Sin embargo, también deseaba enterarse de si otras herramientas empleadas podían emitir niveles importantes de campos electromagnéticos.

### 5.3. Cómo se utilizan las aplicaciones

#### 5.3.1. Inspección por partículas magnéticas

La inspección por partículas magnéticas (MPI) (figura 5.1) se utiliza en los ensayos no destructivos de componentes metálicos. Durante la MPI se aplica una corriente a una pieza de prueba ferromagnética para magnetizarla; los defectos en su superficie perturbarán el campo magnético que produce la corriente. El examen de tinte ferromagnético aplicado a la superficie de la pieza, bajo una fuente de luz adecuada, permite observar los defectos. El operario que lleva a cabo la inspección de la pieza suele trabajar muy cerca del equipo.

**Figura 5.1. Unidad de inspección por partículas magnéticas**



### 5.3.2. Desmagnetizador

La empresa utiliza un desmagnetizador (figura 5.2), que se emplea para desmagnetizar los componentes metálicos después de un proceso de MPI. Los componentes se cargan a mano en un sistema de carrito y carriles que pasa a través del túnel de la bobina desmagnetizadora. El operario empuja a mano el componente sobre el carrito a través del desmagnetizador. Después, se descarga el componente del carrito por el otro lado del desmagnetizador.

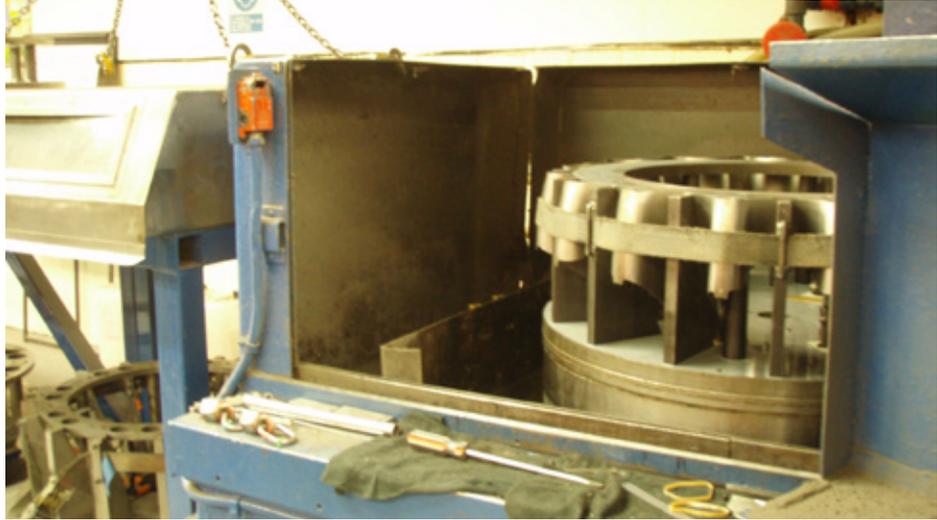
**Figura 5.2. Desmagnetizador con carrito deslizante**



### 5.3.3. Máquina lijadora de superficies

La máquina lijadora de superficies (figura 5.3) incorpora una mesa giratoria con mandril magnético de campo estático al que se fijan los componentes que se van a rectificar. El operario puede activar el mandril magnético cuando están abiertos los paneles de la lijadora.

**Figura 5.3. Máquina lijadora de superficies**



### 5.3.4. Otras herramientas empleadas en el taller

Las otras herramientas empleadas en la empresa, que se listan a continuación, son utilizadas por una diversidad de trabajadores de forma regular:

- cizalladora,
- sierra de cinta,
- sierra eléctrica para metales,
- sierra de disco,
- fresadora (motor),
- taladradora de pie,
- conformadora en caliente,
- torno,
- taladro de mano,
- muela.

## 5.4. Información sobre los equipos que producen CEM

La empresa sabía que podía haber peligros por CEM asociados a las unidades de MPI y el desmagnetizador, ya que la información del fabricante avisa de que los equipos pueden afectar a los marcapasos. Sin embargo, no se disponía de ninguna otra explicación sobre este peligro. La empresa no pudo encontrar ninguna información de seguridad sobre CEM correspondiente a las otras herramientas del emplazamiento a pesar de consultar las listas de equipos del cuadro 3.2 del capítulo 3 del volumen 1 de la guía. De acuerdo con ello, pudo deducir que era poco probable que la mayoría de las herramientas eléctricas de mano y los equipos eléctricos de pequeño tamaño representaran un problema por lo que se refiere a exposición a los CEM.

## 5.5. Método para la evaluación de la exposición

A causa de la falta de información disponible referente al peligro de CEM asociado a la MPI y el desmagnetizador, la empresa decidió designar a un experto consultor para que realizara una evaluación detallada. Deseaba determinar si podía haber peligros asociados a algunos de estos equipos, así como su alcance.

El consultor efectuó mediciones de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo alrededor de los equipos empleando un instrumento con un filtro electrónico incorporado que da un resultado, en términos de porcentaje, deducido empleando el método de ponderación de picos en el tiempo, que permite una comparación directa con los niveles de actuación (NA). Para los campos magnéticos estáticos, el consultor empleó un magnetómetro Hall de tres ejes que medía la intensidad de campo magnético.

## 5.6. Resultados de la evaluación de la exposición

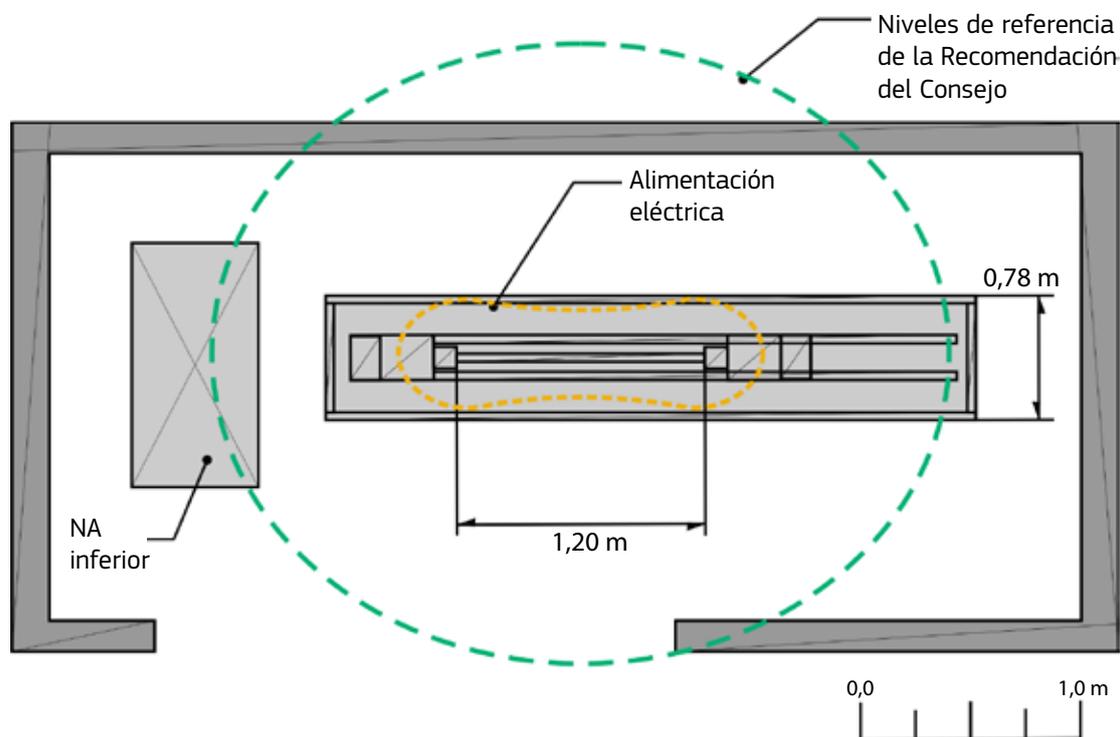
### 5.6.1. Inspección por partículas magnéticas

La unidad de MPI trabaja normalmente entre 1 y 4 kA. Se hicieron mediciones de la densidad de flujo magnético con el equipo funcionando a su valor máximo de 10 kA. Se puso el equipo en el modo de magnetización radial, en el que la corriente se aplicaba directamente a la pieza de trabajo. Durante la inspección, se observó que el operario permanecía de pie a una distancia de 60 cm de la pieza de trabajo y, por eso, las mediciones se hicieron en esta posición, en la que no se superaba el nivel de actuación inferior.

Se hicieron también mediciones en otras posiciones diversas alrededor del equipo y se compararon los resultados con los NA, así como con los niveles de referencia indicados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Esos valores se pueden usar como un indicador grosero de la exposición de los trabajadores con riesgos particulares (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía).

Se muestran las zonas en las que podrían superarse los NA y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (figura 5.4). El contorno del NA inferior está contenido completamente dentro de la bancada de la máquina, mientras que la correspondiente a los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se extiende hasta unos 1,5 m de la pieza de trabajo y hasta 0,4 m en las zonas adyacentes a la cabina de MPI.

**Figura 5.4. Vista en planta que muestra el contorno dentro del cual podrían superarse los niveles de actuación inferior (amarillo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde)**



### 5.6.2. Desmagnetizador

El contratista llevó a cabo mediciones de los campos magnéticos alrededor del desmagnetizador, que se presentan en el cuadro 5.1. Se observó que la densidad de flujo magnético caía por debajo del NA inferior a 40 cm del centro del túnel del imán y superaba justamente el NA superior a ras de cara plana del imán. Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se superaban a 1 m del núcleo del imán.

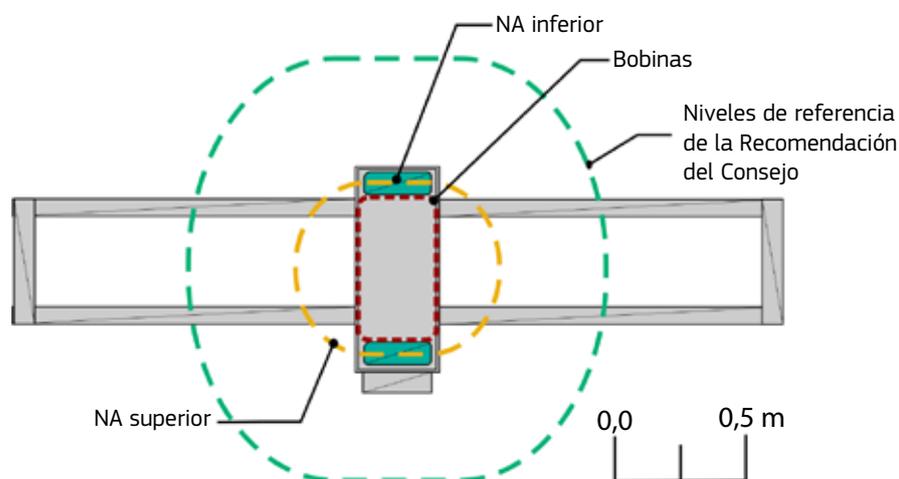
Las zonas en las que se podían superar los NA y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se presentan en la figura 5.5.

**Cuadro 5.1. Densidades de flujo magnético medidas alrededor del desmagnetizador expresadas como porcentaje de los niveles de actuación de la Directiva CEM**

Posición de medición	Magnitud medida			Exposición en el contexto de la Directiva CEM				
	Frecuencia (Hz)	Densidad de flujo magnético ( $\mu\text{T}$ )	Nivel de actuación inferior ( $\mu\text{T}$ )	Exposición (%)	Nivel de actuación superior ( $\mu\text{T}$ )	Exposición (%)	Nivel de actuación en las extremidades ( $\mu\text{T}$ )	Exposición (%)
<b>Lado del operario del carril del carrito:</b>								
• Junto al lado derecho del panel de control	50	590	1 000	59 %	6 000	10 %	18 000	3,3 %
• Borde del carril a lo largo del imán	50	1 400	1 000	140 %	6 000	23 %	18 000	7,8 %
• A 40 cm del centro del túnel del imán	50	600	1 000	60 %	6 000	10 %	18 000	3,3 %
<b>A 1 m del centro del túnel del imán (al lado de la unidad de desmagnetización):</b>								
• Extremo abierto	50	70	1 000	7,0 %	6 000	1,2 %	18 000	0,4 %
• Extremo cerrado	50	70	1 000	7,0 %	6 000	1,2 %	18 000	0,4 %
<b>Lado lejano del carril del carrito (no en el lado del panel de control):</b>								
• A 25 cm del centro del túnel del imán	50	3 200	1 000	320 %	6 000	53 %	18 000	18 %
• A 40 cm del centro del túnel del imán	50	600	1 000	60 %	6 000	10 %	18 000	3,3 %
• A 30 cm del revestimiento del imán (lado del interruptor de aislamiento)	50	250	1 000	25 %	6 000	4,2 %	18 000	1,4 %
<b>Sobre el carril del carrito en el eje del túnel del imán:</b>								
• Alineado con la cara plana del imán (extremo abierto)	50	6 700	1 000	670 %	6 000	110 %	18 000	37 %
• Alineado con la cara plana del imán (extremo cerrado)	50	6 700	1 000	600 %	6 000	100 %	18 000	33 %

*N.B.:* Las mediciones se hicieron con el instrumento en el modo de intensidad de campo, lo que indicaba que la forma de onda estaba siempre dominada por la frecuencia fundamental de 50 Hz. Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA.

**Figura 5.5. Vista en planta que muestra el contorno dentro del cual podrían superarse alrededor del desmagnetizador el nivel de actuación superior (rojo), el nivel de actuación inferior (amarillo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde)**



### 5.6.3. Máquina lijadora de superficies

Las mediciones se hicieron alrededor de la máquina lijadora, que incorpora un mandril magnético para sostener la pieza de trabajo en su sitio.

Las mediciones alrededor de la unidad mostraron que los valores límite de exposición (VLE) respecto a los campos magnéticos estáticos no se superarían en ninguna posición. Sin embargo, el NA para la exposición a dispositivos médicos implantados activos podría superarse muy cerca del mandril magnético (cuadro 5.2).

**Cuadro 5.2. Distancia a la que la densidad de flujo magnético cae al nivel de actuación relativo a la exposición a dispositivos médicos implantados activos (0,5 mT)**

Equipos	Distancia desde el borde lateral de la mesa	Distancia desde el borde superior de la mesa
Máquina lijadora Lumsden	15 cm	15 cm

*N.B.:* Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 5\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA cuando se evaluaron las distancias anteriores.

### 5.6.4. Otras herramientas empleadas en el taller

Se efectuaron mediciones de la densidad de flujo magnético alrededor de las otras herramientas eléctricas del taller y no se superaron los NA alrededor de ninguna de ellas.

Para las herramientas que aparecen en el cuadro 5.3, la densidad de flujo magnético no superó en ninguna posición los NA o los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Para las herramientas que aparecen en el cuadro 5.4, la densidad de flujo magnético superó los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en algunas posiciones cercanas al equipo.

**Cuadro 5.3. Herramientas que no presentan un peligro de CEM**

Equipos	Porcentaje de niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo
Cizalladora	33 %
Sierra de cinta	< 1 %
Sierra eléctrica para metales	< 1 %
Fresadora	50 %
Taladradora de pie	20 %
Conformadora en caliente	20 %
Muela	20 %
Torno	< 2 %

**Cuadro 5.4. Herramientas alrededor de las cuales la densidad de flujo magnético superaba los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo**

Equipos	Observaciones
Sierra de disco	280 % en la superficie del equipo 100 % a 15 cm del motor 20 % en la posición del operario
Máquina lijadora	350 % en la superficie del equipo 100 % a 10 cm del equipo
Taladro de mano	700 % en la superficie del equipo 300 % en la posición típica del cuerpo (a 7 cm de la parte posterior del taladro) 100 % a 15 cm de la parte posterior del taladro

## 5.7. Evaluación de riesgos

La empresa hizo evaluaciones de riesgos específicos de sus equipos basándose en las evaluaciones de las mediciones efectuadas por el consultor (cuadros 5.5 a 5.9). Fue coherente con la metodología propuesta por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. La evaluación de riesgos llegó a las conclusiones siguientes:

- Unidad de MPI: los NA no se superarían en la posición típica del operario. Los trabajadores con riesgos particulares podrían encontrarse en peligro en un radio de aproximadamente 1,5 m de la pieza de trabajo.
- Desmagnetizador: los trabajadores podrían superar el NA inferior al permanecer cerca del imán. Los trabajadores con riesgos particulares podrían encontrarse en peligro en un radio de aproximadamente 1 m del imán.
- Máquina lijadora de superficies: los trabajadores con riesgos particulares podrían encontrarse en peligro en un radio de aproximadamente 15 cm del mandril magnético. No obstante, se consideró poco probable que un trabajador se colocara tan cerca del imán.
- Taladro de mano: los trabajadores con riesgos particulares podrían encontrarse en peligro cuando manejen esta herramienta.
- Otras herramientas: se midieron campos por encima de los niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Sin embargo, los campos estaban muy localizados y, por lo tanto, se determinó que era reducido el peligro para los trabajadores con riesgos particulares.

La empresa elaboró y documentó un plan de actuación a partir de la evaluación de riesgos.

**Cuadro 5.5. Evaluación de riesgos específicos de CEM de la unidad de inspección por partículas magnéticas (MPI)**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
<p>Efectos directos del CEM:</p> <p>El nivel de actuación inferior podría ser superado en la bancada de la máquina</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1,5 m de la pieza de trabajo</p>	<p>La posición típica del operario está a 60 cm de la pieza, lo que significa que no debería superarse el nivel de actuación inferior en dicha posición</p> <p>Se utiliza el equipo en una cabina</p>	<p>Operarios</p> <p>Otros trabajadores</p> <p>Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)</p>	✓				✓	Probable	Bajo	<p>Información y preparación que se debe proporcionar a los operarios y otros trabajadores</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia</p> <p>Debe prohibirse que las trabajadoras embarazadas utilicen el equipo o que entren en la cabina cuando se esté usando</p> <p>Se deben colocar señales adecuadas de advertencia y prohibición en la entrada de la cabina</p>
<p>Efectos indirectos del CEM (efecto en dispositivos médicos implantados activos):</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1,5 m de la pieza</p>	<p>Debe impedirse que los trabajadores portadores de dispositivos médicos implantados activos utilicen este equipo</p>	<p>Trabajadores con riesgos particulares</p>	✓			✓			Bajo	<p>Debe comunicarse a todos los trabajadores información sobre este peligro</p> <p>Deben incluirse advertencias en la información de seguridad del emplazamiento</p> <p>Se deben colocar señales adecuadas de advertencia y prohibición en la entrada de la cabina</p>

**Cuadro 5.6. Evaluación de riesgos específicos de CEM del desmagnetizador**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del CEM:	Ninguna	Operarios	✓				✓		Bajo	A menos que produjeran dificultades en el uso del equipo, se deben instalar protecciones para impedir que los trabajadores superen el nivel de actuación inferior y automatizar algunas de las operaciones de desmagnetización más repetitivas.
El nivel de actuación inferior podría superarse hasta a 40 cm del imán		Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)								Se debe proporcionar información y preparación a los operarios y otros trabajadores
Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1 m del imán										Deben colocarse en el equipo señales de advertencia
										Deben delimitarse las zonas en que se superan los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo
										Debe prohibirse a las trabajadoras embarazadas que entren en las áreas marcadas
										Se deben colocar señales adecuadas de advertencia y prohibición en la entrada a la zona marcada
Efectos indirectos del CEM (efecto en dispositivos médicos implantados activos):	No se deja que los trabajadores portadores de dispositivos médicos implantados activos utilicen este equipo	Trabajadores con riesgos particulares	✓				✓		Bajo	Debe comunicarse a todos los trabajadores información sobre este peligro
Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1 m del imán										Deben incluirse advertencias en la información de seguridad del emplazamiento
										Se deben colocar señales adecuadas de advertencia y prohibición en la entrada a la zona marcada

Cuadro 5.7. Evaluación de riesgos específicos de CEM de la máquina lijadora

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del campo magnético estático	Ninguna. No se superan los VLE en ninguna posición	Operarios	✓			✓			Bajo	No se precisa
Efectos indirectos de campo magnético estático (efecto sobre dispositivos médicos implantados activos):  Puede superarse el nivel de actuación relativo a la exposición a dispositivos médicos implantados activos hasta a unos 15 cm de los mandriles magnéticos	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Bajo. No es probable que un trabajador se coloque tan cerca de los mandriles eléctricos	Se ofrece a los operarios del equipo información sobre este peligro  A las personas portadoras de dispositivos médicos implantados activos se les prohibirá trabajar con la máquina cuando estén abiertos los paneles  Deben colocarse en el equipo señales adecuadas de advertencia y prohibición

Cuadro 5.8. Evaluación de riesgos específicos de CEM del taladro de mano

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del CEM:  Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 15 cm de la parte trasera del taladro	Ninguna	Operarios  Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)	✓			✓			Bajo	Se prohibirá a las mujeres embarazadas el uso del taladro de mano  Debe comunicarse a los trabajadores información sobre este peligro
Efectos indirectos del CEM (efecto en dispositivos médicos implantados activos):  Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 15 cm de la parte trasera del taladro	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Bajo	Se prohibirá usar este equipo a las personas que lleven dispositivos médicos implantados activos  Información sobre este peligro comunicada a los trabajadores

**Cuadro 5.9. Evaluación de riesgos específicos de CEM de otras herramientas eléctricas**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
<p>Efectos directos del CEM:</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se pueden superar en zonas muy localizadas próximas al equipo</p>	Ninguna	<p>Operarios</p> <p>Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)</p>	✓			✓			Bajo. Es muy improbable que un trabajador se coloque tan cerca del equipo	No se precisa.
<p>Efectos indirectos del CEM (efecto en dispositivos médicos implantados activos):</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se pueden superar en zonas muy localizadas próximas al equipo</p>	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Bajo. Es muy improbable que un trabajador se coloque tan cerca del equipo	No se precisa.

## 5.8. Precauciones ya adoptadas

Antes de la evaluación de las mediciones por el consultor se habían tomado muy pocas precauciones. Se limitaban a:

- prohibir a los trabajadores portadores de dispositivos médicos implantados activos que utilizaran el MPI o el desmagnetizador.

## 5.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

Como consecuencia de la evaluación de las mediciones efectuadas y tras valorar los peligros asociados al equipo, la empresa desarrolló un plan de actuación y decidió:

- Colocar cuatro pantallas no metálicas (Perspex), relativamente pequeñas, a cada lado del túnel del imán en el desmagnetizador. Debían estar achaflanadas hacia dentro de forma que no causaran obstrucciones importantes, pero en todos los puntos deberían estar a unos 40 cm de la abertura del túnel del imán.

- Automatizar algunas de las operaciones de desmagnetización más repetitivas empleando etapas de manejo robótico y cintas transportadoras (figura 5.6). Esto presentaba otras ventajas por lo que se refiere a las operaciones de manejo manual coherente con los requisitos de la Directiva 90/269/CEE del Consejo.
- Colocar señales de advertencia y prohibición en los equipos y en el acceso a zonas en las que se pueden superar los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo, según corresponda. Se muestran ejemplos de señales de advertencia (figura 5.7).
- Impartir formación de sensibilización a los operarios y comprobar que conocen las conclusiones de la evaluación de riesgos y las apropiadas medidas de protección y prevención.
- Desarrollar procedimientos apropiados que aseguren que todos los trabajadores, incluidos los visitantes y los contratistas, conocen los posibles problemas para los trabajadores con riesgos particulares (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía).

**Figura 5.6. Desmagnetizador automatizado con cinta transportadora en una celda de manejo robótico**

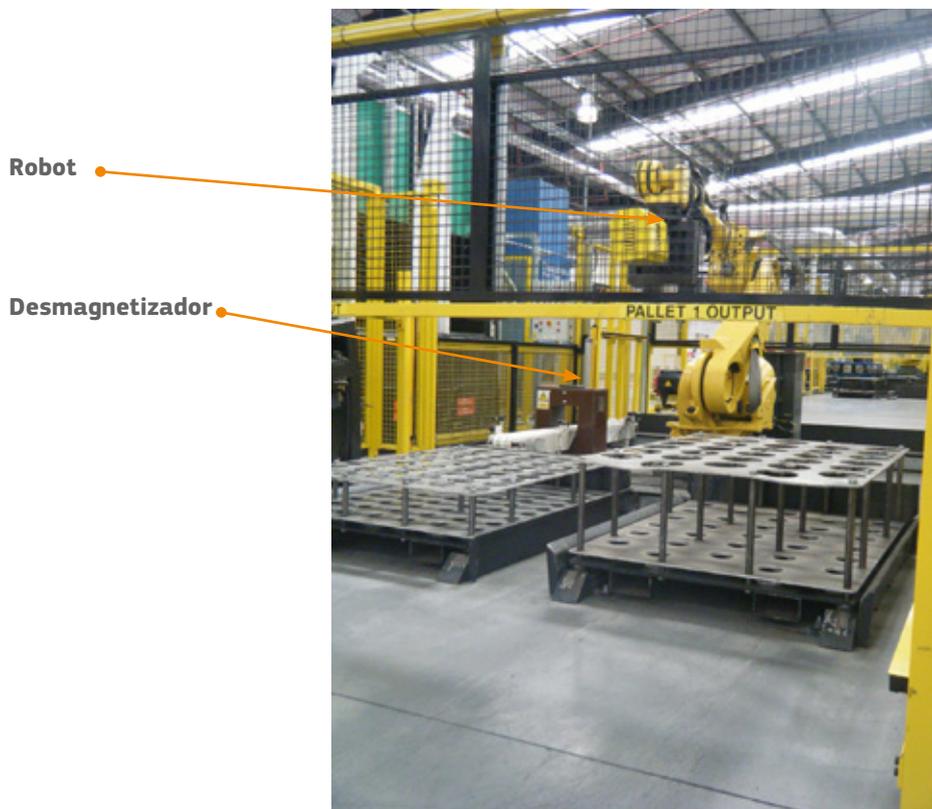


Figura 5.7. Ejemplo de señales de advertencia y prohibición

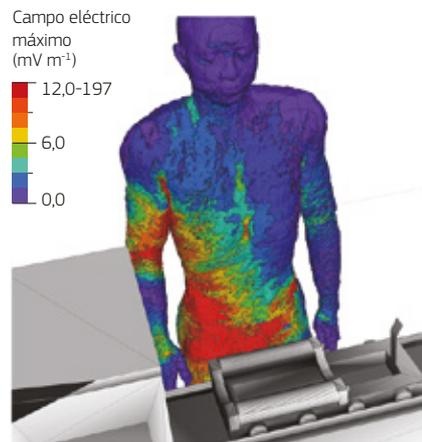


## 5.10. Referencia a fuentes de información adicional

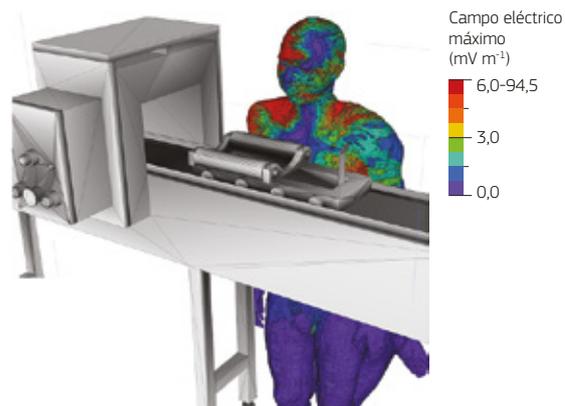
La modelización en ordenador basada en los resultados de las mediciones hechas alrededor del desmagnetizador muestra que, a pesar de que se superaron los NA, los campos eléctricos inducidos cumplían los VLE. Para las tres situaciones de exposición que se exponen seguidamente, los campos eléctricos inducidos variaban del 5 % al 54 % del VLE bajo:

- De pie en la posición 1, a 25 cm del túnel del imán (figura 5.8a).
- De rodillas en la posición 1, a 25 cm del túnel del imán (figura 5.8b).
- Inclinado en la posición 2, alineado con el túnel del imán (figura 5.8c).

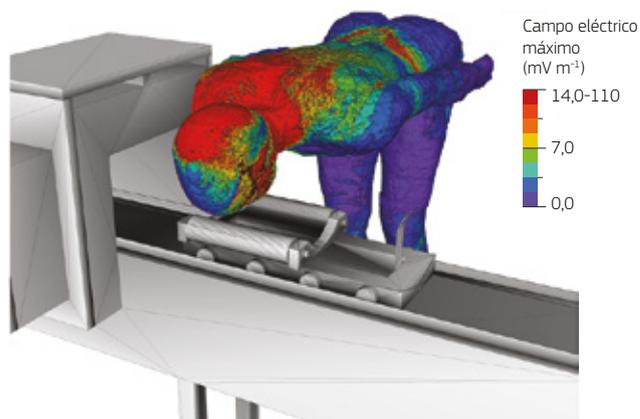
**Figura 5.8a. Distribución del campo eléctrico inducido en el modelo humano de exposición al desmagnetizador manteniéndose de pie en la posición 1, a 25 cm del túnel del imán**



**Figura 5.8b. Distribución del campo eléctrico inducido en el modelo humano de exposición al desmagnetizador cuando se está de rodillas en la posición 1, a 25 cm del túnel del imán**



**Figura 5.8c. Distribución del campo eléctrico inducido en el modelo humano de exposición al desmagnetizador cuando se está inclinado en la posición 2, a ras del túnel del imán**



## 6. AUTOMÓVIL

### 6.1. Lugar de trabajo

Este caso práctico hace referencia a equipos manuales de soldadura por puntos y calentadores de inducción usados en un taller de reparación de carrocería. Aunque no se trate de una pequeña o mediana empresa, se considera también brevemente en la sección 6.11 el uso de equipos de soldadura por puntos por un destacado fabricante internacional de vehículos.

### 6.2. Naturaleza del trabajo

Los equipos manuales de soldadura por puntos (figura 6.1) y los calentadores de inducción (figura 6.3) pueden representar un peligro debido a los campos magnéticos intensos variables con el tiempo producidos por las grandes corrientes eléctricas que se emplean para soldar o calentar el metal. Este caso práctico considera dos equipos de soldadura y tres sistemas de calentamiento por inducción usados normalmente en los talleres de reparación de carrocería.

**Figura 6.1. Equipo manual de soldadura por puntos utilizado para montar un nuevo panel**



### 6.3. Cómo se utilizan las aplicaciones

Los vehículos más modernos se fabrican soldando paneles para crear una carcasa a la que se sujetan después los componentes principales. Lo más frecuente es que las soldaduras se hagan por puntos. Los equipos manuales de soldadura por puntos se componen de una pistola de soldar conectada a una unidad de control que aloja sistemas eléctricos y de refrigeración. La pistola utiliza dos electrodos conformados de aleación de cobre para crear el punto de soldadura. El tamaño de los electrodos puede variar dependiendo del lugar donde se forma el punto en la carrocería que se va a soldar. En la figura 6.2 se presenta el ejemplo de un soldador de un taller de reparación de carrocerías.

**Figura 6.2. Soldador manual por puntos típico de un taller de reparación de carrocerías. El sistema es móvil con la unidad de control sobre ruedas. Los cables eléctricos y de refrigerante salen de la parte frontal de la unidad y entran en la posterior de la pistola de soldar, que se deja en su soporte a la izquierda del panel de control**



Durante la misión o reparación de los vehículos, suele suceder que, a causa de la corrosión, los trabajadores tengan que calentar componentes metálicos para poder desmontarlos. Los calentadores de inducción se componen de una bobina electromagnética a la que se comunica una corriente alterna de baja frecuencia. El campo magnético producido alrededor de la bobina induce corrientes eléctricas, llamadas «de Foucault», en el objeto deseado, y la resistencia a dichas corrientes hace que el objeto se caliente. Un ejemplo de uno de esos calentadores se muestra en la figura 6.3.

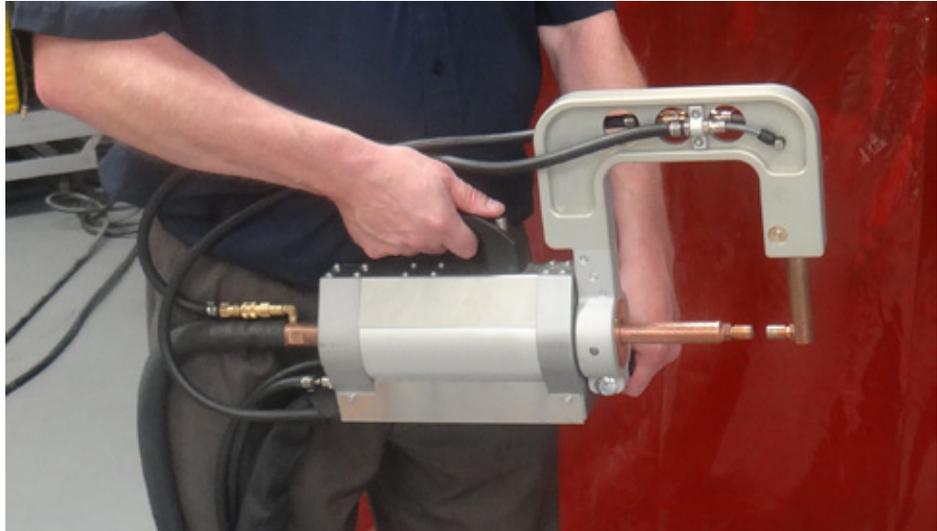
**Figura 6.3. Un calentador manual de inducción de 1 kW usado para calentar un perno agarrotado**



#### 6.4. Información sobre los equipos que producen CEM

De los dos soldadores de taller de reparación evaluados, uno empleaba una pistola de «tipo C» que se podía equipar con brazos de 160 mm o de 550 mm, y el otro, una de «tipo X» con electrodos de 160 mm o 550 mm. Los distintos tipos de pistola se muestran en las figuras 6.4 y 6.5. Ambos equipos de soldadura empleaban corrientes de 7 500 y 12 000 A y trabajaban con una frecuencia de 2 kHz. Sin embargo, mientras que la pistola de «tipo C» empleaba un transformador remoto para alimentar la corriente de soldadura, la de «tipo X» utilizaba un transformador miniaturizado en su interior. Esto significa que en este soldador, a lo largo del cable entre la unidad de control y la pistola, pasa el suministro de la red de 50/60 Hz, en vez de la corriente de soldadura, mucho mayor. La importancia de esta cuestión se aborda más adelante en este caso práctico.

**Figura 6.4. Pistola de soldar «tipo C» de un taller de reparación, con el brazo de 160 mm instalado. El cuerpo principal de la pistola (bajo la mano del operario) comprende el émbolo que fuerza un electrodo contra el otro. La corriente de soldadura se suministra desde la unidad de control a través de los cables a la izquierda de la figura**



**Figura 6.5. Pistola de soldar «tipo X» de un taller de reparación, con los electrodos de 550 mm instalados. Los dos electrodos se fuerzan uno contra otro en una acción de pinza gracias a la acción de un émbolo del cuerpo principal de la pistola (entre las manos del operario), que también incluye el transformador que alimenta la corriente de soldadura**



Los tres calentadores de inducción del taller de reparación evaluados eran de potencia variable: 1, 4 y 10 kW. El calentador de 1 kW trabajaba a 15 kHz y los de 4 y 10 kW lo hacían a entre 17 y 40 kHz. La frecuencia empleada por los calentadores de 4 y 10 kW varía porque pueden ajustar automáticamente la frecuencia de la corriente aplicada para asegurar el máximo acoplamiento con el objeto que se calienta.

El calentador de 1 kW se componía de una sola unidad manual que reunía el transformador y el elemento calentador en un solo equipo y que no disponía de refrigeración activa (figura 6.3). Los calentadores de 4 y 10 kW se componían de una unidad separada de alimentación eléctrica y un elemento manual de calentamiento, y disponían de sistemas activos de refrigeración (figura 6.6).

**Figura 6.6. Calentadores de inducción de 4 kW (izquierda) y 10 kW (derecha), que se utilizan para calentar componentes metálicos en un taller de reparación. En estos casos, el transformador está alojado en una unidad eléctrica separada (a la izquierda de las figuras), y los cables eléctricos y de suministro de refrigerante conectan la unidad eléctrica con el elemento calentador (que sostiene el operario en cada caso). Este equipo contrasta con el calentador de inducción de 1 kW, mucho más sencillo, que se muestra en la figura 6.3**



## 6.5. Método para la evaluación de la exposición

Un organismo representativo de la industria automovilista se sintió preocupado por las implicaciones de la Directiva CEM para sus miembros, algunos de los cuales son proveedores de equipos de soldadura y calentamiento eléctricos. Temía que los equipos típicos de soldadura por puntos y calentadores de inducción de los talleres de reparación dieran lugar a exposiciones de los trabajadores que superasen los niveles de actuación relevantes del artículo 3, apartado 2, de la Directiva CEM. Los equipos de soldadura por puntos, y los calentadores de inducción emplean, en efecto, altas intensidades de corriente y los trabajadores suelen mantenerlos próximos a su cuerpo durante su empleo, como muestran las figuras 6.1, 6.4, 6.5 y 6.6.

El organismo optó, por lo tanto, por los servicios de un contratista experto que estaba interviniendo en un proyecto europeo de elaboración de una guía sobre las exposiciones laborales a los campos electromagnéticos. En consecuencia, se dispuso que el contratista experto realizara una evaluación de una serie de equipos de talleres de reparación en un centro de formación automovilista.

El contratista llevó a cabo mediciones de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo alrededor de los equipos de soldar y los calentadores descritos anteriormente empleando sensores isotrópicos (triaxiales) (figura 6.7). El instrumento poseía un filtro electrónico incorporado que daba un resultado, en términos porcentuales, obtenido empleando el método de ponderación de picos a lo largo del tiempo y que, por lo tanto, permitía una comparación directa con los niveles de actuación (NA) de la Directiva CEM. El instrumento incorporaba también un analizador de espectro que permitía analizar el contenido de armónicos de la forma de onda.

**Figura 6.7. Mediciones alrededor del equipo soldador por puntos de un taller de reparación montado con una pistola «tipo C» y el brazo de 160 mm instalado. El soldador «tipo X» está al fondo**



## 6.6. Resultados de las evaluaciones de la exposición

Los resultados de las mediciones obtenidos por el contratista se muestran en las figuras y el cuadro siguientes. En todos los casos, se tomaron las mediciones mientras se utilizaban el soldador o el calentador de la forma usual para el trabajo realizado en un taller de reparación. Se hicieron las mediciones para determinar la extensión de la zona alrededor de cada pistola de soldar y cada calentador de inducción en la que:

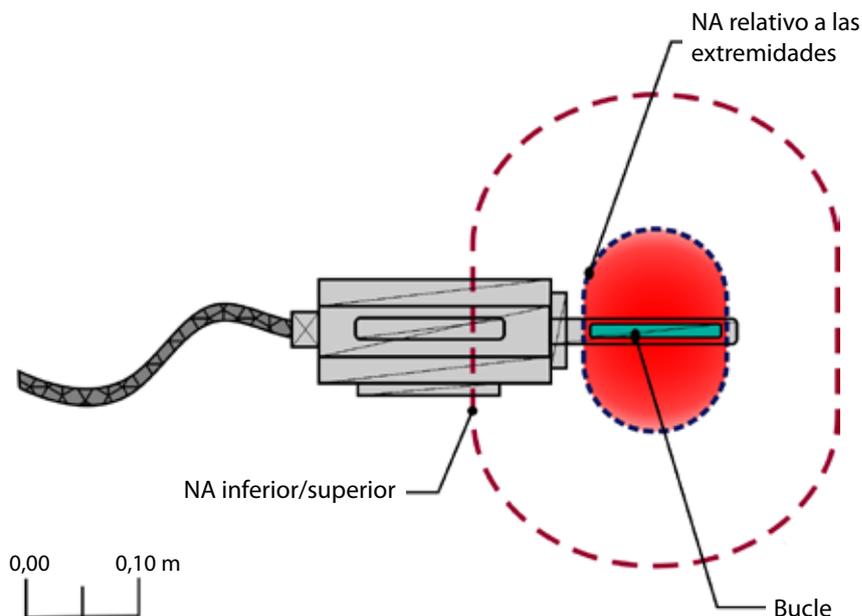
- se superaban los NA de la Directiva CEM;
- podía haber un problema relativo a la seguridad para trabajadores con riesgos particulares, evaluado en el contexto de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía)

Los equipos de soldadura por puntos y los calentadores de inducción trabajaban entre 2 y 36 kHz. En este margen de frecuencias, los NA superior e inferior de la Directiva CEM son iguales. Por ello, cuando se indica una medición de la intensidad de campo magnético como un porcentaje del nivel de actuación, representa el porcentaje tanto de los NA superiores como inferiores. Cuando sea adecuado, las mediciones se dan asimismo como un porcentaje del NA relativo a las extremidades de la Directiva CEM.

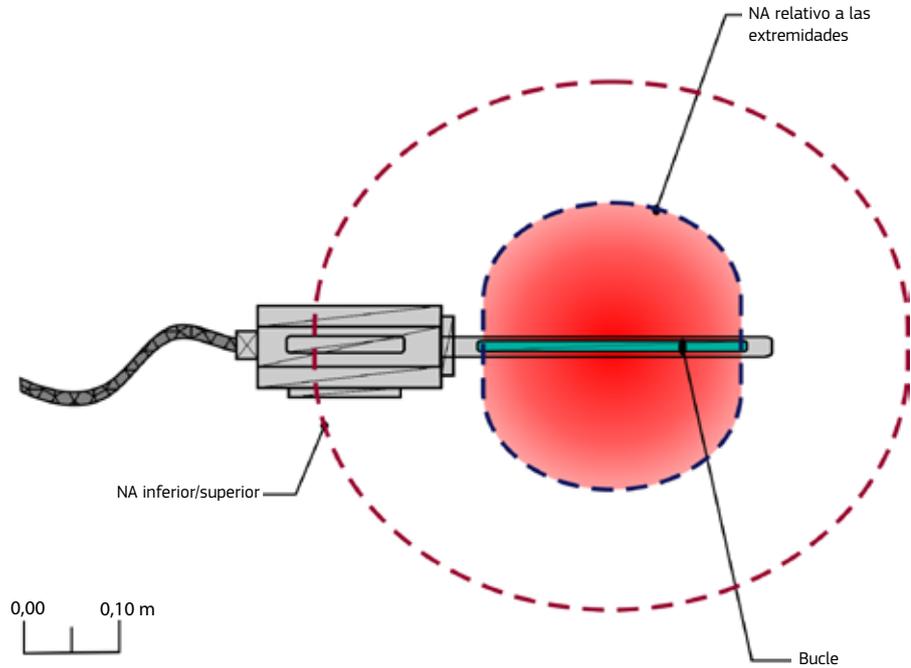
### 6.6.1. Resultados de la evaluación de la exposición de los equipos de soldadura por puntos de un taller de reparación

Las figuras 6.8 a 6.11 presentan la extensión de las zonas alrededor de cada pistola de soldar en las que se superan alguno o todos los NA (el relativo a las extremidades o el superior e inferior de la Directiva CEM). La figura 6.11 muestra asimismo la extensión de la zona alrededor de la pistola de «tipo X», cuando está equipada con electrodos de 550 mm, en la que se superan los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. En todos los casos, los contornos alrededor de las pistolas representan el 100 % del nivel relevante; el azul representa el NA relativo a las extremidades, el rojo representa los NA superior e inferior y el verde representa los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Además, el cuadro 6.1 muestra la extensión de las zonas en las que se superan los NA relevantes alrededor del cable de la pistola de soldar de «tipo C».

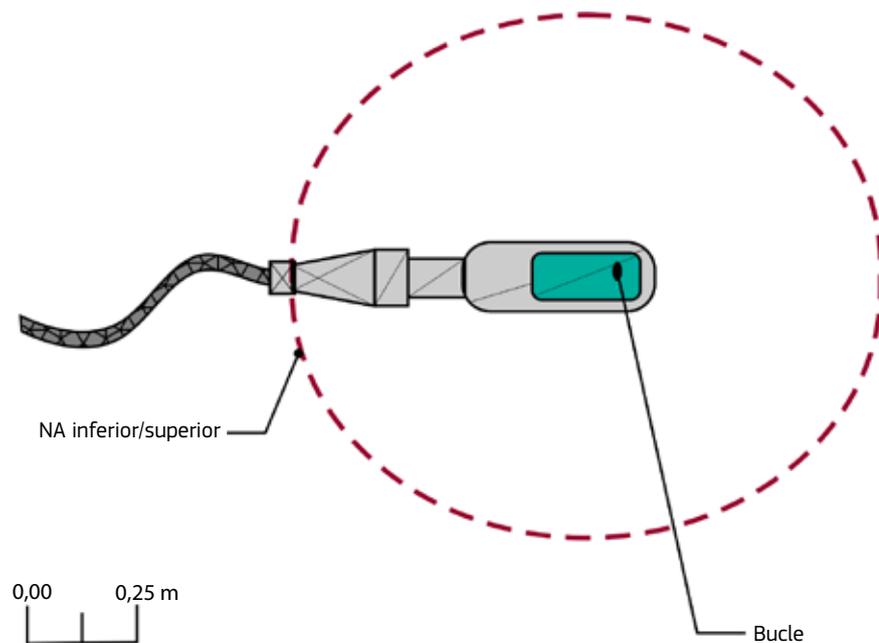
**Figura 6.8. Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación relativo a las extremidades (azul) y los niveles inferior/superior (rojo) en torno a la pistola de «tipo C» del taller de reparación cuando se equipa con un brazo de 160 mm**



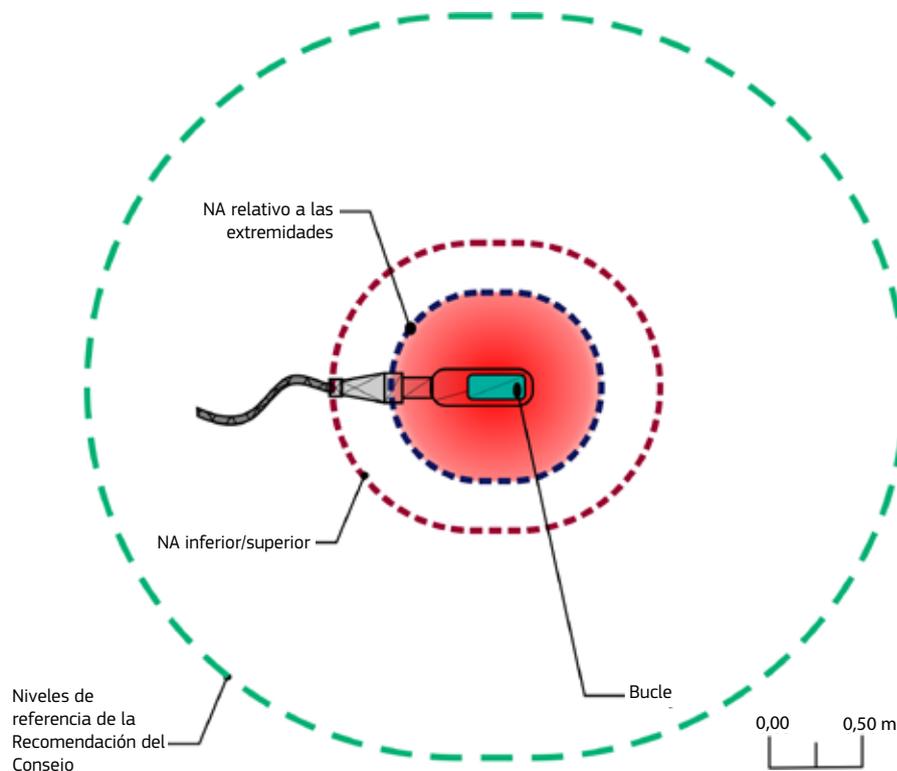
**Figura 6.9.** Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación relativo a las extremidades (azul) y los niveles inferior/superior (rojo) en torno a la pistola de «tipo C» del taller de reparación cuando se equipa con un brazo de 550 mm



**Figura 6.10.** Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse los niveles de actuación inferior/superior (rojo) en torno a la pistola de «tipo X» del taller de reparación cuando se equipa con electrodos de 160 mm



**Figura 6.11. Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación relativo a las extremidades (azul), los niveles de actuación inferior/superior (rojo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde) en torno a la pistola de «tipo X» del taller de reparación cuando se equipa con electrodos de 550 mm**



**Cuadro 6.1. Resultados de las mediciones en el cable entre la pistola de soldar de «tipo C» y la unidad de control**

Tipo de pinzas	Intensidad de corriente (A)	Porcentaje de nivel de actuación inferior/superior <sup>(1)</sup> 10 cm del cable	Porcentaje de nivel de actuación inferior/superior <sup>(1)</sup> 12 cm del cable	Porcentaje de nivel de actuación relativo a extremidades <sup>(2)</sup> 8 cm del cable
160 mm «tipo C»	8 000	180	100	100

<sup>(1)</sup> Niveles de actuación inferior/superior de densidad de flujo magnético para una frecuencia de 2 kHz: 150  $\mu$ T.

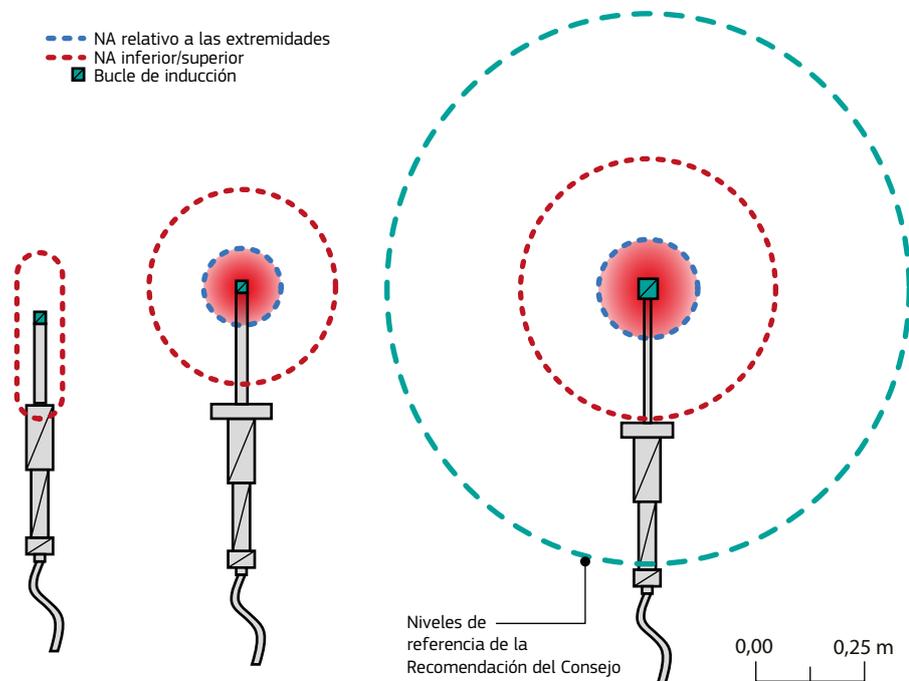
<sup>(2)</sup> Niveles de actuación de densidad de flujo magnético relativo a las extremidades para una frecuencia de 2 kHz: 450  $\mu$ T.

N.B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10$  %, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA.

### 6.6.2. Resultados de la evaluación de la exposición de los calentadores de inducción usados en el taller de reparación de carrocería

La figura 6.12 muestra los elementos calefactores de los tres calentadores de inducción, con el calentador de 1 kW a la izquierda, el calentador de 4 kW en el centro y el calentador de 10 kW a la derecha. En todos los casos, los contornos alrededor de los elementos calefactores representan el 100 % del nivel relevante, correspondiendo el azul al NA relativo a las extremidades de la Directiva CEM, el rojo a los NA superior e inferior de dicha Directiva y el verde a los niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

**Figura 6.12. Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación en las extremidades (azul), los niveles de actuación superior/inferior (rojo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde) en torno a los tres calentadores de inducción del taller de reparación (de 1 kW a la izquierda, de 4 kW en el centro y de 10 kW a la derecha)**



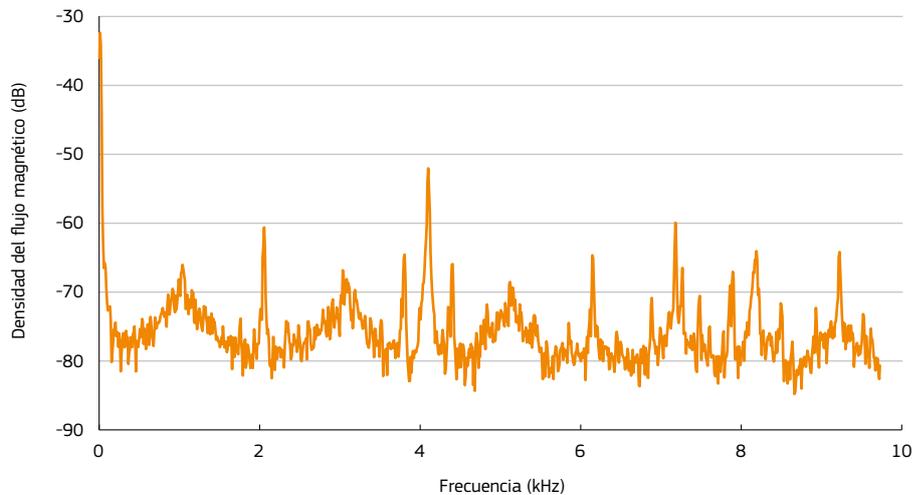
## 6.7. Conclusiones de las evaluaciones de exposición

Dependiendo del tipo de pistola, el NA relativo a las extremidades de la Directiva CEM se superó entre 10 y 22 cm desde las pinzas y el NA superior e inferior de la Directiva CEM se superó entre 20 y 32 cm desde las pinzas. Cuando se midieron, los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se superaron hasta a unos pocos metros de las pinzas.

El contratista observó que los cables de alimentación para la pistola de «tipo C» generaban campos magnéticos a su alrededor por encima del NA relativo a las extremidades y de los NA superior e inferior, mientras que los cables de la pistola «tipo X» no lo hacían. Efectivamente, el NA relativo a las extremidades se superaba hasta a 8 cm de los cables y los NA superior e inferior se superaban hasta a 12 cm de los cables. El contratista lo atribuía al hecho de que los cables de la pistola de «tipo C» llevaban la corriente de soldadura desde la unidad de control hasta la pistola, mientras que la de «tipo X», con el transformador situado en su interior, tiene un cable que únicamente lleva la corriente de la red de 50/60 Hz.

El contratista confirmó que la frecuencia fundamental de la corriente de soldadura para los equipos de soldadura por puntos del taller de reparación era de 2 kHz, aunque varios armónicos tenían una contribución importante a la exposición global. Para demostrarlo, la figura 6.13 presenta la distribución espectral de la forma de onda obtenida del equipo de soldadura del taller con la pistola de «tipo C» de 160 mm montada.

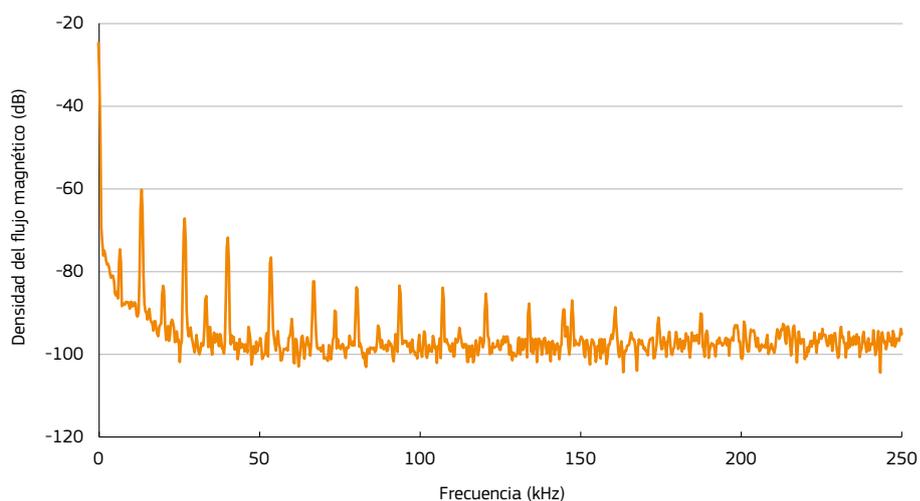
**Figura 6.13. Distribución espectral de la forma de onda de la pistola de «tipo C» de 160 mm.**



Con relación a los calentadores de inducción, dependiendo de su potencia, el NA relativo a las extremidades se superaba entre 7 y 11 cm desde el elemento de calentamiento hacia la mano del operario y el NA superior e inferior se superaba entre 13 y 18 cm desde el centro del elemento de calentamiento en todas direcciones.

La frecuencia fundamental de los calentadores variaba. El calentador de 1 kW tenía una frecuencia fundamental de 15 kHz y los calentadores de 4 kW y 10 kW utilizaban una frecuencia de 36 kHz. Al igual que en los equipos de soldadura, varios armónicos tenían una importante contribución a la exposición global en cada caso. Para demostrarlo, la figura 6.14 presenta la distribución espectral de la forma de onda obtenida con el calentador de inducción de 1 kW.

**Figura 6.14. Distribución espectral de la forma de onda del calentador de inducción de 1 kW**



## 6.8. Evaluación de riesgos

Dados los resultados de las mediciones, el contratista llegó a la conclusión de que, puesto que las pistolas de soldadura por puntos se sostenían en la mano, cerca del cuerpo, las exposiciones al campo magnético recibidas por los operarios era probable que superaran los NA correspondientes de la Directiva CEM, y posiblemente también el valor límite de exposición (VLE). Las mediciones alrededor de los cables de suministro de la pistola de «tipo C» indicaban asimismo que era posible que causaran exposiciones también por encima del NA correspondiente.

El contratista observó además que los campos magnéticos superaban los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo hasta a unos pocos metros de las pistolas de soldadura. Los niveles de referencia se pueden usar como un indicador grosero de la exposición de las personas con riesgos particulares en cuanto a los efectos indirectos de la exposición (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía).

Con relación a los calentadores de inducción, el contratista llegó a la conclusión de que los operarios que los utilizaban no estaban expuestos a campos por encima de los NA porque los elementos calefactores se mantenían a suficiente distancia de sus manos y su cuerpo durante la operación de calentamiento. Sin embargo, los campos magnéticos seguían siendo suficientes para superar los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo hasta a 0,5 m del calentador de 10 kW. Por lo tanto, el contratista recomendó que se prestara especial consideración a las personas con riesgos particulares en cuanto a los efectos indirectos de la exposición a los campos magnéticos producidos por los calentadores (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía).

Dadas estas conclusiones, el consultor elaboró una evaluación de riesgos específicos de CEM para el uso de los equipos de soldadura por puntos y los calentadores de inducción, empleando la metodología sugerida por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. Esto fue para determinar los pasos que había que dar para proteger a los operarios a fin de asegurar que no estaban expuestos a campos magnéticos por encima de los NA. La evaluación de riesgos específicos de CEM se muestra en el cuadro 6.2.

## 6.9. Precauciones ya adoptadas

Ninguna.

**Cuadro 6.2. Evaluación de riesgos específicos de CEM para el uso de equipos manuales de soldadura por puntos y calentadores de inducción del taller de reparación**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos de baja frecuencia	Ninguna. Manos y cuerpo suelen estar cerca de la pinza de soldadura para soportar el peso de la pistola durante la soldadura	Operarios del taller	✓				✓	Probable	Bajo	Cambios en el trabajo de soldadura: uso de contrapesos para soportar el peso de la pistola a fin de que los operarios puedan mantener las manos y el cuerpo separados de los electrodos de soldar
	Los elementos de calentamiento de los calentadores de inducción se mantienen normalmente separados del cuerpo		✓				✓	Probable	Bajo	Procedimientos normales para el trabajo de soldadura  Señales de advertencia en equipos de soldadura y calentadores  Formación de los operarios sobre el peligro del CEM
		Trabajadoras embarazadas	✓				✓	Probable	Bajo	Los equipos de soldadura/calentadores no deben ser manejados por mujeres embarazadas o en su proximidad
Efectos indirectos de baja frecuencia (interferencia con dispositivos médicos implantados activos)	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares		✓			✓	Probable	Bajo	Los equipos de soldadura/calentadores no deben ser manejados por operarios que lleven dispositivos médicos implantados activos o en su proximidad Formación de operarios sobre el peligro del CEM

## 6.10. Otras precauciones como consecuencia de las evaluaciones

Como resultado de la evaluación de riesgos, el director decidió adoptar las siguientes medidas de precaución:

- Dentro de lo posible, procurar que los operarios mantengan las manos y el cuerpo separados alejados de la pistola de soldar y, cuando sea necesario, alejados también de otros conductores y cables de alimentación. Por ejemplo, el director colocó contrapesos para colgar de ellos las pistolas de soldar por puntos. Así, los operarios ya no tenían que soportar el peso de las pistolas y podían permanecer siempre por detrás de la pistola y simplemente sostener su parte posterior para mantenerla en posición durante la soldadura.
- Colocar señales en los equipos de soldadura y calentadores advirtiendo de campos magnéticos intensos y prohibiendo su uso a las personas que lleven dispositivos médicos implantados activos (DMIA) o en presencia de tales personas, así como a las que tengan riesgos particulares, como las mujeres embarazadas. Ejemplos de los utilizados en los equipos de soldadura del taller de reparación se muestran en la figura 6.15.

**Figura 6.15. Ejemplos de señales de advertencia de campos magnéticos fuertes y de prohibición de uso del equipo de soldadura por personas que lleven DMIA, o en su presencia**



- Proporcionar información, incluyendo el resultado de la evaluación de riesgos, a los trabajadores.
- Proporcionar instrucción a los trabajadores sobre cómo mantener sus exposiciones por debajo de los NA de la Directiva CEM.
- Asegurar, por medio de los programas de inducción adecuados, que los demás trabajadores conocen los peligros de los campos magnéticos planteados por los equipos de soldadura y los calentadores.
- Revisar de forma regular la evaluación de riesgos.

## 6.11. Los equipos de soldadura por puntos en la fabricación de vehículos

Aunque los fabricantes internacionales de vehículos no pueden considerarse como empresas pequeñas o medianas, la importancia de la soldadura por puntos para esta industria es tal que los autores consideran conveniente incluir la evaluación por el contratista de algunos ejemplos de esos equipos de soldadura usados por un fabricante puntero.

### 6.11.1. Evaluación del equipo de soldadura por puntos en la fábrica

Se evaluaron tres equipos de soldadura por puntos: una pistola de «tipo C» con un brazo de 400 mm, una de «tipo X» con electrodos de 130 mm de largo y una de «tipo X» con electrodos de 700 mm de largo. Las dos más pequeñas trabajan con 8 400 A, la más grande con 10 200 A. Las tres pistolas tienen una frecuencia de trabajo de 50 Hz y se alimentan desde transformadores remotos mediante cables diseñados para reducir al mínimo la exposición al campo magnético. La pistola de «tipo C» de 400 mm y la de «tipo X» de 700 mm se muestran en las figuras 6.16 y 6.17.

Figura 6.16. La pistola de «tipo C» de 400 mm en la fábrica. Se mantiene la pinza en posición empleando las empuñaduras de la parte superior, una de las cuales es visible en la parte superior derecha de la figura (componente pulido y cromado). Esto da una indicación de la posición del operario en relación con la pinza durante la soldadura

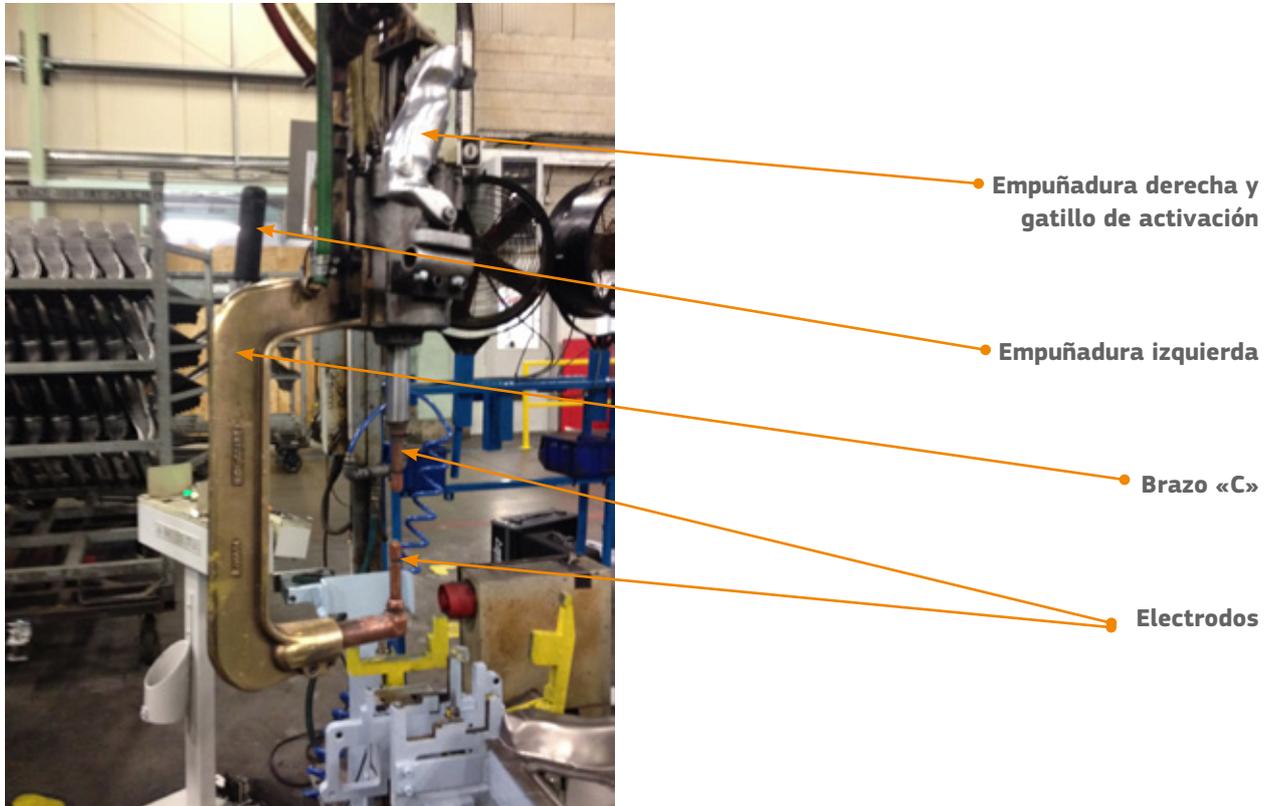
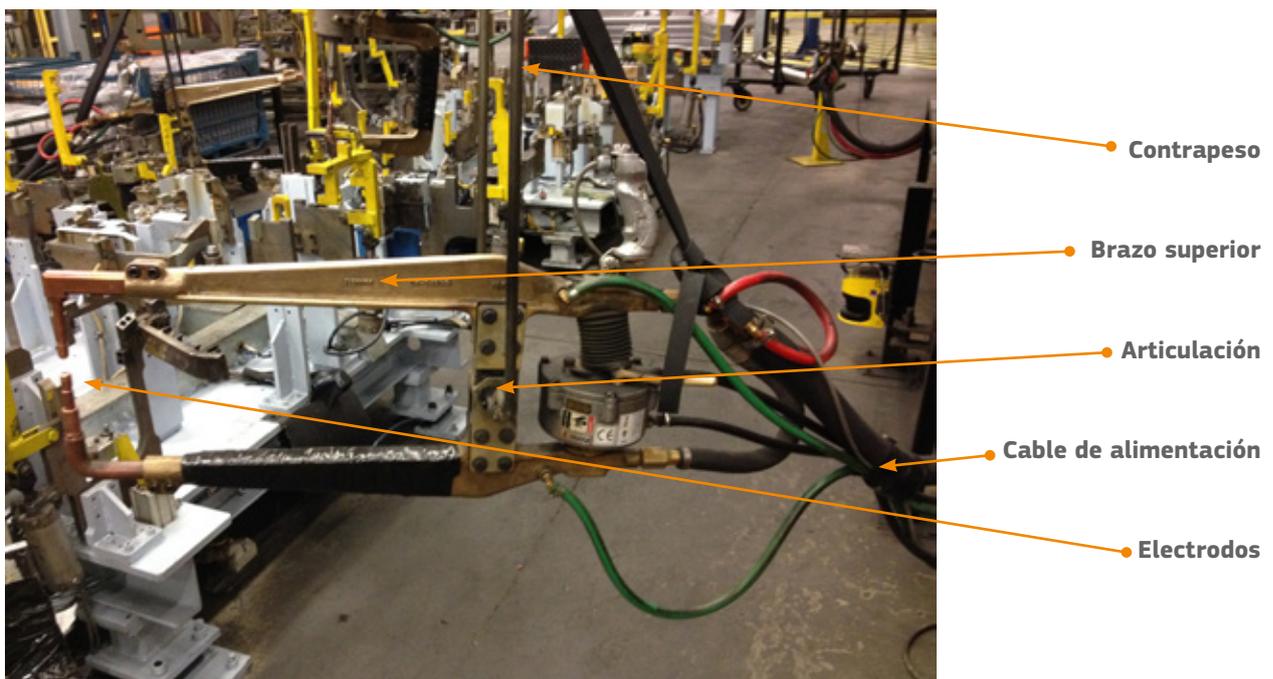


Figura 6.17. La pistola de «tipo X» de 700 mm en la fábrica. Aunque está suspendida de un contrapeso, el tamaño de la pistola significa que los trabajadores tienen que permanecer normalmente cerca de los electrodos para guiarlos y mantenerlos en posición



Se hicieron mediciones de la densidad de flujo magnético variable con el tiempo alrededor de las pistolas de soldar empleando un sensor isotrópico (de tres ejes). El instrumento disponía de un filtro electrónico incorporado con el que se obtuvo un resultado en términos porcentuales, calculado empleando el método de ponderación de picos a lo largo del tiempo y que, por lo tanto, permite la comparación directa con los NA de la Directiva CEM. El instrumento dispone también de un analizador espectral incorporado que permite analizar el contenido de armónicos de la forma de onda.

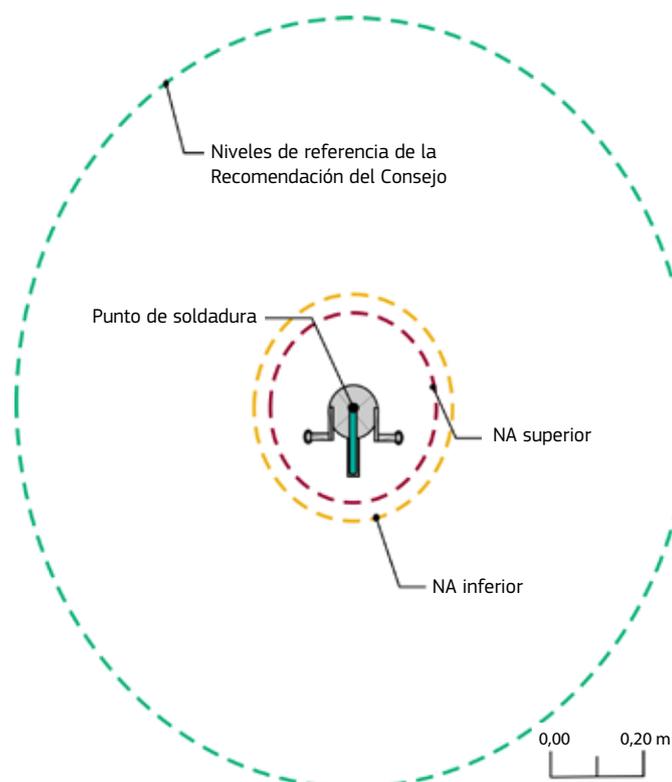
Los equipos de soldadura trabajan a 50 Hz. A esta frecuencia, los NA superior e inferior de la Directiva CEM son bastante diferentes. Por ello, las mediciones de la intensidad de campo magnético alrededor de las pistolas se presentan como un porcentaje de los dos NA, superior e inferior.

### 6.11.2. Resultados de las mediciones de los equipos de soldadura por puntos en la fábrica

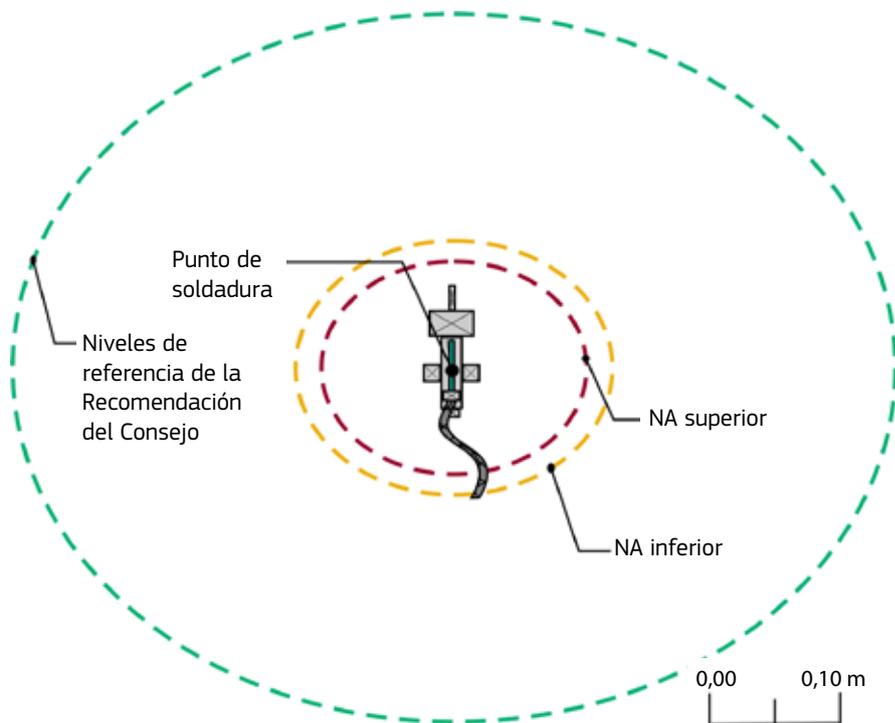
Los resultados obtenidos en las mediciones se muestran en las figuras y el cuadro siguientes. En todos los casos, se tomaron las mediciones mientras se utilizaba el equipo de soldadura de una forma habitual para el trabajo que se realizaba.

Las figuras 6.18 a 6.20 muestran la extensión de la zona alrededor de cada pistola de soldar en que se superaron los NA superior e inferior de la Directiva CEM y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. En todos los casos, los contornos alrededor de las pistolas representan el 100 % del nivel relevante; el amarillo representa el NA superior de la Directiva CEM, el rojo el NA inferior de esa Directiva y el verde los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Además de estas figuras, el cuadro 6.3 muestra el resultado de una medición efectuada alrededor del cable de alimentación de la pistola de soldar de «tipo X».

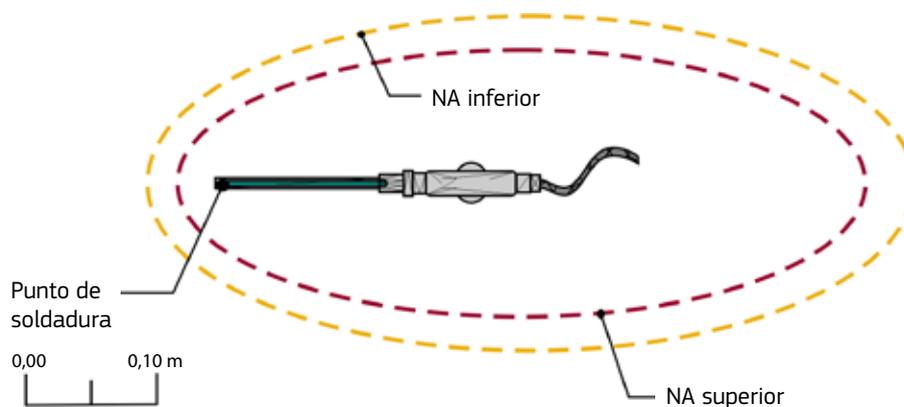
**Figura 6.18. Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación inferior (amarillo), el nivel de actuación superior (rojo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde) en torno a la pistola de soldar por puntos de «tipo C» de 400 mm de la fábrica**



**Figura 6.19.** Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación inferior (amarillo), el nivel de actuación superior (rojo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde) en torno a la pistola de soldar «tipo X» de 130 mm de la fábrica



**Figura 6.20.** Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación inferior (amarillo) y el nivel de actuación superior (rojo) en torno a la pistola de soldar por puntos de «tipo X» de 700 mm de la fábrica. En este caso, los contornos se extienden por detrás de la pistola debido a campos creados por conductores de la parte posterior de la misma



### Cuadro 6.3. Resultado de las mediciones en el cable entre la pistola de soldar de «tipo X» y el transformador elevado

Tipo de pinza	Intensidad de corriente (A)	Porcentaje de nivel de actuación inferior <sup>(1)</sup> 10 cm del cable
«tipo X» 130 mm	8 400	12

<sup>(1)</sup> Nivel de actuación inferior relativo a densidad de flujo magnético para frecuencias en el margen de 25 a 300 Hz: 1 000  $\mu$ T.

*N.B.:* Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm$  10 %, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA.

#### 6.11.3. Resultados de las mediciones de los equipos de soldadura por puntos en la fábrica en el contexto de los NA

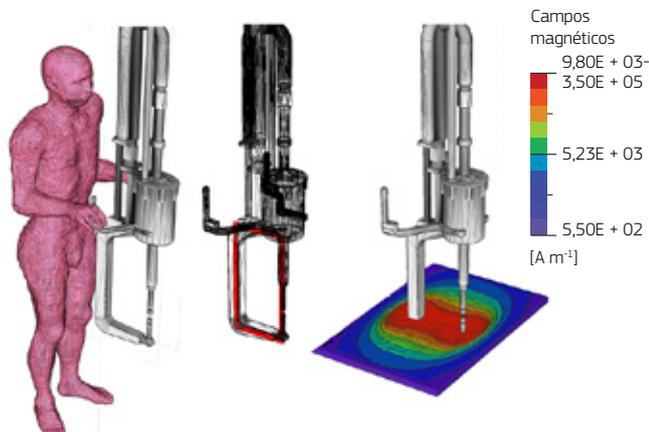
Se superó el NA inferior entre 37 y 147 cm y el NA superior entre 27 y 125 cm, ambos desde las pistolas. Debe observarse que el tamaño de la zona en el que se superaron los NA alrededor de la pistola de «tipo X» de 700 mm (figura 6.20) se debe no solo a los electrodos sino también a los conductores de la parte de atrás de la pistola. Además, los campos magnéticos superaban los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo hasta a varios metros de las pistolas de soldar (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía). Los cables de alimentación de las pistolas se habían diseñado para reducir al mínimo las exposiciones a los campos magnéticos y, en consecuencia, como puede verse en el cuadro 6.3, la exposición del cable estaba muy por debajo del NA inferior.

#### 6.11.4. Resultados de las mediciones de los equipos de soldadura por puntos en la fábrica en el contexto de los VLE

Los resultados indicaban que era probable que los trabajadores recibieran exposiciones muy por encima de los NA relevantes, ya que permanecían a menos de 10 a 20 cm de las pistolas. Sin embargo, aunque la empresa adoptó muchas de las medidas descritas en la sección 6.10 de este caso práctico, no fue posible que los trabajadores se retiraran en todos los casos fuera de las zonas que superaban los NA. De acuerdo con el artículo 4, apartado 3, de la Directiva CEM, el contratista llevó a cabo, por lo tanto, una modelización de ordenador para determinar si los VLE relevantes estaban siendo superados realmente.

El contratista empleó sus mediciones y observaciones para crear un modelo de la pistola de «tipo C» de 400 mm. Se utilizó entonces este modelo para calcular los campos magnéticos en las zonas alrededor de la pistola, incluidas las ocupadas por el trabajador, quien se añadió entonces al modelo. La figura 6.21 presenta los modelos finales de la pistola y el trabajador, junto con el modelo de la pistola mostrando el bucle de corriente (marcado en rojo) usado para simular la producción del campo magnético y la intensidad calculada del campo magnético en un plano x-y seleccionado.

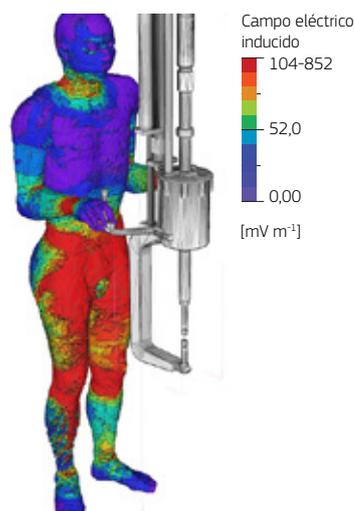
**Figura 6.21. Modelos de la pistola de soldar de «tipo C» de 400 mm y del trabajador que la maneja (izquierda), el bucle de corriente (brazo «C», en rojo) responsable del campo magnético (centro) y el campo magnético alrededor de la pistola en funcionamiento (derecha)**



Una vez modelizados la pistola y el trabajador, se efectuaron los cálculos numéricos de los campos eléctricos internos inducidos en el cuerpo. Los resultados de estos cálculos, que se basan en que el cuerpo esté a 15 cm del brazo de la pistola, se muestran en la figura 6.22. El rojo indica un campo eléctrico relativamente intenso, en tanto que el violeta indica un valor bajo. Puede verse que el campo es absorbido preferentemente en la cintura y la parte superior de las piernas del operario, que son las más próximas al bucle de corriente.

A una distancia de 15 cm, no se superaban los VLE relevantes y así se realizaron otros cálculos para determinar las distancias a las que se superarían los VLE. Los resultados de estos otros cálculos se presentan en el cuadro 6.4.

**Figura 6.22. Distribución espacial de los campos eléctricos inducidos máximos en un modelo humano expuesto a los campos magnéticos generados por la pistola de «tipo C» de 400 mm**



**Cuadro 6.4. Valor máximo de la intensidad del campo eléctrico interno como proporción del VLE relevante**

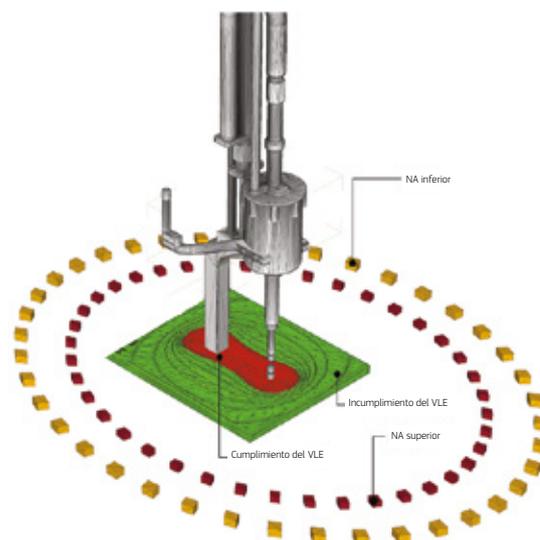
Separación entre el tronco del cuerpo humano y la pistola (cm)	15	7	4
Intensidad máxima del campo eléctrico inducido en el cuerpo humano ( $\text{mV m}^{-1}$ )	287	611	811
Porcentaje de VLE relacionados con efectos para la salud (%) <sup>(1)</sup>	37	79	104
Campo eléctrico inducido máximo en el sistema nervioso central ( $\text{mV m}^{-1}$ )	52	84	92
Porcentaje de VLE relacionados con efectos sensoriales (%) <sup>(2)</sup>	53	85	93

<sup>(1)</sup> El VLE relacionado con efectos sobre la salud para una frecuencia de 50 Hz es  $778 \text{ mV m}^{-1}$  (RMS).

<sup>(2)</sup> El VLE relacionado con efectos sensoriales para una frecuencia de 50 Hz es de  $99 \text{ mV m}^{-1}$  (RMS).

El cuadro 6.4 muestra que, si el trabajador está manejando la pistola a 15 cm del cuerpo, el valor máximo del campo eléctrico inducido es de  $287 \text{ mV m}^{-1}$ , lo que representa un 37 % del VLE de efectos sobre la salud. Para los tejidos del sistema nervioso central en la cabeza, el valor máximo del campo eléctrico inducido es de  $52 \text{ mV m}^{-1}$ , lo que representa el 53 % del VLE de efectos sensoriales. Los resultados muestran que el VLE de efectos sobre la salud solo se supera realmente cuando la distancia del cuerpo a la pistola se reduce a unos 4 cm. Esto significa que, aunque los trabajadores estén expuestos a campos magnéticos que superen los NA, los campos eléctricos internos inducidos no superan los VLE. La diferencia en el tamaño de las zonas que superan los NA en comparación con el tamaño de la zona en que el operario superaría realmente el VLE de efectos sobre la salud se muestra en la figura 6.23 siguiente.

**Figura 6.23. Representación visual de la zona alrededor de la pistola de «tipo C» de 400 mm en la que se podría superar el VLE de efectos sobre la salud (zona roja dentro de la zona verde), junto con los contornos de los niveles de actuación superior e inferior (rojo y amarillo respectivamente) de la figura 6.18**



En resumen, en este caso parece que los NA ofrecen una predicción conservadora de la sobreexposición y que la situación de exposición cumple realmente con la Directiva CEM.

## 7. SOLDADURA

### 7.1. Lugar de trabajo

Este caso práctico hace referencia a un taller de fabricación metálica, en el que se utilizan una serie de máquinas de soldadura por resistencia.

### 7.2. Naturaleza del trabajo

Los trabajadores utilizan equipos de soldadura por puntos y de soldadura en cordón para soldar alambres y chapas metálicas. Hay varias de estas máquinas en el taller.

### 7.3. Información sobre los equipos que producen CEM

Los equipos de soldadura por resistencia se componen de dos electrodos, que se aprietan conjuntamente sobre los componentes que se van a soldar. Se hace pasar una corriente a través de los electrodos y los componentes y se produce el calor requerido para la soldadura mediante la resistencia eléctrica de los componentes. Se elige el ajuste del equipo para que corresponda a las propiedades de los componentes a soldar.

#### 7.3.1. Equipos de soldadura por puntos

Los equipos de soldadura por puntos se componen de dos pequeños electrodos cilíndricos que aprisionan los componentes y que aplican una corriente de intensidad elevada para producir un punto de soldadura. La empresa utiliza dos tipos de equipos de soldadura por puntos: equipos de soldadura por puntos de banco y equipos de soldadura por puntos portátiles suspendidos.

El equipo de soldadura por puntos de banco (figura 7.1) se usa normalmente para soldar alambres de acero inoxidable de 1,2 mm para el trocánter. Este equipo se ha diseñado para utilizarse en un banco con el operario colocado delante de la unidad. Funciona normalmente con el 19 % de la intensidad de corriente máxima disponible (3 500 A), es decir, 665 A y utiliza una alimentación eléctrica de 50 Hz. El equipo de soldadura por puntos portátil suspendido (figura 7.2) se utiliza para soldar chapas metálicas. Se compone de brazos de electrodo, que se mueven en un movimiento de pinza para aprisionar las puntas de los electrodos sobre el componente. Trabaja normalmente a 7 000 A y utiliza una alimentación eléctrica de 2 kHz.

**Figura 7.1. Equipo de soldadura por puntos de banco****Electrodos de soldadura****Figura 7.2. Equipo de soldadura por puntos suspendido portátil**

### 7.3.2. Equipos de soldadura en cordón

El equipo de soldadura en cordón se utiliza para soldar piezas metálicas. Los electrodos tienen forma de disco y giran según pasa el material entre ellos, con lo que la soldadura en cordón se forma progresivamente. Trabaja normalmente a 7 000 A y utiliza una alimentación eléctrica de 50 kHz (figura 7.3).

**Figura 7.3. Vistas frontal y lateral del equipo de soldadura en cordón**



## 7.4. Cómo se utilizan las aplicaciones

Los operarios de las máquinas de soldar permanecen normalmente de pie o sentados al lado de las máquinas durante la soldadura, con las manos lo más cerca posible de las máquinas. En el caso del equipo de soldar de banco y el de soldadura en cordón, el operario sostiene el material que se suelda, lo que significa que puede tener las manos a solo 10 cm de los electrodos de soldadura. En el caso del equipo de soldadura portátil suspendido, el material que se va a soldar se coloca en posición y el operario permanece de pie próximo a la máquina de soldar, para sostenerla en posición. Todos los equipos de soldadura se encuentran en un taller junto con otras máquinas y herramientas empleadas en la fabricación de componentes metálicos.

## 7.5. Método para la evaluación de la exposición

La empresa examinó los datos de los fabricantes de los distintos equipos. En algunos manuales de usuario había indicación de que el equipo podía producir campos magnéticos que presentarían un peligro para quienes llevaran marcapasos. Sin embargo, la empresa no pudo encontrar ninguna información sobre el alcance de este peligro (por ejemplo, hasta dónde llegaba) ni sobre el nivel de los campos magnéticos en el contexto de los niveles de actuación de la Directiva CEM. En el caso de algunos de los equipos más antiguos, la empresa no pudo encontrar ningún dato del fabricante.

El equipo de soldar está en el taller, al que tienen acceso la mayoría de los trabajadores y donde pueden entrar contratistas y visitantes extraños. Por lo tanto, la empresa decidió llevar a cabo otras evaluaciones de riesgos. En ausencia de otras informaciones de los fabricantes de los equipos, encargó a un consultor experto que efectuara la evaluación.

Se seleccionaron para evaluación ulterior tres tipos distintos de equipo de soldadura de resistencia, ya que los resultados darían una buena indicación de cualquier peligro asociado a equipos similares del taller. El consultor midió la densidad de flujo magnético alrededor del equipo empleando un instrumento con un filtro electrónico incorporado que daba un resultado en términos porcentuales, obtenido empleando el método de ponderación de picos a lo largo del tiempo y que permitía, por tanto, la comparación directa con los NA.

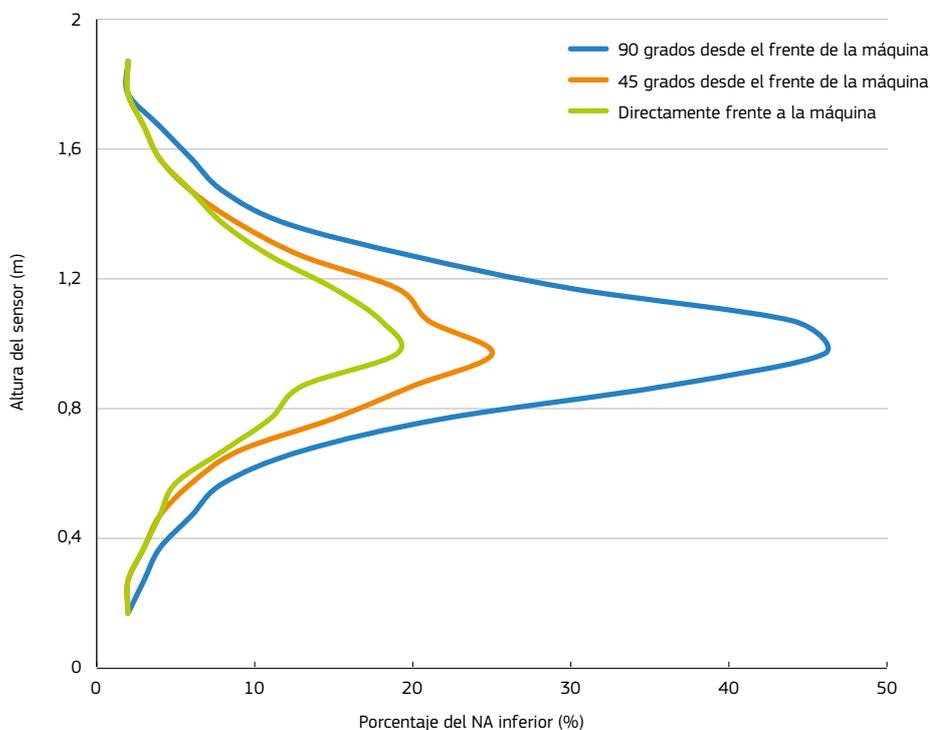
## 7.6. Resultados de la evaluación de la exposición

### 7.6.1. Equipo de soldadura de banco

El consultor observó al operario que utilizaba el equipo soldador de banco. Se fijó en que mantenía la cabeza y el tronco a 30 cm por lo menos de los electrodos durante la maniobra y en que podía estar situado a un costado del equipo, en vez de directamente delante del mismo. Por lo tanto, se hicieron las mediciones en tres posiciones a 30 cm de los electrodos: directamente delante de los electrodos, a 45 grados del frente (hacia la izquierda) de los electrodos y a 90 grados del frente (a la izquierda) de los mismos. En cada una de las posiciones se efectuaron mediciones a diversas alturas.

Se observó que la densidad de flujo magnético no superó 50 % del NA inferior en ninguna de esas posibles posiciones del operario (figura 7.4).

**Figura 7.4. Densidad de flujo magnético como porcentaje del nivel de actuación inferior, en función de la altura de la posición del operario (a 30 cm de los electrodos)**



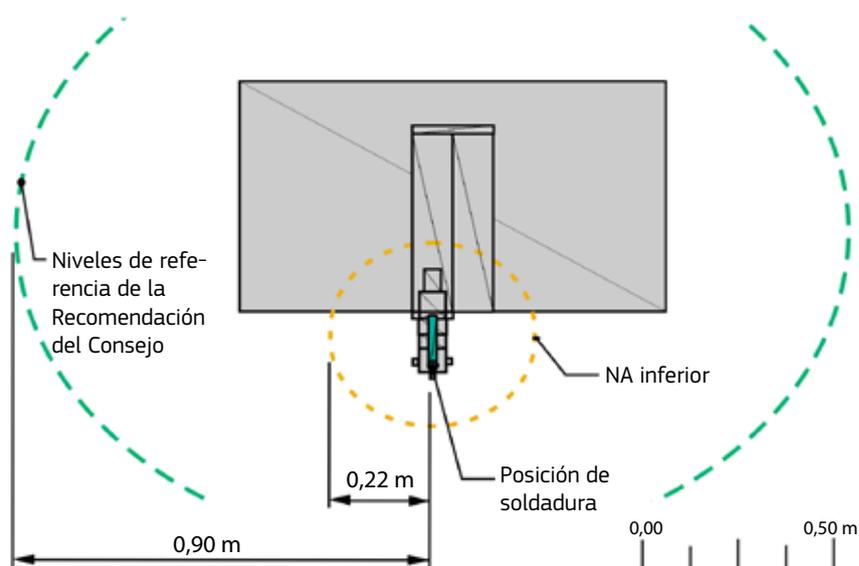
*N.B.:* Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA.

La posición en la que la densidad de flujo magnético era igual al NA inferior era a unos 22 cm de los electrodos y a la altura a la que se encontraban estos. La zona en que se podía superar el NA inferior se presenta en la figura 7.5.

Se observó que las manos del operario estaban por lo menos a 10 cm de los electrodos durante la operación de soldar. En esta posición, la densidad de flujo magnético era inferior al 8 % del NA relativo a las extremidades.

El consultor hizo mediciones en otras diversas posiciones alrededor del equipo y comparó los resultados con los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Esos valores se pueden usar como un indicador grosero de la exposición de los trabajadores con riesgos particulares (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía). Se observó que los niveles de referencia podían superarse hasta a 1 m de los electrodos. Se muestra esta zona en la figura 7.5, representándose por una línea verde.

**Figura 7.5. Vista en planta que muestra el contorno dentro del cual podrían superarse en torno al equipo de soldadura de banco el nivel de actuación inferior (amarillo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde)**

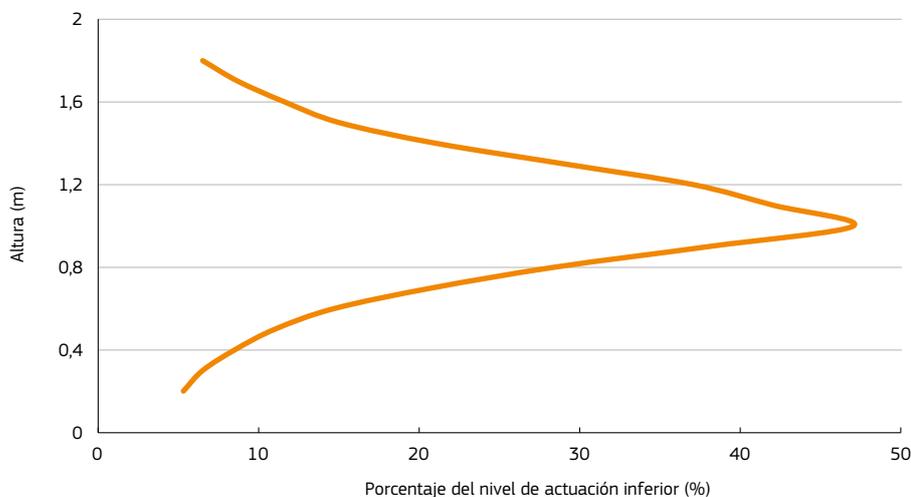


### 7.6.2. Equipo de soldadura por puntos suspendido portátil

El operario sostiene el soldador de puntos en su posición durante la operación de soldadura. A causa de la longitud de los brazos de electrodos (75 cm), el operario permanece a 1 m aproximadamente de las puntas de los electrodos. En esta posición se efectuaron mediciones a diversas alturas.

La medición mayor fue a la altura a que se encontraban los electrodos (lo que se producía a 1 m del suelo durante esta evaluación). Se observó que la densidad de flujo magnético no superaba el 50 % de los NA en la posición del operario (figura 7.6).

**Figura 7.6. Densidad de flujo magnético como porcentaje del nivel de actuación superior e inferior, en función de la altura de la posición del operario (a 1 m de las puntas de los electrodos)**



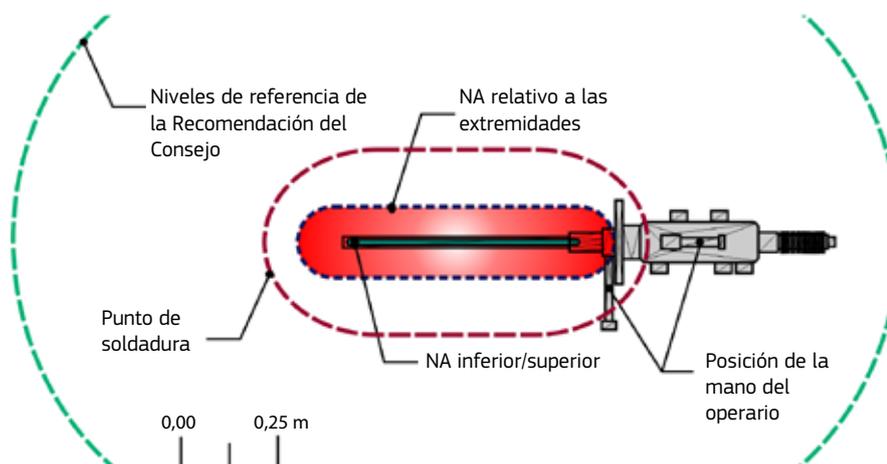
*N.B.:* Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA.

Se efectuaron las mediciones en la posición de la mano del operario (figura 7.2). En esta posición, la densidad de flujo magnético era del 88 % del NA relativo a las extremidades en esta posición.

El consultor hizo mediciones en otras diversas posiciones alrededor del equipo y comparó los resultados con los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Se observó que los niveles de referencia podían superarse hasta a una distancia máxima de 1,3 m del equipo.

Las zonas en las que podrán superarse los NA relativos a las extremidades, los NA superior e inferior y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se muestran en la figura 7.7 y se representan por los contornos azul, rojo y verde, respectivamente.

**Figura 7.7. Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación relativo a las extremidades (azul), los niveles de actuación superior e inferior (rojo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde) en torno al equipo de soldar por puntos suspendido portátil**

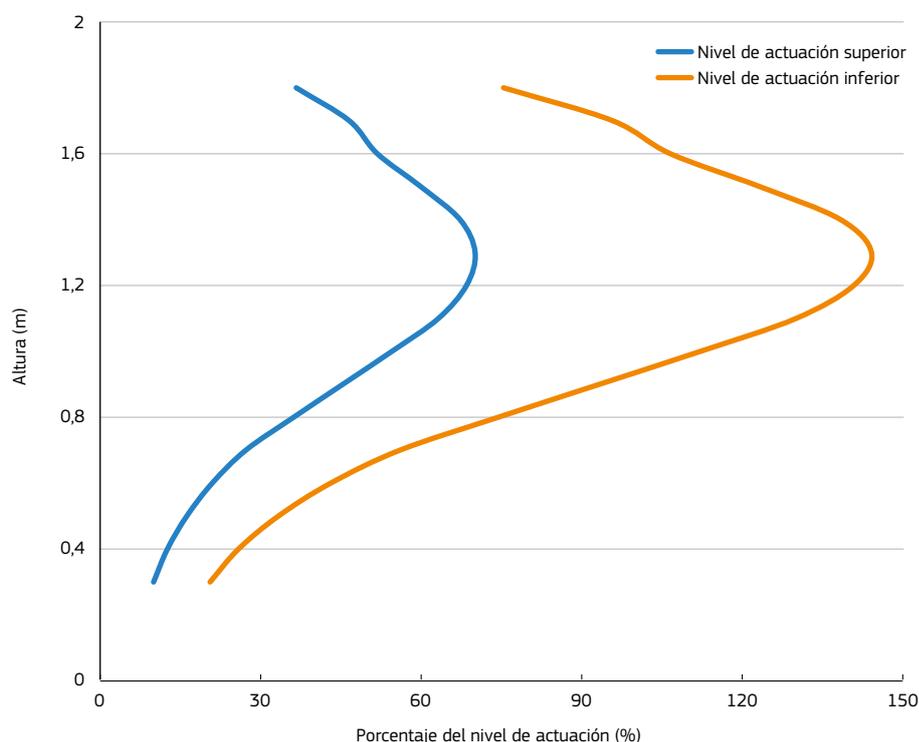


### 7.6.3. Soldadoras en cordón

El operario permanece de pie a un lado del equipo, con la cabeza y el tronco por lo menos a 50 cm del centro de los electrodos mientras está soldando. Las mediciones se efectuaron en esta posición a diversas alturas.

La medición mayor fue a la altura a la que se encontraban los electrodos (a 130 cm del suelo). En esta posición no se superó el NA superior; en cambio, se midió que la densidad de flujo magnético era aproximadamente el 140 % del NA inferior (figura 7.8).

**Figura 7.8. Densidad de flujo magnético como porcentaje de los niveles de actuación superior e inferior, en función de la altura en la posición del operario (a 50 m de las puntas de los electrodos, hacia un lado)**



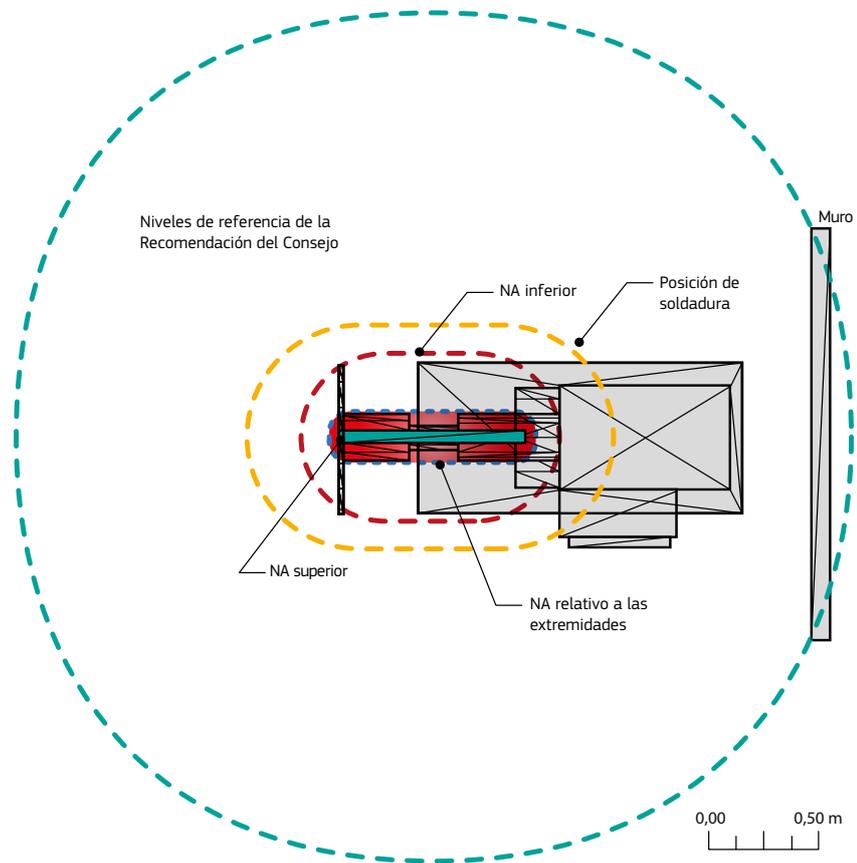
*N. B.:* Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10\%$ , y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA.

Se efectuaron las mediciones en la posición de la mano del operario más próxima a los electrodos (aproximadamente a 10 cm del punto de soldadura). En esta posición, la densidad de flujo magnético era inferior al 67 % del NA relativo a las extremidades. Sin embargo, se observó que se podía superar este NA si las extremidades estaban colocadas detrás de los electrodos del equipo, en vez de a los lados.

De forma similar a lo ocurrido con el equipo de soldadura por puntos, el consultor hizo mediciones en otras diversas posiciones alrededor del equipo y comparó los resultados con los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Se observó que los niveles de referencia podían superarse hasta a 2,45 m de los electrodos.

Las zonas en las que se podían superar los NA relativos a las extremidades, los NA superior e inferior y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo se muestran en la figura 7.9.

**Figura 7.9. Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse el nivel de actuación relativo a las extremidades (azul), el nivel de actuación superior (rojo), el nivel de actuación inferior (amarillo) y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (verde) en torno al equipo de soldadura en cordón**



## 7.7. Evaluación de riesgos

La empresa realizó evaluaciones de riesgos específicos de CEM de sus equipos de soldadura basándose en el examen de los manuales de usuario y en las mediciones efectuadas por el consultor (cuadros 7.1, 7.2 y 7.3). Estas fueron coherentes con la metodología propuesta por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. La evaluación de riesgos llegó a la conclusión de que:

- en la posición típica del operario, no se superarían el NA superior ni el NA relativo a las extremidades;
- se podía superar el NA inferior en la posición del operario cuando trabajaba con el equipo de soldadura en cordón;
- se podían superar los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo alrededor de cada máquina de soldar.

La empresa elaboró y documentó un plan de actuación a partir de la evaluación de riesgos.

**Cuadro 7.1. Evaluación de riesgos específicos de CEM del equipo de soldadura de banco**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
<p>Efectos directos del CEM:</p> <p>El nivel de actuación inferior podría superarse hasta a 22 cm de los electrodos</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1 m de los electrodos</p>	<p>La posición típica del operario está a más de 30 cm de los electrodos, lo que supone que no debería superarse el nivel de actuación inferior.</p>	<p>Operarios</p> <p>Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)</p>	✓				✓	<p>Bajo</p>	<p>se debe proporcionar información y formación que a los operarios y otros trabajadores del taller</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia</p> <p>Debe pintarse una línea de demarcación en el suelo para identificar la zona en la que pueden superarse los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo</p> <p>Debe prohibirse que las trabajadoras embarazadas utilicen el equipo o que crucen la línea de demarcación mientras se esté usando</p>	
<p>Efectos indirectos del CEM (efecto en dispositivos médicos implantados activos):</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1 m de los electrodos</p>	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares	✓				✓	Bajo	<p>Debe comunicarse información sobre este peligro que a todos los trabajadores</p> <p>Deben incluirse advertencias en la información de seguridad del emplazamiento</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia y prohibición</p> <p>Debe prohibirse que los trabajadores con DMIA utilicen el equipo o que crucen la línea de demarcación mientras se esté usando</p>	

**Cuadro 7.2. Evaluación de riesgos específicos de CEM del equipo de soldadura por puntos suspendido portátil**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
<p>Efectos directos del CEM:</p> <p>Los niveles de actuación superior e inferior podrían superarse hasta a 33 cm de los brazos de los electrodos</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1,3 m del equipo</p>	Ninguna. Sin embargo, está localizada la zona en la que se superan los niveles de actuación superior e inferior	<p>Operarios</p> <p>Otros trabajadores</p> <p>Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)</p>	✓				✓	Bajo	<p>Se debe proporcionar información y formación que a los operarios y otros trabajadores del taller</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia</p> <p>Debe pintarse una línea de demarcación en el suelo para identificar la zona en la que pueden superarse los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo</p> <p>Debe prohibirse que las trabajadoras embarazadas utilicen el equipo o que crucen la línea de demarcación mientras se esté usando</p>	
<p>Efectos indirectos del CEM (efecto en los DMIA):</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 1,3 m de los electrodos</p>	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares	✓				✓	Bajo	<p>Debe comunicarse información sobre este peligro a todos los trabajadores</p> <p>Deben incluirse advertencias en la información de seguridad del emplazamiento</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia y prohibición</p> <p>Debe prohibirse que los trabajadores con DMIA utilicen el equipo o que crucen la línea de demarcación mientras se esté usando</p>	

**Cuadro 7.3. Evaluación de riesgos específicos de CEM de los equipos de soldadura en crodón**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
<p>Efectos directos del CEM:</p> <p>El NA inferior se supera en la posición del operario</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 2,45 m de los electrodos</p>	Ninguna	<p>Operarios</p> <p>Otros trabajadores</p> <p>Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)</p>	✓					✓	Bajo	<p>Se debe proporcionar información y formación a los operarios y otros trabajadores, especialmente por lo que se refiere a posibles efectos sensoriales y la necesidad de informar de cualquier experiencia de estos efectos</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia</p> <p>Debe pintarse una línea de demarcación en el suelo para identificar la zona en la que pueden superarse los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo</p> <p>Debe prohibirse que las trabajadoras embarazadas utilicen el equipo o que crucen la línea de demarcación mientras se esté usando</p>
<p>Efectos indirectos del CEM (efecto en los DMIA):</p> <p>Los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo podrían superarse hasta a 2,45 m de los electrodos</p>	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares	✓				✓		Bajo	<p>Debe comunicarse información sobre este peligro a todos los trabajadores</p> <p>Deben incluirse advertencias en la información de seguridad del emplazamiento</p> <p>Deben colocarse en el equipo señales de advertencia y prohibición en este sentido</p> <p>Debe prohibirse que los trabajadores con DMIA utilicen el equipo o que crucen la línea de demarcación mientras se esté usando</p>

## 7.8. Precauciones ya adoptadas

Antes de la evaluación de las mediciones por el consultor, no se tomaban precauciones específicas para limitar la exposición a los CEM.

## 7.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

Como consecuencia de la evaluación de las mediciones efectuadas y tras valorar los peligros asociados al equipo, la empresa elaboró un plan de actuación y decidió:

- proporcionar información a los trabajadores sobre el peligro de CEM asociado al equipo de soldadura;
- pintar líneas de demarcación en el suelo alrededor del equipo para indicar dónde podrían superarse los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo;
- prohibir a las trabajadoras embarazadas y los trabajadores con DMIA que utilicen el equipo de soldadura o que crucen las líneas de demarcación;
- poner señales en el equipo de soldadura advirtiendo de la presencia de campos magnéticos intensos, así como señales de prohibición para las personas que lleven DMIA (figura 7.10);
- asegurar mediante los adecuados programas de preparación para el personal nuevo y contacto con los contratistas que las personas que entren en el taller conozcan estos riesgos.

**Figura 7.10. Ejemplos de señales de advertencia de campos magnéticos intensos e ilustración del símbolo de prohibición para las personas que lleven DMIA**



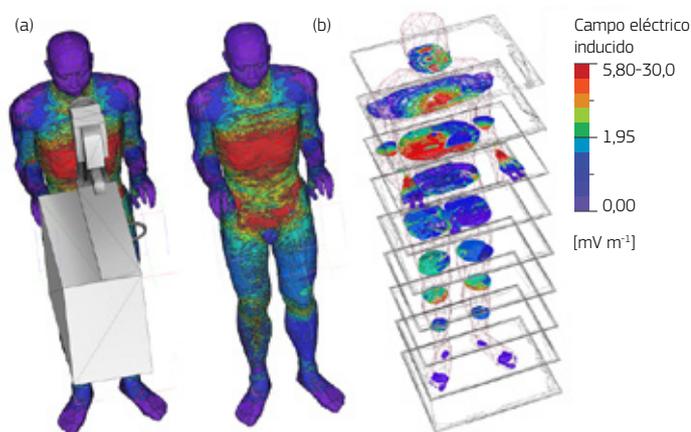
## 7.10. Referencia a fuentes de información adicional

Una modelización por ordenador basada en los resultados de las mediciones alrededor de las tres máquinas de soldar confirma que los campos eléctricos inducidos cumplían los VLE.

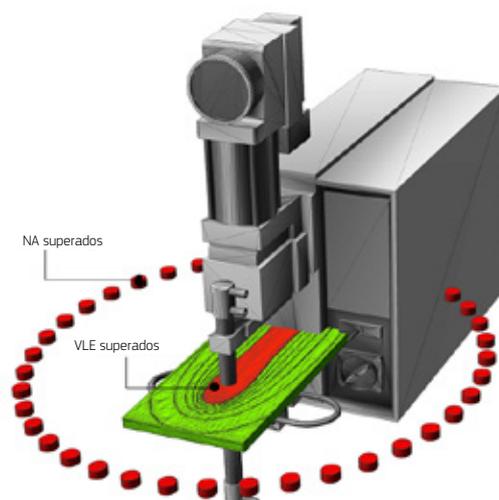
### 7.10.1. Equipo de soldadura por puntos de banco

Con el equipo de soldadura por puntos de banco, se observó que la exposición del operario sería inferior al 1 % del VLE (figura 7.11). Solo se podría superar el VLE si el cuerpo se encontrara dentro de la separación entre los electrodos y la carcasa del equipo soldador o a menos de 1 cm de los propios electrodos mientras estaba funcionando la unidad (figura 7.12).

**Figura 7.11. Distribución del campo eléctrico inducido en el modelo humano con el tronco a 20 cm de los electrodos y las manos a una distancia de unos 8 cm. La figura muestra asimismo la distribución espacial de los campos eléctricos internos máximos inducidos en el operario por la exposición al equipo soldador por puntos (a) en la superficie del cuerpo y (b) en varias capas horizontales dentro del cuerpo**



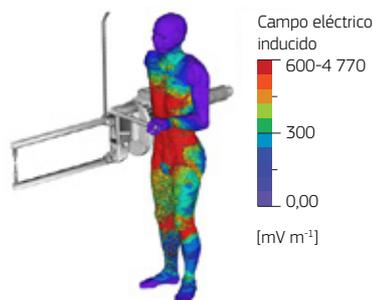
**Figura 7.12. Contorno alrededor del equipo soldador por puntos de banco, que muestra las regiones en las que podrían superarse los VLE relacionados con efectos para la salud (zona roja). También se muestran las regiones en las que no se superan los VLE relacionados con efectos para la salud (zona verde y más lejos) y el área en la que se puede superar el nivel de actuación inferior (círculos rojos)**



### 7.10.2. Equipo de soldadura por puntos suspendido portátil

Con el equipo de soldadura por puntos suspendido portátil se observó que los NA no se superaban en la posición del operario. En todo caso, se muestra en la figura 7.13 la distribución del campo eléctrico inducido.

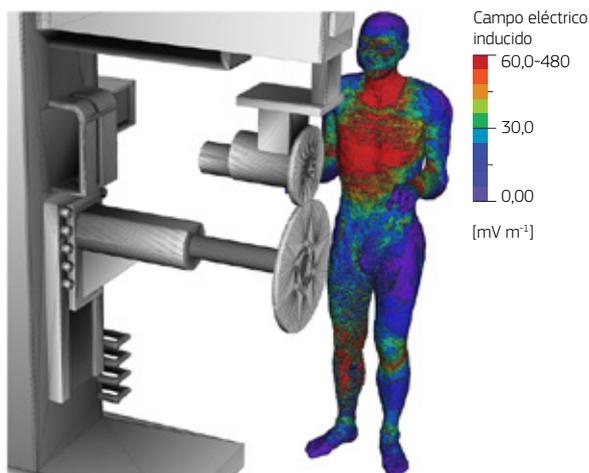
**Figura 7.13. Distribución espacial de los campos eléctricos inducidos máximos en un modelo humano cuando se expone al equipo de soldadura por puntos suspendido portátil**



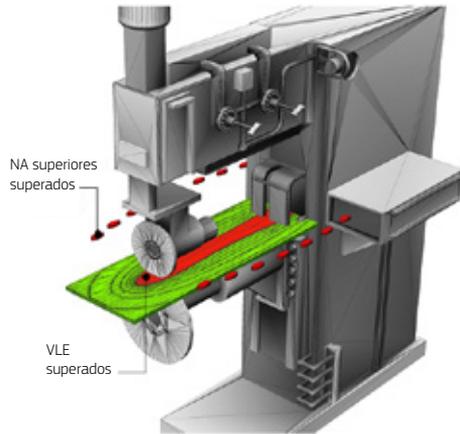
### 7.10.3. Soldadora en cordón

El NA inferior se superaba en la posición del operario. Sin embargo, el modelo de ordenador muestra que la exposición en la posición del operario es menos del 50 % del VLE. La distribución del campo eléctrico inducido se muestra en la figura 7.14. Se observó que solo se podría superar el VLE si el cuerpo se encontrara dentro de la separación entre los electrodos y la carcasa del equipo soldador o a menos de 5 cm de los propios electrodos de rueda mientras estaba funcionando la unidad. Se muestra esta región en la figura 7.15.

**Figura 7.14. Distribución espacial de los campos eléctricos internos máximos inducidos en el modelo humano por la exposición al equipo de soldadura en cordón**



**Figura 7.15. Contorno alrededor del equipo soldador en cordón que muestra las regiones en las que podrían superarse los VLE relacionados con efectos para la salud (zona roja). También se muestran las regiones en las que no se superan los VLE relacionados con efectos para la salud (zona verde y más allá) y el área en la que se puede superar el nivel de actuación superior (trazos rojos)**



## 8. FABRICACIÓN METALÚRGICA

Las fuentes de CEM son en este caso práctico las siguientes:

- hornos de inducción,
- hornos de arco,
- un analizador de carbono y azufre que incorpora un pequeño horno.

### 8.1. Lugar de trabajo

Las fuentes de CEM estaban en uso en varios lugares de trabajo de la fábrica que producían metales y aleaciones especiales para diversas industrias. Los lugares de trabajo de interés eran los siguientes:

- una instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones,
- una instalación de producción de ferro-titanio,
- una gran instalación eléctrica de fundición,
- una instalación de horno de arco,
- un laboratorio de servicios de análisis.

### 8.2. Naturaleza del trabajo

Se fabricaban metales y aleaciones a partir de materias primas en varias zonas de la factoría, y la empresa llevaba también a cabo pruebas analíticas en laboratorio.

La mayor parte del trabajo objeto de este caso práctico precisaba la carga manual de hornos, lo que, dependiendo del equipo, en ocasiones se hacía mientras estaban funcionando.

Los trabajos de mantenimiento y reparación de los equipos se llevaban a cabo únicamente cuando estaban apagados, debido a otros posibles riesgos, como choques eléctricos, quemaduras, impactos de maquinaria en movimiento, etc.

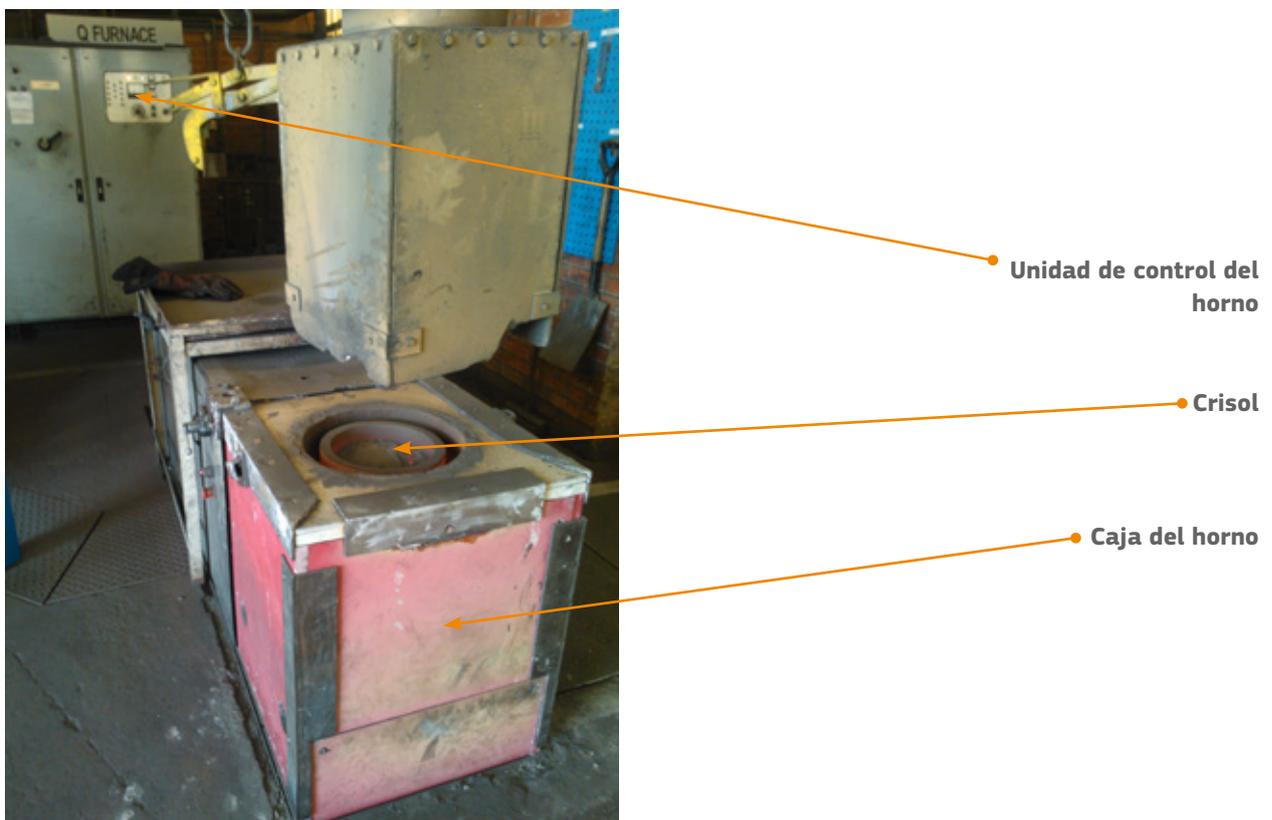
### 8.3. Información sobre los equipos que producen CEM y sobre cómo se utilizan

#### 8.3.1. Instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones

Esta instalación producía aleaciones en un pequeño horno de inducción (de unos 30 cm de diámetro). El horno trabajaba a frecuencias comprendidas entre 2,4 y 2,6 kHz y con potencias entre 60 y 160 kW. El horno se muestra en la figura 8.1 y se describe a continuación el método de manejo:

- se carga en el horno un crisol que contiene hasta 45 kg de la materia prima;
- el operario selecciona una potencia de 60 kW y se enciende el horno, que trabaja a una frecuencia de 2,42 kHz;
- la potencia aumenta automáticamente hasta 160 kW en un intervalo de unos 25 minutos;
- la frecuencia aumenta también a 2,6 kHz durante ese tiempo;
- tras unos 25 minutos, el operario disminuye la potencia a 80 kW;
- pasados cinco minutos más, el operario apaga el horno y retira el crisol.

**Figura 8.1. Horno de inducción de una instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones**



### 8.3.2. Instalación de producción de ferro-titanio

En esta instalación había dos hornos de inducción de 1,5 toneladas de capacidad, alimentados por una sola unidad de control de potencia inductiva variable (VIP). Los hornos trabajaban a frecuencias comprendidas entre 217 y 232 Hz y con una potencia de 600 kW. Los crisoles se cargaban de forma manual, normalmente mientras los hornos estaban funcionando.

### 8.3.3. Gran instalación eléctrica de fundición

Había 10 hornos de inducción en esta instalación, cada uno de ellos con una capacidad de 1,5 toneladas y trabajando a una frecuencia de 50 Hz. Las bobinas de inducción formaban parte de los crisoles, de forma que se les podía aplicar corriente y mantener el metal fundido cuando se vertía.

Los crisoles se colocaban en una plataforma elevada con sus partes superiores a nivel con la plataforma y los operarios los cargaban usualmente a mano desde la plataforma durante el proceso de fundición. Al final de este proceso, se volcaban los crisoles y se vertía el metal fundido.

Los hornos trabajaban a potencias comprendidas entre 70 y 1 300 kW. La potencia aplicada a los hornos variaba a lo largo del proceso de fundición, disminuyendo hacia el final, ya que se necesitaba menos potencia para mantener el metal fundido una vez que se había logrado fundirlo totalmente.

La potencia se suministraba a los hornos desde transformadores situados en subterráneos debajo de los mismos. Los transformadores y las barras ómnibus se encontraban en jaulas y su acceso estaba restringido mediante un sistema de llaves de seguridad. Las unidades de control VIP se encontraban en salas de control de la plataforma de hornos.

#### 8.3.4. Instalación de horno de arco

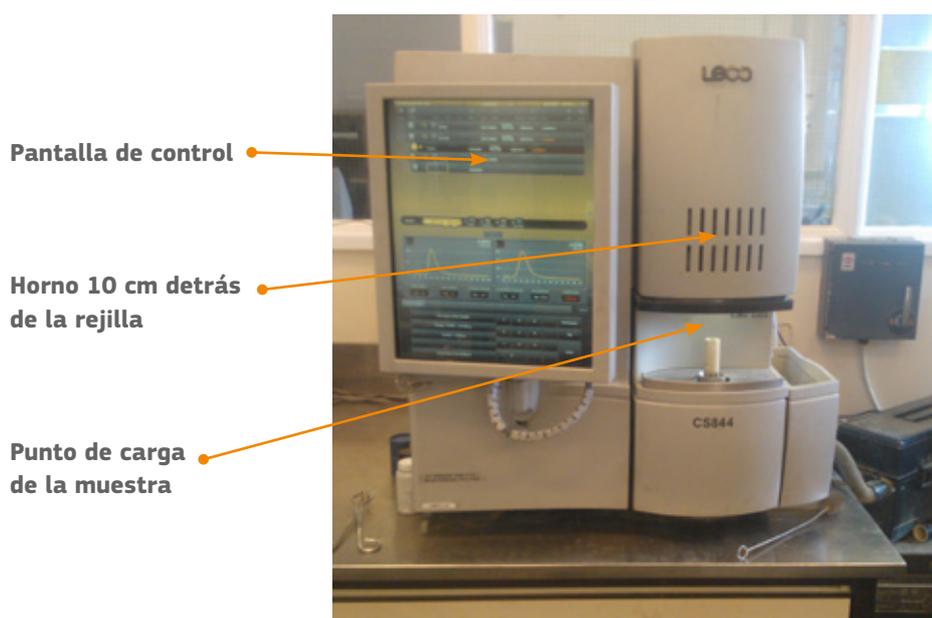
En esta instalación había dos hornos de arco que producían níquel-boro y cromo-boro, trabajando a una frecuencia de 50 Hz. Los hornos eran de lotes continuos y producían cerca de 1 tonelada de producto por lote. Se cargaban a mano y se manejaban desde las salas de control.

Trabajaban a potencias comprendidas entre 500 y 1 000 kW. Los transformadores y las barras ómnibus que suministraban corriente a los hornos se encontraban en jaulas y su acceso estaba restringido mediante un sistema de llaves de seguridad.

#### 8.3.5. Laboratorio de servicios de análisis

En este laboratorio se utilizaba un analizador de banco para carbono y azufre. El analizador incluía un pequeño horno de 2,2 kW que trabajaba a una frecuencia de 18 MHz. Las muestras que cargaba el operario en el analizador se elevaban al centro de la bobina del horno, que se encontraba dentro del analizador, a unos 10 cm dentro de la caja. Se conectaba entonces el horno durante alrededor de un minuto mientras se efectuaba el análisis. Se sacaba después la muestra del horno y la recuperaba el operario. Todo el proceso, desde la carga de la muestra hasta su recuperación, se realizaba automáticamente y el operario no necesitaba permanecer cerca del analizador mientras estaba funcionando. En la figura 8.2 se muestra el analizador.

**Figura 8.2** Analizador de carbono y azufre del laboratorio de servicios analíticos



## 8.4. Método para la evaluación de la exposición

Las mediciones de las exposiciones las realizó un consultor experto empleando instrumentos especiales. Debido al tamaño de la fábrica y a las numerosas zonas de trabajo en las que podían generarse CEM, se llevó a cabo una inspección inicial para identificar las zonas en las que podrían superarse los niveles de actuación (NA). Después se volvieron a visitar esas zonas y se efectuaron mediciones más detalladas de forma que se pudiera preparar un plan de actuación. Todas las mediciones se llevaron a cabo en sitios accesibles para los trabajadores mientras los equipos estaban funcionando.

Las mediciones se centraron en los campos magnéticos generados por los equipos, ya que era probable que su contribución a la exposición de los trabajadores fuera la mayor.

Cuando se evaluó la exposición de los trabajadores con riesgos particulares, se comparó con los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía).

### 8.4.1. Instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones

Se hicieron mediciones en diversos lugares de la instalación a lo largo del proceso de fundición. Los lugares de medición fueron:

- junto al horno,
- junto a la unidad de control,
- junto a los cables que alimentan la unidad de control,
- junto a los cables que van de la unidad de control al horno,
- en la cabina del operario.

### 8.4.2. Instalación de producción de ferro-titanio

Se hicieron mediciones en diversos lugares de la instalación a lo largo del proceso de fundición. Los lugares de medición fueron:

- junto a los hornos,
- junto a la unidad de control VIP,
- junto a los cables que alimentan la unidad de control,
- junto a los cables que van de la unidad de control al horno,
- en el pupitre del operario.

### 8.4.3. Gran instalación eléctrica de fundición

Se hicieron mediciones en numerosos sitios por toda la instalación, con los hornos funcionando. Los lugares de medición fueron:

- las posiciones de los operarios al cargar los hornos desde la plataforma,
- las posiciones de los operarios al operar los mecanismos de volcado de los crisoles,
- junto a los crisoles durante su volcado,
- las salas de control,

- junto a las unidades de control VIP,
- junto a los cables de alimentación de las unidades de control,
- junto a los cables que van de las unidades de control a los hornos,
- fuera de las jaulas en los subterráneos de los transformadores,
- bajo las barras ómnibus en los puntos de acceso más próximos.

#### **8.4.4. Instalación de horno de arco**

Se hicieron mediciones en numerosos sitios por toda la instalación, con los hornos funcionando. Los lugares de medición fueron:

- las posiciones de los operarios al cargar los hornos,
- las salas de control,
- junto a las unidades de control,
- en los puntos de acceso más próximos alrededor de las bases de los hornos,
- bajo las barras ómnibus en los puntos de acceso más próximos,
- alrededor de las jaulas de los transformadores,
- en las pasarelas alrededor de los hornos.

#### **8.4.5. Laboratorio de servicios de análisis**

Se hicieron mediciones alrededor del analizador con el horno funcionando. Se prestó especial atención a la zona que rodeaba el horno y aquella en la que el operario permanecía de pie mientras se efectuaba el análisis.

### **8.5. Resultados de la evaluación de la exposición**

#### **8.5.1. Evaluación inicial de la exposición**

Los resultados de las mediciones de la exposición se compararon con los NA superior e inferior y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Si los resultados superaban los NA en alguna zona de trabajo, se efectuaba otra medición para determinar la distancia a la que la densidad de flujo magnético era igual al 100 % del NA, de forma que se pudiera tomar una decisión sobre si efectuar una evaluación más detallada basada en la probabilidad de ocupación del área en la que se superaba el NA. Se resumen en el cuadro 8.1 los resultados significativos de la evaluación inicial de la exposición.

**Cuadro 8.1. Resumen de los resultados significativos de la evaluación inicial de la exposición**

Zona de trabajo	Equipos	Áreas de mayor exposición y localización del límite del nivel de actuación (cuando corresponda)	Fracción de exposición (porcentaje)		
			Nivel de actuación inferior	Nivel de actuación superior	Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo
Instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones	Horno de inducción (2,42 a 2,6 kHz)	A 50 cm del borde de la caja del horno	190 % <sup>(1)</sup>	190 % <sup>(1)</sup>	3 500 % <sup>(2)</sup>
		A 80 cm del borde de la caja del horno	100 % <sup>(1)</sup>	100 % <sup>(1)</sup>	1 800 % <sup>(2)</sup>
Instalación de producción de ferro-titanio	Dos hornos de inducción (217 a 232 Hz)	Posición del tronco cuando se está de pie cerca de la unidad de control VIP	7,8 % <sup>(3)</sup>	6,0 % <sup>(4)</sup>	360 % <sup>(5)</sup>
Gran instalación eléctrica de fundición	10 hornos de inducción (50 Hz)	A 30 cm de los cables a los crisoles durante el volcado	40 % <sup>(3)</sup>	6,7 % <sup>(6)</sup>	400 % <sup>(7)</sup>
Instalación de horno de arco	Dos hornos de arco (50 Hz)	Posición del tronco cuando se está de pie en el punto de acceso más próximo a la base del horno	70 % <sup>(3)</sup>	12 % <sup>(6)</sup>	700 % <sup>(7)</sup>
Laboratorio de servicios de análisis	Analizador de carbono y azufre con un horno de RF (18 MHz)	A 20 cm de la superficie de la caja del horno	110 % <sup>(8)</sup>		230 % <sup>(9)</sup>
		A 22 cm de la superficie de la caja del horno	100 % <sup>(8)</sup>		220 % <sup>(9)</sup>

<sup>(1)</sup> Niveles de actuación superior e inferior de densidad de flujo magnético para una frecuencia de 2,6 kHz: 115  $\mu$ T.

<sup>(2)</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para una frecuencia de 2,6 kHz: 6,25  $\mu$ T.

<sup>(3)</sup> Nivel de actuación inferior de densidad de flujo magnético para frecuencias en el margen de 25 a 300 Hz: 1 000  $\mu$ T.

<sup>(4)</sup> Nivel de actuación superior de densidad de flujo magnético para una frecuencia de 230 Hz: 1 300  $\mu$ T.

<sup>(5)</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para una frecuencia de 230 Hz: 21,7  $\mu$ T.

<sup>(6)</sup> Nivel de actuación superior de densidad de flujo magnético para una frecuencia de 50 Hz: 6 000  $\mu$ T.

<sup>(7)</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para frecuencia de 50 Hz: 100  $\mu$ T.

<sup>(8)</sup> Nivel de actuación de densidad de flujo magnético para frecuencias en el margen de 10 a 400 MHz: 0,2  $\mu$ T.

<sup>(9)</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para frecuencias en el margen de 10 a 400 MHz: 0,092  $\mu$ T.

N.B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 10$  %, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA.

La evaluación inicial de la exposición proporcionó a la empresa la información siguiente:

- Se superaron los NA superior e inferior hasta a una distancia de 80 cm del horno de inducción en la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones y esta zona era fácilmente accesible a los trabajadores durante todo el proceso de fundición.
- El NA se superaba hasta a una distancia de 22 cm del analizador de carbono y azufre del laboratorio de servicios de análisis y los trabajadores no tenían ninguna parte de su cuerpo en esta zona cuando el horno estaba funcionando.
- Se superaban los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en lugares accesibles de todas las zonas de trabajo evaluadas.

En el ejemplo del analizador de carbono y azufre, la zona en que se superaba el NA era pequeña y, por ello, la forma de manejar el analizador hacía que no fuera probable que los trabajadores estuvieran expuestos a campos eléctricos y magnéticos por encima de los NA.

Basándose en los resultados de la evaluación inicial de la exposición, el consultor llevó a cabo una evaluación más detallada del horno de inducción en la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones.

### 8.5.2. Evaluación detallada de la exposición del horno de inducción de la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones

El consultor realizó una evaluación de la exposición, que incluía una observación de cómo se manejaba el horno, para encontrar una solución práctica al problema.

Se realizaron varias mediciones de la densidad de flujo magnético en varios lugares alrededor del horno. Los resultados de estas mediciones permitieron establecer curvas de contorno de los NA y de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo. Se hicieron también marcas en el suelo para indicar el alcance del área en la que se superaban los NA (figura 8.3) Se resumen en el cuadro 8.2 los resultados significativos de la evaluación detallada de la exposición. En la figura 8.4 se muestra un gráfico a escala del horno, con las curvas de contorno de los NA y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

**Cuadro 8.2. Resumen de los resultados significativos de la evaluación detallada de la exposición del horno de inducción en la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones**

Lugar de medición	Fracción de exposición (porcentaje)		
	Niveles de actuación superior e inferior <sup>(1)</sup>	Nivel de actuación relativo a las extremidades <sup>(2)</sup>	Niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo <sup>(3)</sup>
A 45 cm del borde de la caja del horno (distancia al nivel de activación relativo a las extremidades)	300 %	100 %	5 500 %
A 80 cm del borde de la caja del horno (distancia al nivel de activación relativo a las extremidades)	100 %	33 %	1 800 %
A 300 cm del borde de la caja del horno (distancia al nivel de referencia de la Recomendación 999/519/CE del Consejo)	5,4 %	1,8 %	100 %
Posición del tronco cuando se está de pie en la unidad de control	3,5 %	1,2 %	64 %
A 450 cm del tronco de la caja del horno (posición del tronco cuando se está de pie en la cabina del operario)	2,0 %	0,67 %	37 %

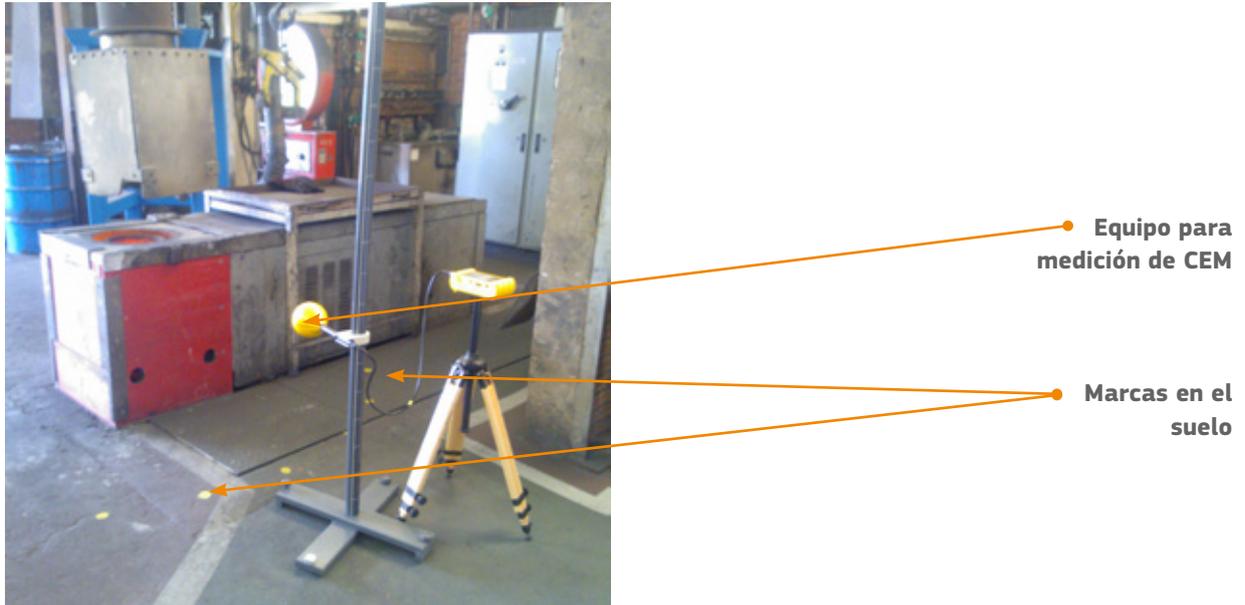
<sup>(1)</sup> Niveles de actuación superior e inferior de densidad de flujo magnético para una frecuencia de 2,6 kHz: 115 µT.

<sup>(2)</sup> Nivel de actuación de densidad de flujo magnético relativo a las extremidades para una frecuencia de 2,6 kHz: 346 µT.

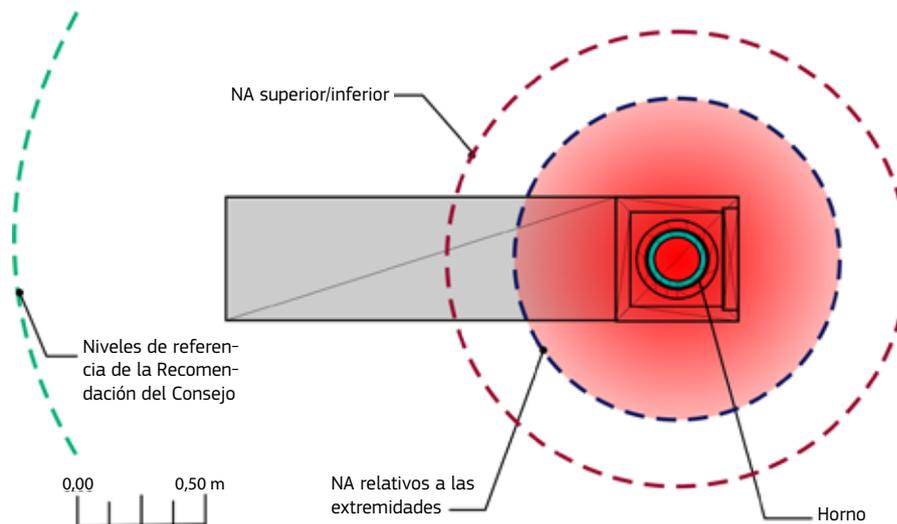
<sup>(3)</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo para una frecuencia de 2,6 kHz: 6,25 µT.

N. B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de ± 10 %, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se tomaron los resultados como porcentajes directos de los NA.

**Figura 8.3. Marcas en el suelo indicando el alcance de la zona en la que se habían superado los niveles de actuación superior e inferior**



**Figura 8.4. Vista en planta que muestra las curvas de contorno dentro de las cuales podrían superarse los niveles de actuación y los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en torno al horno de inducción en la instalación con un pequeño volumen de producción de aleaciones**



Las curvas de contorno que se muestran en la figura 8.4 presentan la forma de círculos centrados en el centro del horno. Se observó que el operario no necesitaba entrar en la zona dentro de la curva de contorno de NA superior e inferior cuando el horno estaba funcionando, puesto que todas las operaciones que exigían acceder a esta zona (cargar el crisol en el horno antes del proceso de fundición y descargarlo tras la finalización de ese proceso) se efectuaban con el horno apagado (figura 8.5). Esto indicaba que la mejor actuación para limitar la exposición a los intensos campos magnéticos era impedir el acceso a la zona. Sin embargo, se observó que no era práctico disponer barreras alrededor del horno, ya que esto levantaría obstáculos y aumentaría el peligro de accidentes más serios producidos al manipular los crisoles.

**Figura 8.5. Las labores que implican un acceso próximo al horno se llevaban a cabo con el horno apagado**



## 8.6. Evaluación de riesgos

Basándose en la evaluación de las exposiciones llevada a cabo por el consultor, la empresa efectuó una evaluación de riesgos específicos de CEM de la fábrica. Esta metodología era coherente con la propuesta por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. La evaluación de riesgos llegó a las conclusiones siguientes:

- los trabajadores con riesgos particulares podían encontrarse en peligro en cualquiera de las zonas de trabajo de la fábrica;
- los trabajadores, incluidos los que tenían riesgos particulares, tenían un acceso no restringido a un área en que se superaban los NA en la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones.

La empresa elaboró un plan de actuación a partir de la evaluación de riesgos y lo documentó en consecuencia.

En el cuadro 8.3 se presenta un ejemplo de evaluación de un riesgo específico de CEM en la fábrica.

**Cuadro 8.3: Evaluación de riesgos específicos de CEM del centro de fabricación metalúrgica**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del campo magnético	Ninguna	Trabajadores de la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones	✓					✓	Medio	Prevenir el acceso a zonas en las que se superen los niveles de actuación  Colocar señales de advertencia apropiados en las zonas de trabajo en las que se superen los niveles de actuación
		Trabajadores de otras zonas evaluadas	✓			✓			Bajo	Presentar advertencias específicas en la formación de seguridad para los trabajadores de la fábrica
		Visitantes	✓				✓		Bajo	Colocar señales de advertencia apropiadas para las personas que lleven implantes médicos en puntos de acceso a otras zonas de trabajo
		Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)		✓				✓		Medio
Efectos indirectos del campo magnético (interferencia con implantes médicos)	Ninguna	Trabajadores con riesgos particulares		✓				✓	Medio	Véase anteriormente

## 8.7. Precauciones ya adoptadas

Se había restringido el acceso a los transformadores y las barras ómnibus asociados a los equipos a causa del riesgo de choque eléctrico; esto habría dado lugar también a ciertas restricciones de acceso a campos magnéticos potencialmente intensos, pero no se habían adoptado precauciones relacionadas concretamente con la exposición a CEM antes de que el consultor llevara a cabo la evaluación de la exposición.

Una observación notable fue que los NA no se superaron en ningún lugar normalmente accesible alrededor de los hornos de gran producción ni de sus unidades de control, a pesar de las potencias considerablemente grandes implicadas. Es probable que se debiera al tamaño físico del equipo, debido al cual no era posible el acceso a campos magnéticos potencialmente intensos. Se observó que las zonas en las que podrían superarse los NA estaban alrededor de los equipos más pequeños, simplemente porque era posible llegar más cerca.

## 8.8. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

Basándose en los resultados de la evaluación de la exposición, la empresa pudo introducir medidas de protección y prevención para asegurar que los trabajadores, incluidos los que tenían riesgos particulares, no se expondrían a CEM a niveles que pudieran ser perjudiciales. Se dispusieron algunas precauciones adicionales inmediatamente tras la evaluación inicial de exposición. Fueron las siguientes:

- se impidió entrar en las zonas de trabajo a personas que llevaran implantes médicos;
- se actualizó la película de entrada en servicio sobre la seguridad para incluir una advertencia de la presencia de campos magnéticos intensos y otra para las personas que llevasen implantes médicos;
- se colocaron señales de advertencia, con los pictogramas «campo magnético» y «no deben llevarse implantes médicos» junto con los términos adecuados (figura 8.6), en los puntos de acceso a las zonas de trabajo correspondientes.

Se dispusieron otras medidas de protección y prevención después de la evaluación de la exposición más detallada:

- se pintaron marcas en el suelo alrededor del horno de inducción en la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones para indicar la zona en la que se superaban los NA (figura 8.7) y se instruyó a los trabajadores para que no entrasen en ella mientras estuviesen funcionando los hornos;
- se colocaron señales de advertencia, con los pictogramas «campo magnético intenso» y de prohibición junto con los términos adecuados (figura 8.7), junto al horno de inducción.

Figura 8.6. Ejemplo de señal de advertencia colocada en los puntos de acceso a las zonas de trabajo



Figura 8.7. Marcas pintadas en el suelo y señal de advertencia asociada para indicar el área en la que se pueden superar los niveles de actuación



## 8.9. Referencia a fuentes de información adicional

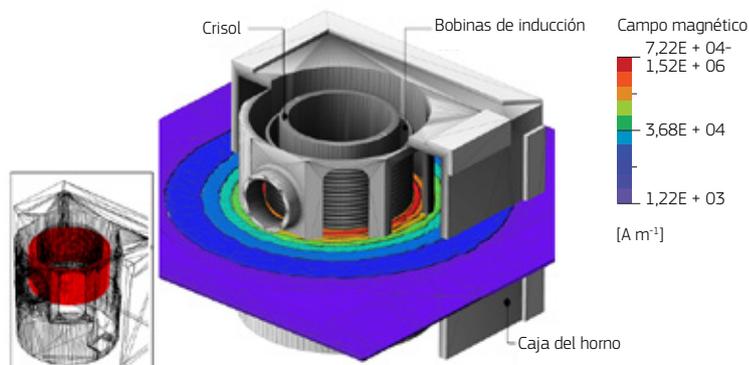
Para completar la información, la empresa encomendó a un experto que preparase un modelo de ordenador de la posible exposición, en términos de VLE, de un trabajador que permaneciera de pie dentro de la zona rayada mientras estuviera funcionando el horno de la instalación de pequeño volumen de producción de aleaciones.

El consultor desarrolló el modelo de ordenador para evaluar los campos eléctricos internos inducidos en el cuerpo de un operario muy próximo al horno en funcionamiento. Se fijaron los parámetros del modelo con valores particulares tales que se obtuvieran valores de la intensidad de campo magnético similares a los obtenidos en la fase de mediciones de la evaluación de la exposición.

En la figura 8.8 se muestra la distribución espacial del campo magnético en el plano x-y alrededor del horno de inducción, generada por el modelo. Los valores del campo así calculados concuerdan bien con los valores medidos obtenidos durante la evaluación de la exposición y demuestran además que, si bien las intensidades del campo magnético son

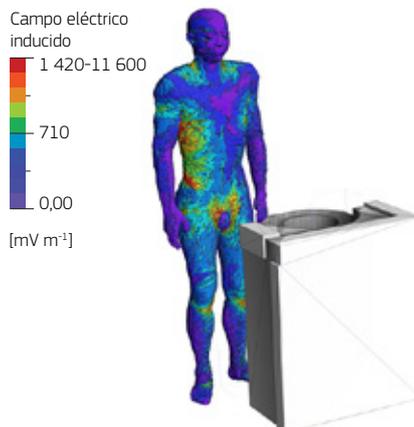
relativamente altas cuando se está junto a la bobina del horno de inducción estos valores bajan muy rápidamente con la distancia.

**Figura 8.8. Distribución espacial del campo magnético en el plano x-y alrededor la imagen de una sección del horno de inducción generada por el modelo. La bobina de inducción se muestra en color rojo (inserto)**



Se hicieron cálculos de los campos eléctricos internos inducidos en el cuerpo de un trabajador que permaneciera a 65 cm del centro del horno de inducción. La distribución del campo eléctrico inducido en un modelo humano se ilustra en la figura 8.9. El valor más alto del campo eléctrico calculado en el cuerpo para esta situación de exposición fue de  $916 \text{ mV m}^{-1}$  (en tejido óseo). Esto representaba el 83 % de los VLE relacionados con efectos para la salud a 2,43 kHz.

**Figura 8.9. Distribución espacial de los campos eléctricos internos máximos inducidos en un modelo humano por la exposición al horno de inducción**

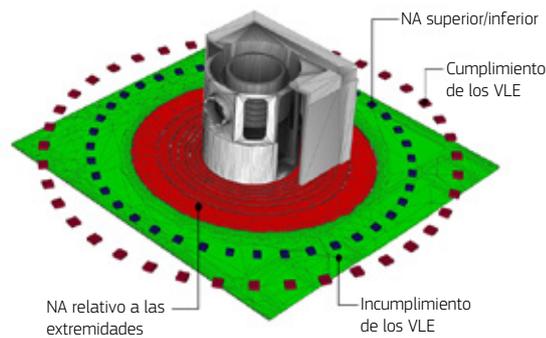


Puede definirse una región en la que podrían superarse los VLE relacionados con efectos para la salud por la exposición al horno de inducción realizando simulaciones de exposición empleando el modelo humano a diversas distancias del horno.

Se observó que únicamente se superaban los VLE si el cuerpo estaba situado en un radio de unos 60 cm del centro del horno mientras este estaba funcionando. En la figura 8.10 se muestra esta región en rojo. También se muestran las zonas en las que se podían superar los NA (figura 8.4).

Puesto que el horno estaba instalado dentro de una caja de unos 63 cm x 63 cm (lo que suponía una distancia de 31,5 cm desde el centro del horno), para que se superasen los VLE el trabajador tenía que permanecer de pie con el cuerpo tan próximo a la caja del horno que tal situación de exposición debía considerarse improbable. Por ello, la empresa confió en que la pintura en el suelo era una medida de precaución adecuada.

**Figura 8.10. Contornos alrededor del horno de inducción que muestran las zonas en las que podrían superarse los VLE relacionados con efectos para la salud (zona roja). También se muestran las zonas en las que no se superan los VLE relacionados con efectos para la salud (zona verde y más allá) y aquellas en las que se podrían superar los niveles de actuación (cuadrados azules y rojos)**



## 9. APARATOS DE PLASMA DE RADIOFRECUENCIA

Los aparatos de plasma de radiofrecuencia (RF) se utilizan normalmente en la fabricación de dispositivos semiconductores y de circuitos integrados. Se utilizan asimismo en otras industrias para limpiar componentes ópticos, aplicaciones de espectroscopia e investigación. Este caso práctico hace referencia a aparatos de plasma de RF empleados en los procesos de fabricación de obleas en un entorno de sala limpia. El empresario estaba preocupado por el posible peligro para un trabajador que llevara un marcapasos cardíaco y que se disponía a volver a su lugar de trabajo. El fabricante del marcapasos proporcionó al empresario detalles de los límites seguros de exposición de este dispositivo a los campos electromagnéticos.

### 9.1. Naturaleza del trabajo

La labor del portador del marcapasos implica normalmente la carga de obleas en los dispositivos de plasma de RF y el manejo de estos dispositivos (figura 9.1).

**Figura 9.1. Zona de carga de obleas**



**Figura 9.2. Cámaras de reacción en el área de mantenimiento**



### 9.2. Información sobre los equipos que producen CEM

Los aparatos de plasma de RF de este lugar de trabajo son normalmente una fuente de RF y una cámara de reacción evacuada (figura 9.2). Algunos dispositivos incorporan «in situ» varias fuentes de RF y/o varias cámaras de reacción. El campo de RF generado se utiliza para establecer y mantener una descarga de plasma, que se emplea para llevar a cabo procesos tales como el grabado, la deposición y la eliminación de capas de la oblea dentro de la cámara. Las frecuencias de RF generadas pueden variar desde algunos centenares de kHz hasta unos pocos GHz. Las frecuencias utilizadas comúnmente son las de 400 kHz, 13,56 MHz y 2,45 GHz.

Con este tipo de aparato, el campo de RF estará normalmente apantallado por la caja del equipo y la cámara de reacción metálica. Es posible que se produzcan fugas de RF cuando hay holguras en la caja del equipo, por ejemplo por mal montaje o alineación de los paneles, ausencia de tornillos, defectos en los conectores de cables y daños ocasionados en guías de onda flexibles. Es probable que cualquier holgura de la cámara de reacción o de las guías de ondas se detecte por una pérdida del vacío. Algunas de las cámaras llevan ventanillas de inspección con pantallas de protección (Faraday); si faltan pantallas o están estropeadas, puede producirse una fuga de RF.

Algunos de los dispositivos llevan también imanes de gran potencia, lo que se traduce en campos magnéticos estáticos.

### 9.3. Cómo se utiliza la aplicación

La persona que lleva el marcapasos permanece normalmente en la zona de producción de la sala limpia, donde funciona el equipo y se cargan las obleas. Las cámaras de reacción y los generadores de RF asociados a cada elemento del equipo se encuentran en el área de mantenimiento. Este trabajador puede entrar en el área de mantenimiento, pero no participa en la revisión ni el mantenimiento del equipo.

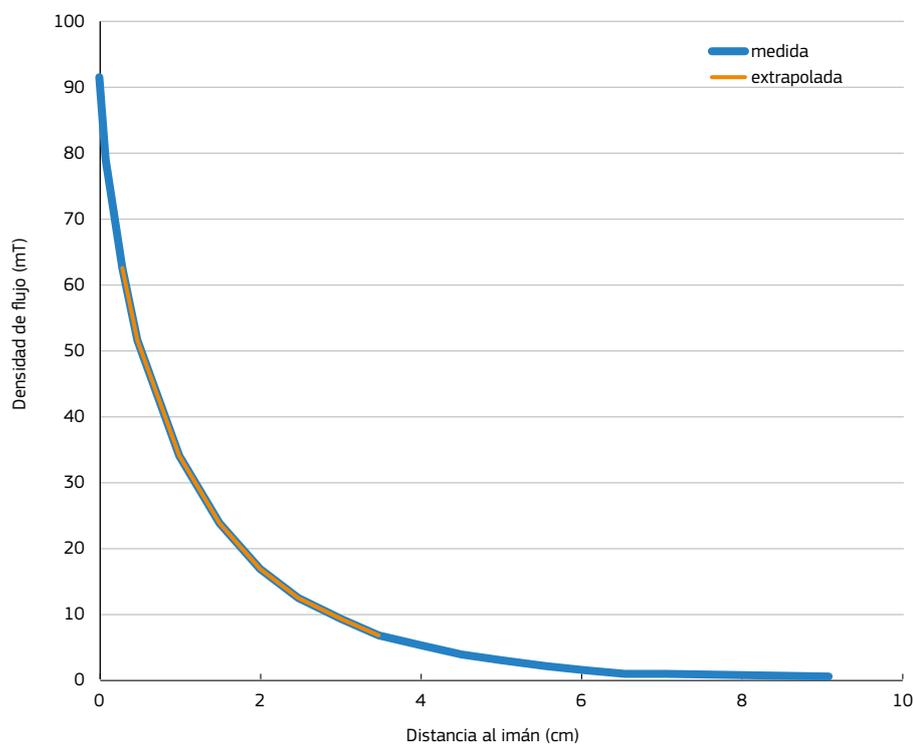
### 9.4. Método para la evaluación de la exposición

Podrían hacerse mediciones de los campos electromagnéticos alrededor de este equipo. Sin embargo, para ello se requerirían los servicios de un consultor experto que utilizara instrumentos especiales. Harían falta múltiples aparatos de medida, debido a la diversidad de frecuencias empleadas. Además, para los campos de frecuencias intermedias (por ejemplo, 400 kHz y 13,56 MHz), las mediciones tendrían que hacerse en el «campo cercano». Habría que medir por separado los campos eléctrico y magnético. A mayores frecuencias (2,45 GHz), las mediciones se harían generalmente en el «campo lejano». En esta situación, los campos eléctrico y magnético se propagan como una onda electromagnética y por ello es más frecuente medir solo el campo eléctrico. El campo magnético se puede deducir, ya que los dos están relacionados.

Como un primer paso para evaluar la exposición, el empresario se puso en contacto con los fabricantes de los dispositivos de plasma de RF para pedirles información sobre la posibilidad de fugas de campos de RF del equipo y la distancia a la que podrían representar un peligro.

Uno de los fabricantes aportó un gráfico (figura 9.3) que mostraba cómo el nivel del campo magnético estático disminuye con la distancia desde los potentes imanes instalados en los aparatos, e informó al empresario de que, a una distancia de 10 cm de los imanes, la densidad del flujo disminuye por debajo de 0,5 mT.

**Figura 9.3. Gráfico que muestra la disminución de la densidad de flujo magnético con la distancia**



El fabricante del marcapasos indicó los límites de seguridad para diversas fuentes de interferencia electromagnética (cuadro 9.1). El empresario observó que el valor de los campos magnéticos estáticos estaba expresado en Gauss y había que pasarlo a militeslas de acuerdo con la Directiva CEM.

**Cuadro 9.1. Límites de seguridad comunicados por el fabricante del marcapasos (límites específicos para el marcapasos concreto usado por el trabajador)**

Fuente de EMI	Límite de intensidad de campo electromagnético (RMS)
Frecuencia de la alimentación (50/60 Hz)	10 000 V/m (6 000 V/m; fuera del valor nominal)
Alta frecuencia (150 kHz y más)	141 V/m
Campos magnéticos estáticos (CC)	10 Gauss
Campos magnéticos modulados	80 A/m hasta 10 kHz y 1 A/m para más de 10 kHz

El empresario no pudo obtener ninguna información de los fabricantes sobre los campos de RF, por lo que decidió encargar a un consultor que realizara algunas mediciones alrededor de una selección de dispositivos de plasma de RF.

## 9.5. Resultados de la evaluación de la exposición

El empresario convirtió los límites correspondientes suministrados por el fabricante del marcapasos (cuadro 9.1) en las mismas unidades empleadas en la Directiva CEM (cuadro 9.2). Comparando los resultados de las mediciones con esos límites se demuestra que no se superaban los límites del marcapasos alrededor del grabador de plasma de RF.

**Cuadro 9.2. Límites del marcapasos (comunicados por el fabricante de este)**

Frecuencia	Límite
Campos eléctricos, 150 kHz y más	141 Vm <sup>-1</sup>
Campos magnéticos estáticos (CC)	1 mT
Campos magnéticos por encima de 10 kHz	1,25 μT

Los resultados obtenidos de las mediciones se muestran en los cuadros siguientes. El cuadro 9.3 presenta los resultados de las mediciones efectuadas alrededor de un grabador de plasma RF que trabaja a 400 kHz. Las mediciones se realizaron alrededor de todo el aparato, aunque los niveles máximos de los campos eléctrico y magnético se detectaron alrededor de las juntas en la caja que rodea el generador de RF. Los resultados de la medición muestran que no se superaron los niveles de actuación (NA) de la Directiva CEM.

**Cuadro 9.3. Resultados de las mediciones alrededor del grabador de plasma de RF**

Posición	Frecuencia	Densidad de flujo magnético (μT)	Nivel de actuación (μT)	Intensidad de campo eléctrico (Vm <sup>-1</sup> )	Nivel de actuación (Vm <sup>-1</sup> )
Armario del generador de RF	400 kHz	0,05	5	0,06	610

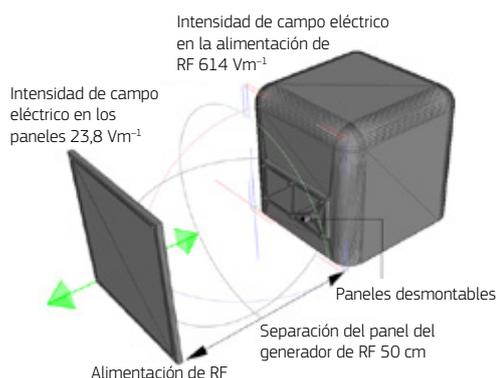
*N.B.:* Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de ± 2,7 dB, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA.

El cuadro 9.4 presenta los resultados de las mediciones efectuadas alrededor de una unidad de deposición en fase de vapor (PVD) que trabaja a 13,56 MHz. Los resultados de la medición muestran que se superaban los NA de la Directiva CEM, así como los límites del marcapasos del cuadro 9.3, junto a la alimentación de RF a la cámara. Las dos últimas posiciones de medida se muestran en la figura 9.4.

**Cuadro 9.4. Resultado de las mediciones alrededor de la unidad de PVD**

Posición	Frecuencia del generador	Densidad de flujo magnético ( $\mu\text{T}$ )	Nivel de actuación ( $\mu\text{T}$ )	Intensidad de campo eléctrico ( $\text{Vm}^{-1}$ )	Nivel de actuación ( $\text{Vm}^{-1}$ )
Superficie superior de la cámara	13,56 MHz	0,04	0,2	10	61
Bajo la cámara, junto a la alimentación de RF a la cámara	13,56 MHz	2	0,2	614	61
Posición de los paneles desmontables, a 0,5 m de la alimentación de RF	13,56 MHz	0,08	0,2	24	61

N.B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 2,7$  dB, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA.

**Figura 9.4. Posición de las mediciones junto a la alimentación de RF a la unidad de PVD**

## 9.6. Evaluación de riesgos

Con relación a los campos magnéticos estáticos alrededor de los imanes, se observó que el NA de 0,5 mT, para la exposición a dispositivos médicos implantados activos, podía superarse en un radio de 10 cm de los imanes. Sin embargo, el fabricante del marcapasos había indicado al empresario un límite menos estricto de 1 mT (cuadro 9.3), que era aplicable al marcapasos en cuestión. Por lo tanto, el empresario empleó este límite en la evaluación de riesgos. Basándose en el gráfico facilitado por el fabricante del equipo (figura 9.3), el límite de 1 mT del marcapasos podía superarse a una distancia de menos de 10 cm de separación de los imanes (que se estimó en unos 6 cm).

Con relación a los campos electromagnéticos de RF, se observó que podían superarse los límites indicados por el fabricante del marcapasos, así como los NA, junto a la alimentación de RF a la cámara de la unidad de PVD. A 0,5 m de la alimentación de RF, los niveles caían por debajo de los límites del marcapasos y los NA.

Para los campos, tanto magnético estático como de RF, el nivel del campo caía por debajo de los límites del marcapasos y los NA a corta distancia.

Basándose en esta información, el empresario llevó a cabo una evaluación de riesgos específicos derivados de CEM (cuadro 9.5) para determinar los riesgos tanto para la persona que llevaba el marcapasos como para los otros trabajadores, empleando la metodología sugerida por OIRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)].

Como resultado de esta evaluación de riesgos, el empresario decidió que no sería necesario un cambio de las labores de la persona que llevaba el marcapasos; no participaba en el mantenimiento del equipo y, por lo tanto, no tenía por qué estar en zonas (muy próximas al equipo) en las que pudieran superarse los límites del marcapasos. Se decidió que no hacía falta prohibir el acceso a la zona de mantenimiento, ya que los altos valores del campo estaban muy localizados. Sin embargo, la evaluación de riesgos indicó que debía tenerse en cuenta a otros trabajadores (por ejemplo, los técnicos de mantenimiento) y contratistas que llevaran dispositivos médicos implantados activos.

## 9.7. Precauciones ya adoptadas

El empresario inspeccionó los equipos y revisó los procedimientos de la empresa, observando que ya se aplicaban las siguientes precauciones:

- había barreras alrededor de la alimentación de RF a las cámaras, para impedir el acceso a estas zonas (se retiraron para las mediciones en la unidad de PVD);
- la empresa aseguraba que todos los equipos adquiridos estaban bien diseñados. Por ejemplo, las ventanillas de inspección estaban correctamente apantalladas para limitar la exposición al campo de RF.

**Cuadro 9.5. Evaluación de riesgos específicos derivados de CEM de los dispositivos de plasma de RF**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del CEM:	Panel adosado a la unidad de PVD, que impide el acceso a la zona en que se supera el nivel de actuación	Operarios Técnicos de mantenimiento	✓			✓			Bajo	Debe proporcionarse información y formación a los técnicos de servicio y los operarios  Deben colocarse en el equipo señales de advertencia apropiadas
El nivel de actuación podía superarse junto a la alimentación de RF en la zona de servicio										
Efectos indirectos del CEM (efecto en dispositivos médicos implantados activos):	Panel adosado a la unidad de PVD, que impide el acceso a la zona en la que se superan los límites del marcapasos	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Bajo	Debe comunicarse información sobre este peligro a todos los trabajadores  Deben incluirse advertencias en la información de seguridad del emplazamiento
Podían superarse los límites del marcapasos junto a los imanes estáticos y junto a la alimentación de RF en la zona de mantenimiento	Los campos en los que se podían superar los límites del marcapasos alrededor de los imanes estáticos estaban muy localizados									Deben colocarse en el equipo señales de advertencia y prohibición

## 9.8. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

Como consecuencia de la evaluación de riesgos, el empresario decidió aplicar otras medidas de precaución:

- poner señales de advertencia de campos magnéticos o de RF (según corresponda) intensos, así como señales de prohibición para las personas que lleven dispositivos médicos implantados activos (DMIA), en los equipos que contengan imanes potentes y en paneles desmontables que den acceso a niveles potencialmente altos de campos de RF (figura 9.5).

**Figura 9.5. Ejemplos de señales de advertencia de campos magnéticos y de RF intensos e ilustración del símbolo de prohibición para las personas que lleven DMIA**



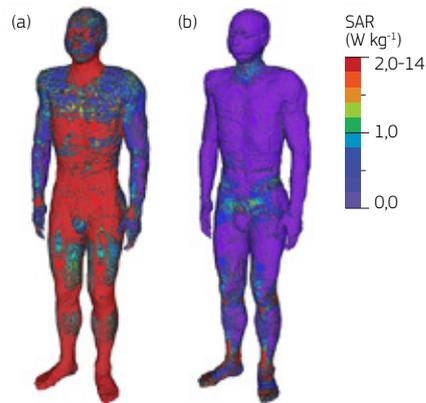
- Proporcionar información, incluyendo los resultados de la evaluación de riesgos, al portador del marcapasos y al encargado de prestar asistencia médica laboral en la empresa.
- Asegurarse de que, gracias a los programas adecuados de entrada en servicio y a los contactos con los contratistas, los demás trabajadores y visitantes conocen los riesgos.
- Asegurarse de que los trabajadores conocen que no se deben hacer funcionar los equipos con paneles desmontados y que todo daño en las carcasas de los equipos, las guías de onda o las ventanillas apantalladas debe ser comunicado a un supervisor.

## 9.9. Información adicional

Los resultados medidos se utilizaron como base para un modelo de ordenador de la exposición de un trabajador en relación con los valores límites de exposición (VLE) de la misma dados en la Directiva CEM (figura 9.5). El modelo muestra que podrían superarse los VLE junto a la alimentación de RF; el valor SAR medio para todo el cuerpo era el 211 % del VLE para el estrés térmico de todo el cuerpo, y el SAR máximo localizado, promediado sobre una masa adyacente de 10 g en las extremidades, era del 147 % del VLE para el estrés térmico en las extremidades. No se superó el VLE para estrés térmico localizado en la cabeza y el tronco; el SAR máximo localizado, promediado sobre una masa adyacente de 10 g en la cabeza y el tronco, era del 89 % del VLE para el estrés térmico localizado en la cabeza y el tronco.

A 0,5 m de la alimentación de RF se observó que la intensidad de campo eléctrico medida era menor que el NA y de esa forma, como se esperaba, el modelo mostró que los valores de SAR localizado y para todo el cuerpo eran mucho menores que los VLE (menos del 0,5 %).

**Figura 9.6. Distribución de SAR en un trabajador (a) alrededor de la alimentación de RF y (b) alrededor del panel desmontable, a 50 cm del generador de RF**



## 10. ANTENAS DE AZOTEA

### 10.1. Lugar de trabajo

Las azoteas de los edificios suelen utilizarse como estructuras de montaje útiles para una diversidad de antenas de telecomunicaciones cuyo funcionamiento se aprovecha de su mayor elevación o mejor campo visual. Este caso práctico hace referencia a un edificio con tal uso (figura 10.1), que recientemente había cambiado de propiedad. El nuevo propietario quería cumplir la obligación legal y evaluar todos los riesgos para los trabajadores que se encontraran en la azotea.

**Figura 10.1. Antenas sectoriales de telefonía móvil y una antena de disco para transmisión de microondas en el tejado de la caja del ascensor**



### 10.2. Naturaleza del trabajo

Hay trabajadores que tienen que acceder a la azotea para efectuar diversas tareas de inspección y mantenimiento del edificio. Puede tratarse de: limpiadores de ventanas, contratistas de obras de reparación de la azotea, técnicos de aire acondicionado, inspectores de seguros y antenistas. Estos últimos pueden haber recibido formación en seguridad frente a las radiaciones de radiofrecuencia y estar provistos de alarmas personales contra las exposiciones, pero los miembros de los otros oficios es probable que no hayan recibido dicha formación y que, en consecuencia, tengan poco conocimiento de estos temas.

Al instalar antenas sería una buena práctica que los operadores adoptaran el principio de «seguridad por la posición ocupada». Es decir, las antenas deben colocarse de forma que los trabajadores que estén de pie normalmente en la azotea no puedan entrar sin darse cuenta en una zona de exclusión. La zona de exclusión de la antena es el área próxima a esta en la que la exposición puede superar los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo.

Esta zona solamente debe ser accesible a trabajadores con utilización de medios específicos para subir, como escaleras o andamios. Para acceder a dicha zona puede ser preciso apagar la antena. Si la zona de exclusión de la antena incide en la zona visitable de la azotea, debe delimitarse esta.

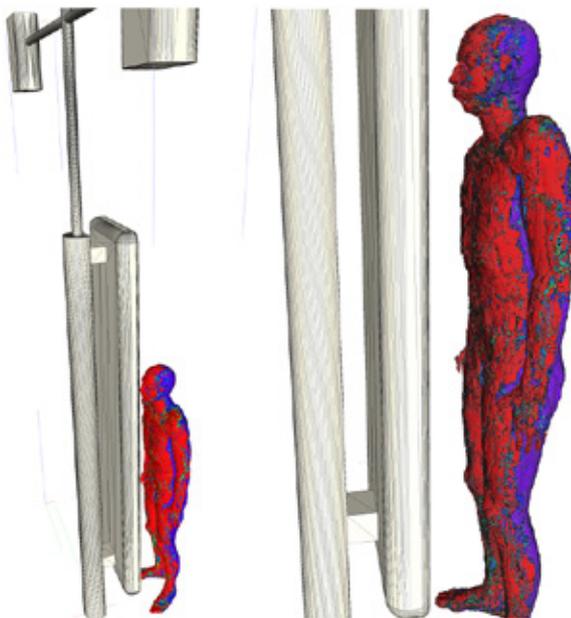
### 10.3. Información sobre los equipos que producen CEM

Las antenas montadas en la azotea son las referidas generalmente a sistemas de telecomunicaciones móviles, como las estaciones de base de telefonía móvil y los sistemas de localización personal. La estación de base de telefonía móvil comprende, además de antenas sectoriales, un enlace de datos punto a punto. El propietario sabía que distintos tipos de antena presentan distintos niveles de peligro y que, en términos generales:

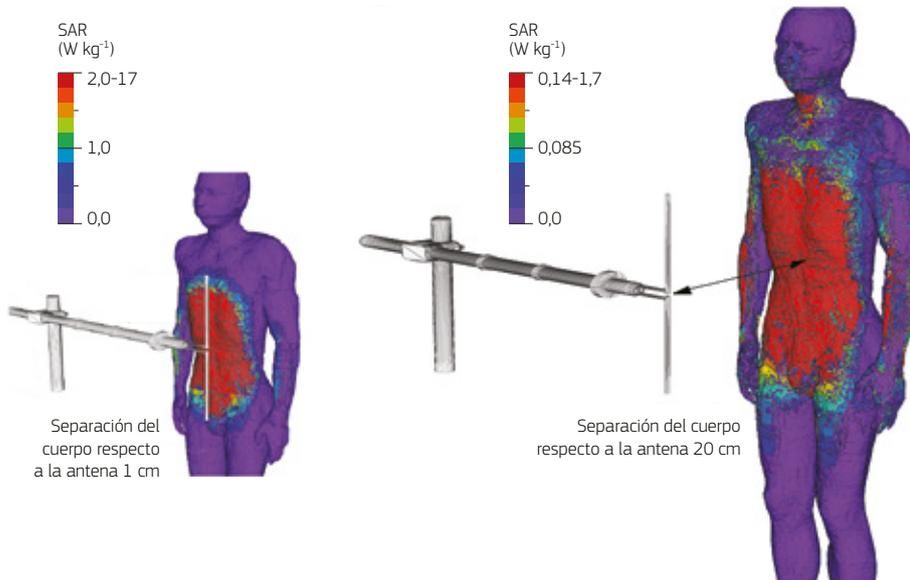
- las antenas sectoriales de telefonía móvil (800-2 600 MHz) pueden presentar un peligro en dirección hacia delante hasta a unos pocos metros, y con un menor alcance en dirección hacia los lados y la parte de atrás (figura 10.2);
- las antenas de disco para transmisión de microondas (10-30 GHz) asociadas a las estaciones de base de telefonía móvil no suelen presentar un peligro importante;
- las antenas dipolo y colineales (de látigo) (80-400 MHz) pueden representar un peligro en un radio de un metro o dos.

Se ilustra este último punto con un modelo de ordenador para una antena dipolo de media onda que trabaja a 400 MHz (figura 10.3). La cuadro 10.1 muestra que, cuando se aumenta la potencia radiada de 25 W a 100 W y después a 400 W, los VLE relacionados con los efectos sobre la salud se superan a distancias cada vez mayores de la antena.

**Figura 10.2. Distribución de la tasa específica de absorción de energía (SAR) en un trabajador situado cerca de una antena sectorial de telefonía móvil**



**Figura 10.3. Distribución de la tasa específica de absorción de energía (SAR) en el modelo humano de la exposición a una antena dipolo de media onda de 25 W, a 20 cm del tronco. Inserto: a 1 cm del tronco. En ambos casos los valores calculados del SAR son menores que los correspondientes VLE relacionados con efectos para la salud**



**Cuadro 10.1. Valores del modelo de ordenador de la tasa específica de absorción de energía para todo el cuerpo (WBSAR) y SAR máximo localizado, promediado sobre una masa adyacente de 10 g (SAR<sub>10g cont</sub>), para una antena dipolo de media onda de 5 W, 25 W, 100 W y 400 W. Los valores de SAR por encima de los correspondientes VLE relacionados con efectos para la salud están en rojo**

Distancia (cm)	SAR modelizado (Wkg <sup>-1</sup> )							
	Antena de 5 W		Antena de 25 W		Antena de 100 W		Antena de 400 W	
	WBSAR	SAR <sub>10g cont</sub>	WBSAR	SAR <sub>10g cont</sub>	WBSAR	SAR <sub>10g cont</sub>	WBSAR	SAR <sub>10g cont</sub>
0,1	0,0225	1,61	0,113	8,05	0,450	32,2	1,80	129
1	0,0194	1,28	0,0968	6,38	0,387	25,5	1,55	102
2	0,0168	1,04	0,0840	5,18	0,336	20,7	1,34	82,8
4	0,0133	0,715	0,0663	3,58	0,265	14,3	1,06	57,2
6	0,0110	0,525	0,0548	2,63	0,219	10,5	0,876	42,0
8	0,00945	0,406	0,0473	2,03	0,189	8,12	0,756	32,5
10	0,00845	0,332	0,0423	1,66	0,169	6,63	0,676	26,5
12	0,00770	0,272	0,0385	1,36	0,154	5,44	0,616	21,8
14	0,00725	0,234	0,0363	1,17	0,145	4,68	0,580	18,7
16	0,00690	0,208	0,0345	1,04	0,138	4,16	0,552	16,6
18	0,00670	0,163	0,0335	0,815	0,134	3,26	0,536	13,0
20	0,00660	0,177	0,0330	0,883	0,132	3,53	0,528	14,1

VLE relacionados con efectos para la salud para frecuencias en el margen entre 100 kHz y 6 GHz para SAR promediada en todo el cuerpo: 0,4 Wkg<sup>-1</sup> y para SAR localizada en la cabeza y el tronco promediada sobre 10 g de tejido adyacente: 10 Wkg<sup>-1</sup>

## 10.4. Cómo se utiliza la aplicación

El equipo está automatizado y controlado a distancia por los operadores. La estación de base de telefonía móvil ajusta su potencia de salida de acuerdo con el tráfico de llamadas que se soporte, sujeto a un máximo que se fija en las condiciones de licencia de espectro. Esto hace difícil para el propietario predecir la potencia real en un momento dado. Las frecuencias de salida se fijan también en las condiciones de la licencia de espectro.

Las modificaciones de la instalación y el mantenimiento ocasional corresponden a subcontratistas designados por los operadores.

## 10.5. Método para la evaluación de la exposición

Una evaluación detallada teórica de la exposición precisaría de información sobre determinados factores, como el tipo de antena, las características de la emisión (por ejemplo, frecuencia, potencia radiada, parámetros de la señal, ciclo de trabajo, número de canales transmitidos), la posición del trabajador en el campo de radiación, la duración de la exposición y las contribuciones de otras fuentes.

También podrían hacerse mediciones de las exposiciones en la azotea, pero para ello se precisarían los servicios de un consultor experto que empleara instrumentos especiales. El propietario sabía que podía alquilar o comprar en internet un instrumento no muy costoso, pero había que contar con la posibilidad de que este no diera una lectura correcta y fuera sensible a otras señales distintas de las que interesan. El propietario sabía también que la utilización de los servicios de un consultor sería costosa y que solo proporcionaría una instantánea de la situación de la exposición en el momento de realizar las mediciones.

Así pues, optó por realizar una revisión visual básica de la azotea para identificar las antenas y sus operadores y marcarlas en un plano de la azotea. Después se puso en contacto con los operadores y les pidió que visitaran el emplazamiento para identificar sus antenas y que aportaran la información de seguridad correspondiente. El propietario examinó asimismo el libro de registro de visitantes para ver quién había tenido acceso a la azotea y trató de determinar, por la naturaleza de las tareas realizadas dónde habían estado trabajando. Utilizando esta información, identificó los lugares en los que es posible que los trabajadores accedan a zonas de campo peligroso o zonas de exclusión (figura 10.4). Una buena práctica de los trabajadores es no acercarse demasiado a las antenas que irradian, para no verse expuestos por encima de los niveles de actuación (NA), y por supuesto no tocarlas nunca.



## 10.7. Evaluación de riesgos

El propietario conocía la necesidad de evaluar todos los riesgos para los trabajadores que accedieran a la azotea (incluidos los riesgos generales de resbalones, tropezones y caídas, los humos de chimeneas, tiros y ventiladores, y los asociados a los campos electromagnéticos). Empleó la metodología sugerida por OIRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)] para organizar el proceso e identificó toda la información aportada por el operador o fabricante de las distintas antenas para preparar la evaluación. La información cuantitativa de la intensidad de campo eléctrico de la antena o los diagramas esquemáticos con el alcance de las posibles zonas de exclusión le permitieron llevar a cabo una evaluación del nivel de riesgo. Cuando el campo accesible superaba los NA, había que trazar y aplicar un plan de actuación para hacer frente a los riesgos.

En el cuadro 10.3 se presenta un ejemplo de evaluación de riesgos específicos de CEM.

**Cuadro 10.3. Evaluación de riesgos específicos de CEM de las antenas en azoteas**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos del campo de radiofrecuencia	Puerta a la azotea controlada con cerradura y llave	Limpiadores de ventanas	✓				✓		Bajo	Cambiar el emplazamiento de la antena del sistema de localización personal (dipolo plegado) separándolo de la pasarela  Colocar un tope mecánico para que la góndola del limpiaventanas no se pueda elevar frente a las antenas sectoriales  Preparar un procedimiento de seguridad escrito que deban leer (y firmar) todos los trabajadores antes de que se les permita el acceso a la azotea
	Señales de advertencia y prohibición	Contratistas de obras de reparación de azoteas	✓				✓		Bajo	
	Antenas sectoriales montadas en los tramos superiores de la caja de ascensor y zonas de exclusión asociadas inaccesibles	Técnicos de aire acondicionado	✓				✓		Bajo	
	Escalera que da acceso al tejado de la caja de ascensor provista de cerradura	Inspectores de seguros	✓				✓		Bajo	
	Antenas de disco montadas en altura sobre mástil y haces inaccesibles	Antenistas	✓				✓		Bajo	
		Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)	✓				✓		Bajo	
Efectos indirectos del campo de radiofrecuencia (interferencia con equipos electrónicos médicos)	Véase más arriba	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Bajo	Véase más arriba. Advertencia para las personas que lleven equipos electrónicos médicos en el procedimiento de seguridad escrito

## 10.8. Precauciones ya adoptadas

La inspección visual del propietario de la azotea reveló lo siguiente:

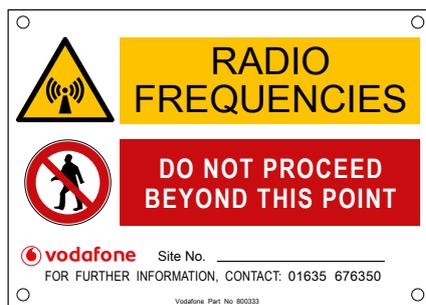
- La puerta de acceso a la azotea estaba cerrada con llave, controlada por el encargado de seguridad del edificio. Se había fijado en el interior de la puerta una señal de advertencia de la presencia de antenas de radiofrecuencia (figura 10.5a).
- Las antenas sectoriales de telefonía móvil estaban montadas en los tramos superiores de la caja del ascensor y las zonas de exclusión asociadas eran inaccesibles. Se habían fijado señales de advertencia en los mástiles de montaje (figura 10.5b) y en el revestimiento de las antenas (figura 10.5c).
- La escalera que daba acceso al tejado de la caja de ascensor estaba cerrada con llave y se había fijado una advertencia (figura 10.5d).
- Las antenas de disco estaban montadas en altura sobre mástiles y sus haces eran inaccesibles. (En cualquier caso, el propietario dispone de pruebas escritas del operador de que no hay zonas de exclusión).

**Figura 10.5. Señales de advertencia**

a) En la puerta que da a la azotea



b) En el mástil de montaje de la antena



c) En el revestimiento de las antenas



d) En la escalera al tejado de la caja de ascensor



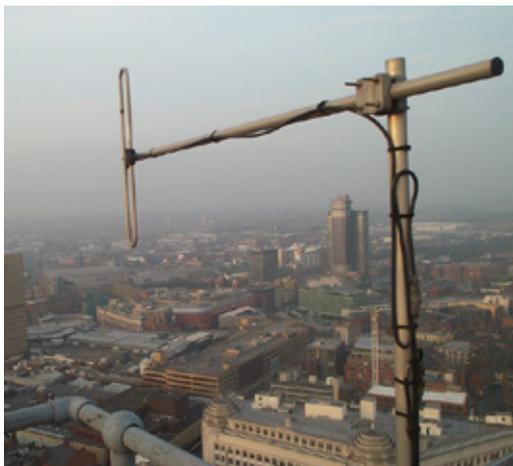
## 10.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

El propietario no estaba conforme con algunos aspectos de la forma de gestionar las instalaciones de la azotea y decidió incluir otras medidas de precaución:

- requerimiento al operador del sistema de localización personal para que reinstalase la antena dipolo plegada asociada separándola de la pasarela (figura 10.6a) y se colocase una señal de advertencia (figura 10.6b);
- colocación de un tope mecánico para que la góndola del limpiador de ventanas no pudiera levantarse frente a las antenas sectoriales (figura 10.6c);
- preparación de un procedimiento de seguridad escrito que deban leer (y firmar) todos los trabajadores antes de que se les permita el acceso a la azotea. Este procedimiento incluye planes de contingencia para el caso de accidentes e incidentes razonablemente previsibles.

**Figura 10.6**

a) Antena del sistema de localización personal demasiado cerca de la pasarela



b) La nueva señal de advertencia



c) La góndola del limpiador de ventanas ya no puede levantarse frente a las antenas



## 11. EMISORES-RECEPTORES PORTÁTILES

### 11.1. Lugar de trabajo

Este caso práctico corresponde a una pequeña empresa de construcción cuyo personal trabaja en lugares de obras. El encargado había oído hablar de la nueva Directiva CEM y estaba preocupado por si los trabajadores debían tomar precauciones cuando usaran emisores receptores portátiles.

### 11.2. Naturaleza del trabajo

Los trabajadores podían comunicarse entre sí empleando emisores-receptores portátiles que funcionaban empleando el servicio PMR (Private Mobile Radio) 446 sin licencia (figura 11.1). Los aparatos estaban disponibles para su uso por todos los trabajadores en la obra.

**Figura 11.1. Trabajador en la obra empleando un emisor-receptor portátil**



Tras consultar las instrucciones del fabricante, el encargado determinó que los aparatos manuales trabajaban aproximadamente a 446 MHz. Sin embargo, no había información en las instrucciones, ni en la Declaración de conformidad CE (figura 11.2), sobre la potencia radiada efectiva (ERP) ni sobre los métodos adecuados de uso.

Tras buscar en internet, el encargado encontró información del regulador del servicio, según la cual el equipo de radio «PMR 446 ha de poder llevarse en la mano, tener una antena integral y una potencia radiada efectiva máxima de 500 mW y cumplir la ETS 300 296».

Figura 11.2. Declaración de conformidad CE entregada con el aparato

EC Declaration of Conformity

We the manufacturer / Importer

Declare under our sole responsibility that the following product

Type of equipment: Private Mobile Radio

Model Name: \_\_\_\_\_

Country of Origin: \_\_\_\_\_

Brand: \_\_\_\_\_

complies with the essential protection requirements of R&TTE Directive 1999/5/EC on the approximation of the laws of the Council Directive 2004/108/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to *electromagnetic compatibility (EMC)* and the European Community Directive 2006/95/EC relating to *Electrical Safety*.

Assessment of compliance of the product with the requirements relating to the essential requirements according to Article 3 R&TTE was based on Annex III of the Directive 1999/105/EC and the following standards:

EMC&RF:

**EN 301-489-5 V1.3.1:(2002-08)**  
**EN 301-489-1 V1.8.1:(2008-04)**

**EN 300-296-1 V1.1.1:(2001-03)**  
**EN 300-296-2 V1.1.1:(2001-03)**  
**EN 300-341-1 V1.3.1(200012)**  
**EN 300-341-2 V1.1.1(200012)**

Electrical Safety:

**EN 60950-1:2006**

 Waste electrical products must not be disposed of with household waste. This equipment should be taken to your local recycling centre for safe treatment.

The product is labelled with the European Approval Marking CE as show. Any Unauthorized modification of the product voids this Declaration.

Manufacturer / Importer  
(signature of authorized person) 

Signature: ( \_\_\_\_\_ ) \_\_\_\_\_ London,  
 Signature: \_\_\_\_\_ Place & Date: 8th Aug, 2010

### 11.3. Cómo se utiliza la aplicación

No se había proporcionado formación a los trabajadores sobre la utilización del equipo. El encargado realizó un estudio informal sobre la posición de uso, del cual resultó que los emisores-receptores se mantenían, bien delante de la cara, bien a un lado de ella. También se informó que las comunicaciones eran normalmente de corta duración: no más de algunas decenas de segundos por transmisión.

### 11.4. Método para la evaluación de la exposición

Al evaluar la exposición a transmisores colocados cerca del cuerpo, hay que determinar el cumplimiento de los VLE mediante modelos de ordenador. Esta determinación corresponde idealmente al fabricante. Sin embargo, si no se dispone de este dato, hay que proceder a una evaluación consultando información publicada para aparatos similares. (También se puede acudir al cuadro 3.2 del capítulo 3 del volumen 1 de la guía, para determinar si el equipo cumple *a priori* la Directiva CEM).

### 11.5. Resultados de la evaluación de la exposición

Tras telefonar a varios organismos públicos, el encargado recibió información relativa a determinados datos publicados sobre modelos de ordenador para un aparato similar que trabajaba a frecuencias parecidas (Dimbylow y otros). Los datos indicaban que la tasa específica de absorción de energía (SAR) máxima sobre 10 g de tejido continuo era de  $3,9 \text{ Wkg}^{-1}$  por watio de potencia de salida, para cualquier posición de trabajo cerca de la cara.

Para el cálculo de los VLE relacionados con los efectos para la salud de la exposición localizada en la cabeza a esta frecuencia ( $10 \text{ Wkg}^{-1}$ ) hay que promediar la exposición durante 6 minutos. Considerando que las comunicaciones eran bidireccionales, el encargado asumió un ciclo de trabajo máximo de transmisión del 50 %. Partiendo de los datos del modelo, el encargado pudo deducir que para superar el VLE haría falta un aparato con una potencia radiada efectiva por encima de 5 W.

No se disponía de información del fabricante sobre la potencia radiada efectiva de los emisores-receptores, pero el regulador había especificado que los aparatos no debían superar una potencia de salida de 0,5 W. El encargado pudo deducir, en consecuencia, que la exposición a los aparatos no superaría los VLE relacionados con efectos para la salud de la Directiva CEM.

### 11.6. Evaluación de riesgos

Los resultados de la evaluación de la exposición indican que el uso de los emisores-receptores no superará los VLE relacionados con efectos para la salud de la Directiva CEM. Sin embargo, existe la posibilidad de una interferencia con los dispositivos médicos implantados en los trabajadores o llevados por estos. Todo trabajador con dispositivos médicos debe someterse a una evaluación individual de riesgos en la que puedan identificarse y aplicarse las eventuales precauciones recomendadas por su especialista médico.

## 11.7. Precauciones ya adoptadas

No se habían adoptado todavía precauciones.

## 11.8. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

El encargado decidió aplicar unas pocas medidas sencillas:

- se dio a los trabajadores una charla en que se expuso cuándo y cómo utilizar el emisor-receptor, así como las posiciones recomendadas para sujetar el aparato;
- se pidió a los trabajadores ya existentes que informaran de si presentaban riesgos particulares, por ejemplo por llevar un marcapasos;
- se explora ahora a todos los trabajadores de nueva incorporación para ver si están expuestos a un riesgo especial.

## 12. AEROPUERTOS

Las fuentes de CEM son en este caso práctico las siguientes:

- radar de vigilancia aeroportuaria,
- radiofaro no direccional,
- equipo medidor de distancia.

### 12.1. Lugar de trabajo

En un aeropuerto internacional de aviones de pasajeros y carga se utilizaban el radar, el radiofaro no direccional (NDB) y el equipo medidor de distancia (DME). Los lugares de trabajo de interés en el aeropuerto eran los siguientes:

- la cabina de equipos de radar, que incluía el generador de radiofrecuencia (RF),
- la torre de celosía de acero en la que estaba montada la antena del radar,
- la torre de control de tránsito aéreo,
- la cabina de equipos de NDB, que incluía el generador de RF,
- el complejo en el que se encontraba la antena del NDB,
- le parque de bomberos del aeropuerto, que estaba situado cerca del NDB,
- la cabina del DME, que incluía el generador de RF,
- la zona que rodeaba la cabina del DME, en la que estaba montada la antena.

### 12.2. Naturaleza del trabajo

#### 12.2.1. Radar

La mayor parte del trabajo en el radar era realizado por técnicos de tránsito aéreo en la cabina de equipos. Estos trabajadores tenían que llevar a cabo ocasionalmente trabajos en la antena. Otros trabajadores del aeropuerto en la torre de control de tránsito aéreo, que estaba a unos 80 m del radar y con una altura similar, podían estar expuestos también a la radiación de RF de la antena y habían expresado cierta preocupación por ello.

#### 12.2.2. Radiofaro no direccional

La mayor parte del trabajo en el NDB lo realizaban técnicos en la cabina de equipos. A estos trabajadores se les pedía ocasionalmente que entraran en el complejo del NDB para sintonizar el NDB a fin de asegurar que cumplía las especificaciones de salida correctas: este ajuste se llevaba a cabo en un armario situado a unos pocos metros de la antena. La cercanía del NDB al parque de bomberos del aeropuerto era también causa de inquietud para los bomberos del aeropuerto.

### 12.2.3. Equipo medidor de distancia

La mayor parte del trabajo en el DME la realizaban técnicos en la cabina de equipos. A estos trabajadores se les pedía raramente que trabajaran en la propia antena, pero otros trabajadores del aeropuerto habían expresado cierta preocupación porque la antena estaba a solo 2,5 m por encima del suelo sin limitación de acceso.

## 12.3. Información sobre los equipos que producen CEM

### 12.3.1. Radares

El radar se compone de un generador de RF, que produce impulsos de radiación de RF, y una antena giratoria. El generador de RF estaba instalado en una cabina de equipos y la antena estaba montada en la parte superior de una torre de celosía de acero. La señal procedente del generador de RF se llevaba a la antena mediante una guía de onda rectangular. Se muestra un ejemplo del radar de vigilancia de un aeropuerto en la figura 12.1, y las especificaciones técnicas del radar, en el cuadro 12.1.

**Figura 12.1. Ejemplo de radar de vigilancia de un aeropuerto**



Cuadro 12.1. Especificaciones técnicas del radar de vigilancia del aeropuerto

Parámetros de funcionamiento	Valor
Frecuencia nominal de transmisión	3 GHz
Potencia de salida de pico nominal	De 480 a 580 kW
Potencia de salida media nominal	430 W
Longitud de los impulsos	De 0,75 a 0,9 $\mu$ s
Frecuencia de repetición de los impulsos	995 Hz
Velocidad de giro de la antena	15 rpm

### 12.3.2. Radiofaro no direccional

El NDB se compone de un generador de RF, que produce una señal de RF de amplitud modulada de 343 kHz con una potencia máxima de 100 W, y un transmisor autosoportante en forma de mástil de celosía de 15 m de alto. La antena estaba instalada dentro de un complejo que también incluía un armario en el que se encontraba el equipo de sintonización. El generador de RF estaba instalado en una cabina de equipos fuera del complejo de la antena.

### 12.3.3. Equipo medidor de distancia

El DME se componía de un generador de RF y una antena, que estaba montada en la cabina de equipos. El DME transmite impulsos de radiación de RF en respuesta a señales recibidas de aviones que se aproximan al aeropuerto. Las señales de RF se transmiten en un margen de frecuencias entre 978 y 1 213 MHz con una longitud de impulso de 3,5  $\mu$ s. El intervalo entre impulsos está entre 12 y 36  $\mu$ s.

## 12.4. Cómo se utilizan las aplicaciones

El radar, el NDB y el DME eran automáticos y se controlaban a distancia. Las modificaciones de los equipos y el trabajo ocasional de mantenimiento se encomendaban a técnicos, que a veces tenían que acceder a las antenas. En cada caso, se apagaba el generador de RF cuando se precisaba acceder a la antena.

## 12.5. Método para la evaluación de la exposición

Las mediciones de las exposiciones fueron hechas por un consultor experto que empleó instrumentos especiales (una antena receptora de guía «ridge» conectada a un analizador de espectro para hacer una evaluación detallada de la exposición de una señal de radar pulsada en lugares específicos, y un sensor de peligro de RF de tres ejes). Todas las mediciones se llevaron a cabo en sitios accesibles para los trabajadores mientras los equipos estaban transmitiendo.

### 12.5.1. Radar

Dada la naturaleza de la transmisión de la señal de radar (la señal de RF está formada por impulsos cortos y la antena gira), la exposición en cualquier lugar es no continua y, por lo tanto, había que hacer una detallada evaluación de la exposición considerando dos magnitudes:

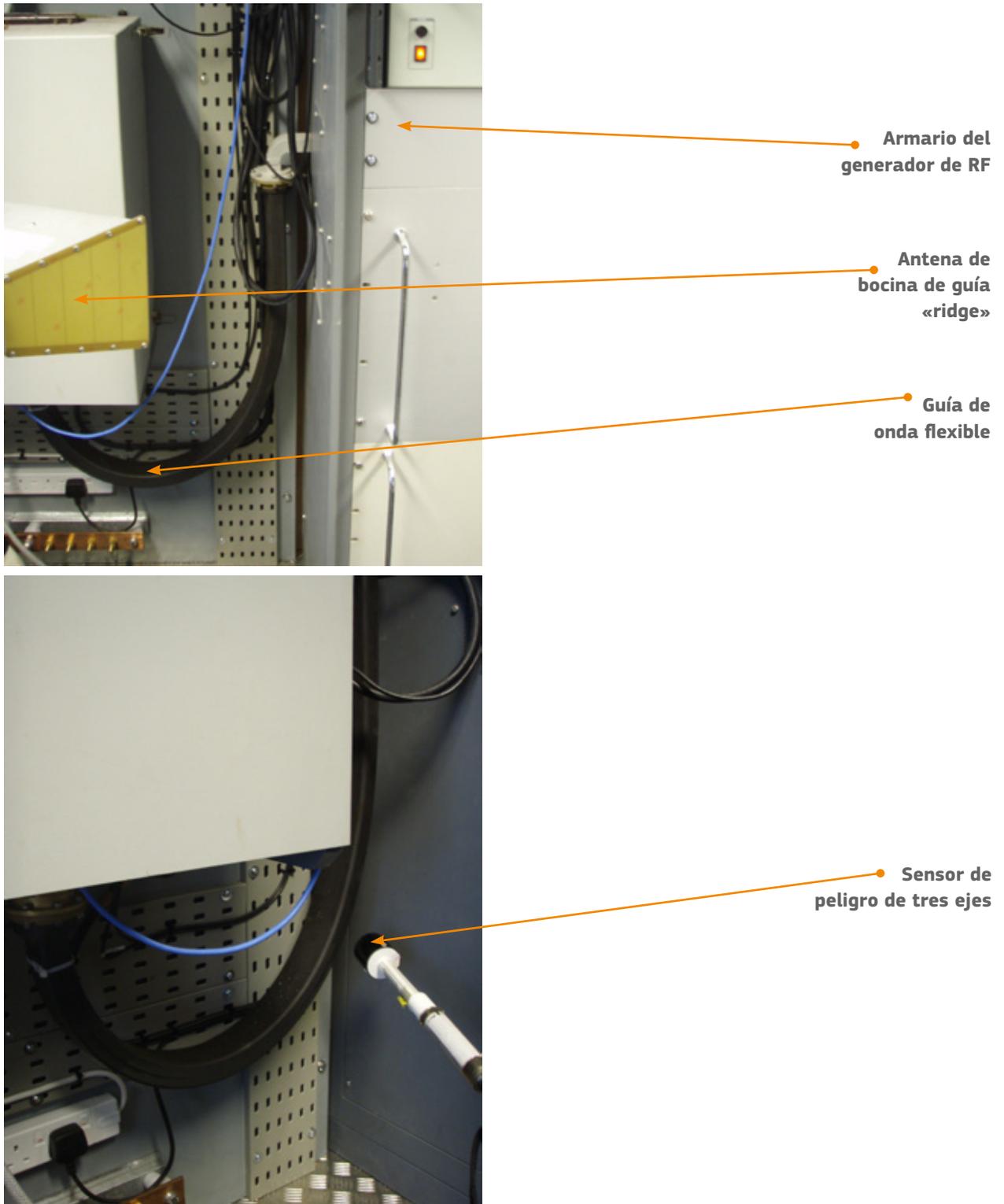
- densidad de potencia de pico, que es una medida de la exposición que puede recibir un trabajador de cada uno de los impulsos individuales de la señal de RF;
- la densidad de potencia media, que se calcula a partir de la densidad de potencia de pico y que es una medida de la exposición promedio a lo largo de varios minutos, teniendo en cuenta la naturaleza pulsátil de la señal de radar y el período de giro de la antena.

Se hicieron mediciones de la densidad de potencia en cuatro sitios de la torre de control de tránsito aéreo empleando la antena de guía «ridge» y el analizador de espectro.

También se hicieron mediciones de la intensidad de campo eléctrico en varios sitios utilizando el sensor de peligro de RF.

Se hicieron mediciones en la cabina de equipos, en la torre de antena, junto a la guía de onda (prestando particular atención a conectar las pestañas y cualquiera de las secciones de guía de onda flexible [figura 12.2]), la torre de control de tránsito aéreo y otras zonas alrededor del radar que eran accesibles a los trabajadores, incluidos los que presentaban riesgos particulares.

Figura 12.2. Mediciones realizadas alrededor de una guía de onda flexible en una cabina de equipos de radar



### 12.5.2. Radiofaro no direccional

Se hicieron mediciones de la intensidad de campo eléctrico empleando el sensor de peligro de RF en sitios accesibles a los trabajadores alrededor del NDB, prestando particular atención a las zonas ocupadas por los técnicos de tránsito aéreo y los bomberos del aeropuerto.

### 12.5.3. Equipo medidor de distancia

Se hicieron mediciones de la intensidad de campo eléctrico empleando el sensor de peligro de RF dentro de la cabina de equipos y en el punto más próximo a la antena fuera de la cabina, que era representativo de un trabajador que intenta alcanzar la antena con la mano mientras permanece a nivel del suelo.

## 12.6. Resultados de la evaluación de la exposición

Se comparó el resultado de las mediciones con los niveles de actuación (NA) correspondientes y los resultados significativos de la evaluación de la exposición se presentan en los cuadros 12.2, 12.3 y 12.4. Cuando se evaluó la exposición de los trabajadores con riesgos particulares, se comparó con los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo (véase el apéndice E del volumen 1 de la guía).

**Cuadro 12.2. Resumen de los resultados de la evaluación de la exposición al radar**

Emplazamiento	Magnitud medida	Resultado	Fracción de exposición (porcentaje)	
			Nivel de actuación relevante <sup>(1)</sup> ( <sup>2</sup> )	Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo <sup>(3)</sup>
Azotea de la torre de control de tránsito aéreo	Densidad de potencia de pico	33 000 Wm <sup>-2</sup>	66 %	330 %
	Densidad de potencia media	0,012 Wm <sup>-2</sup>	0,024 %	0,12 %
Cabina de equipos		< 0,1 Vm <sup>-1</sup>	< 0,1 %	< 0,2 %
A 10 cm de la guía de onda flexible en el exterior de la cabina de equipos		29 Vm <sup>-1</sup>	21 %	48 %
Posición del tronco en el acceso más próximo a la antena en la torre de antena	Intensidad de campo eléctrico máxima	31 Vm <sup>-1</sup>	22 %	51 %

<sup>(1)</sup> Se observó que no se habían dispuesto niveles de actuación en la Directiva CEM de la densidad de potencia de la radiación RF a frecuencias por debajo de 6 GHz, lo que es de particular importancia para las señales de RF de impulsos y, por eso, de acuerdo con el considerando 15 de la Directiva CEM, el consultor remitió a las pautas establecidas por la Comisión Internacional sobre Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) para la evaluación de la exposición a la radiación de impulsos de RF del radar, como sigue:

Nivel de referencia laboral de la densidad de potencia de pico para la radiación de impulsos de RF en frecuencias entre 2 y 300 GHz: 50 000 Wm<sup>-2</sup>  
 Nivel de referencia laboral para la densidad de potencia media para frecuencias en el margen de 2 a 300 GHz: 50 Wm<sup>-2</sup>

<sup>(2)</sup> Nivel de actuación de la intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de 2 a 6 GHz: 140 Vm<sup>-1</sup>

<sup>(3)</sup> Niveles de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo:

Densidad de potencia de pico de la radiación de impulsos de RF para frecuencias en el margen de 2 a 300 GHz: 10 000 Wm<sup>-2</sup>,  
 Densidad de potencia media para frecuencias en el margen de 2 a 300 GHz: 10 Wm<sup>-2</sup>,  
 Intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de 2 a 300 GHz: 61 Vm<sup>-1</sup>.

N.B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de ± 2,7 dB, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA/NR.

**Cuadro 12.3. Resumen de los resultados de la evaluación de la exposición al NDB**

Emplazamiento	Intensidad de campo eléctrico máxima ( $Vm^{-1}$ )	Fracción de exposición (porcentaje)		Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo <sup>(3)</sup>
		Nivel de actuación inferior <sup>(1)</sup>	Nivel de actuación superior <sup>(2)</sup>	
Cabina de equipos	100	59 %	17 %	120 %
Sala del personal del parque de bomberos	< 0,1	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,2 %
Barrera delimitadora del complejo NDB	270	160 %	45 %	310 %

<sup>1</sup> Nivel de actuación inferior de la intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de 3 kHz a 10 MHz: 170  $Vm^{-1}$

<sup>2</sup> Nivel de actuación superior de la intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de 3 kHz a 10 MHz: 610  $Vm^{-1}$

<sup>3</sup> Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo de la intensidad de campo eléctrico en el margen de frecuencias entre 150 kHz y 1 MHz: 87  $Vm^{-1}$

N.B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 2,7$  dB y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA/NR.

**Cuadro 12.4. Resumen de los resultados de la evaluación de la exposición al DME**

Emplazamiento	Intensidad de campo eléctrico máxima ( $Vm^{-1}$ )	Fracción de exposición (porcentaje)	
		Nivel de actuación <sup>(1)</sup>	Nivel de referencia de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo <sup>(2)</sup>
Cabina de equipos	< 0,1	< 0,2 %	< 0,3 %
2,5 m por encima del nivel del suelo, a 0,6 m de la antena	14	15 %	33 %

<sup>(1)</sup> Nivel de actuación más restrictivo de la intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de transmisión del DME de 978 a 1 213 MHz: 94  $Vm^{-1}$

<sup>(2)</sup> Nivel de referencia más restrictivo de la Recomendación 1999/519/CE del Consejo de la intensidad de campo eléctrico para frecuencias en el margen de transmisión del DME de 978 a 1 213 MHz: 43  $Vm^{-1}$

N. B.: Se estimó que la incertidumbre en las mediciones era de  $\pm 2,7$  dB, y de acuerdo con el método del «riesgo compartido» (véase el apéndice D5 del volumen 1 de la guía) se compararon los resultados directamente con los NA/RL.

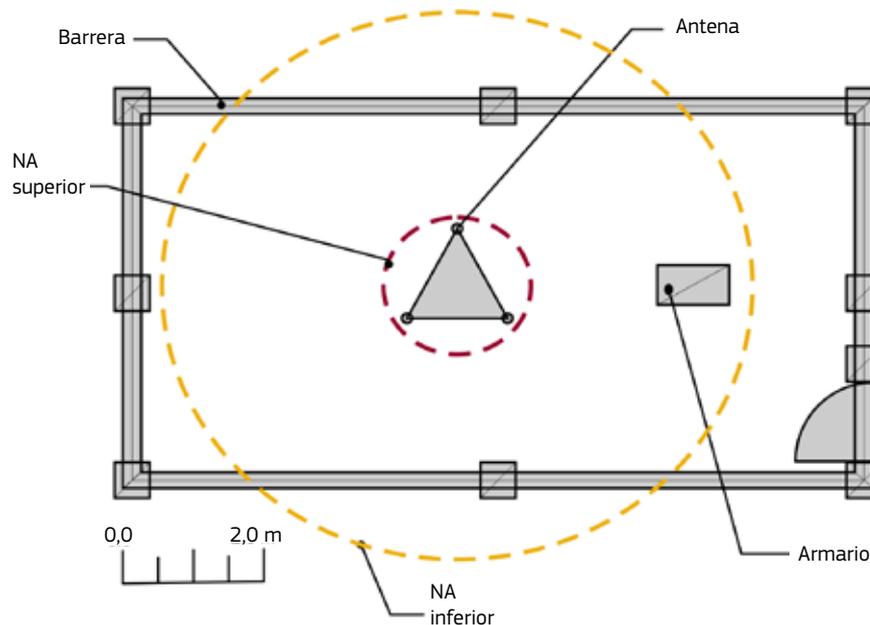
### 12.6.1. Radar

Los resultados de la evaluación de la exposición indicaron que la exposición a la radiación de RF del radar estaba por debajo de los NA de la Directiva CEM. Sin embargo, la evaluación puso de manifiesto algunas zonas en las que se superaban los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo, aunque era improbable que fueran ocupadas por ningún trabajador con riesgos particulares.

### 12.6.2. Radiofaro no direccional

La evaluación de la exposición indicó que la exposición a la radiación de RF del NDB estaba por encima del NA inferior de campo eléctrico (figura 12.3) y también por encima de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en zonas fuera de la barrera que rodea el NDB. Estas zonas podían verse ocupadas por los trabajadores, incluidos los que tienen riesgos particulares.

**Figura 12.3. Vista en planta que muestra los contornos dentro de los cuales podrían superarse los niveles de actuación en torno al radiofaro no direccional**



### 12.6.3. Equipo medidor de distancia

La evaluación de la exposición indicó que la exposición a la radiación RF del DME estaba por debajo del NA y por debajo también de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en todas las zonas accesibles que rodeaban el DME.

## 12.7. Evaluación de riesgos

El operador del aeropuerto efectuó evaluaciones de riesgos del radar, el NDB y el DME basándose en la evaluación de la exposición realizada por el consultor. Esta metodología era coherente con la propuesta por OiRA [la plataforma interactiva de evaluación de riesgos en línea de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA)]. La evaluación de riesgos llegó a las conclusiones siguientes:

- los trabajadores con riesgos particulares podían encontrarse en peligro por el radar en la azotea de la torre de control de tránsito aéreo;
- los trabajadores, incluidos los que presentaban riesgos particulares, tenían acceso no restringido a zonas alrededor del NDB en las que se superaba el NA inferior para efectos sensoriales, porque la barrera delimitadora había sido instalada demasiado cerca del transmisor;
- era poco probable que los trabajadores se encontraran en peligro en relación con el DME.

El operador del aeropuerto elaboró un plan de actuación a partir de la evaluación de riesgos y lo documentó en consecuencia.

En los cuadros 12.5, 12.6 y 12.7 se presentan ejemplos de evaluaciones de riesgos específicos de CEM para el radar, el NDB y el DME.



**Cuadro 12.6. Evaluación de riesgos específicos de CEM para el radiofaro no direccional**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos de la radiofrecuencia	Restricción física del acceso al complejo del transmisor para las personas no autorizadas	Técnicos	✓				✓		Bajo	Cambio de lugar de la barrera delimitadora para cubrir toda la zona en que la intensidad de campo eléctrico supera el nivel de actuación inferior
	Un sencillo procedimiento que garantiza la desconexión del transmisor siempre que se precise acceder junto a la antena	Trabajadores del aeropuerto	✓				✓		Bajo	Inclusión de advertencias concretas en la información de seguridad del emplazamiento
	Señales de advertencia únicamente de riesgo de choque eléctrico	Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)	✓			✓			Bajo	Colocación de señales apropiadas de advertencia del peligro de radiofrecuencia en los puntos de acceso al complejo del NDB.  Preparación de un procedimiento para la realización del ajuste del NDB.  Formación de seguridad de RF a los técnicos que efectúan la sintonización de la señal del NDB
Efectos indirectos de la radiofrecuencia (interferencia con implantes médicos)	Señales de advertencia únicamente de riesgo de choque eléctrico  Se instruirá a todos los trabajadores para que informen al operador del aeropuerto si llevan un implante médico	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Medio	Véase más arriba

**Cuadro 12.7. Evaluación de riesgos específicos de CEM para el equipo medidor de distancia**

Peligros	Medidas preventivas y de precaución existentes	Personas expuestas a riesgo	Gravedad			Probabilidad			Evaluación de riesgos	Nuevas acciones preventivas y de precaución
			Leve	Grave	Mortal	Improbable	Posible	Probable		
Efectos directos de la radiofrecuencia	Un sencillo procedimiento que garantiza la desconexión del transmisor siempre que se precise acceder junto a la antena	Técnicos	✓			✓			Bajo	Ninguna
		Trabajadores del aeropuerto	✓			✓			Bajo	
		Trabajadores con riesgos particulares (incluidas las trabajadoras embarazadas)	✓			✓			Bajo	
Efectos indirectos de la radiofrecuencia (interferencia con implantes médicos)	Se instruirá a todos los trabajadores para que informen al operador del aeropuerto si llevan un implante médico	Trabajadores con riesgos particulares		✓		✓			Bajo	Ninguna

## 12.8. Precauciones ya adoptadas

### 12.8.1. Radar

Varias medidas de protección y prevención estaban asociadas al radar, como:

- la cabina de equipos y la torre de antena se encontraban en un complejo rodeado por una barrera que formaba un perímetro seguro;
- la puerta de la cabina de equipos y la cancela del complejo estaban cerradas con llave cuando no había nadie y el acceso a las llaves estaba permitido nada más a trabajadores autorizados;
- la escalera para acceder a la torre de antena estaba cerrada con llave tras una cancela separada dentro del complejo;
- se habían colocado señales de advertencia (figura 12.4) en la cancela del complejo del radar y en la de la escalera que accede a la torre de antena;
- sistemas de bloqueo en el armario del generador de RF de la cabina de equipos;
- un sencillo procedimiento para garantizar la desconexión del generador de RF siempre que se precisaba acceder a la torre de antena;
- una protección que garantiza la desconexión del generador de RF si el radar deja de girar;
- se instruía a todos los trabajadores para que informasen al operador del aeropuerto si llevaban un implante médico.

**Figura 12.4. Señales de advertencia en la cancela del complejo del radar (izquierda) y en la de la torre de antena (derecha)**



### 12.8.2. Radiofaro no direccional

Antes de que el consultor llevara a cabo la evaluación de la exposición había muy pocas medidas de protección y prevención aplicadas. Se limitaban a:

- una barrera delimitadora alrededor del transmisor;
- señales de advertencia del peligro de choque eléctrico colocada en la barrera que rodeaba al NDB;
- un sencillo procedimiento para garantizar la desconexión del generador de RF siempre que se precisaba acceder a la torre de antena;
- se instruía a todos los trabajadores para que informasen al operador del aeropuerto si llevaban un implante médico.

### 12.8.3. Equipo medidor de distancia

Antes de la evaluación de la exposición solo existía un sencillo procedimiento que garantizaba la desconexión del generador de RF cuando se precisaba acceder junto a la antena.

## 12.9. Otras precauciones como consecuencia de la evaluación

### 12.9.1. Radar

Las medidas de protección y prevención existentes aseguraban que las exposiciones de los trabajadores del aeropuerto estaban generalmente por debajo de los NA pertinentes y de los niveles de referencia dados en la Recomendación 1999/519/CE del Consejo en las zonas en que se habían hecho las mediciones. La única excepción era la azotea de la torre de control de tránsito aéreo, donde los trabajadores con riesgos particulares podían encontrarse en peligro de exposición a la radiación RF emitida por el radar, aunque se consideraba improbable que tuvieran que acceder a esa zona.

Como resultado de la evaluación de la exposición, el operador del aeropuerto aplicó algunas recomendaciones de menor importancia siguiendo la opinión del consultor:

- señales de advertencia que incluían el pictograma de la antena emitiendo y las palabras «Cuidado, radiación no ionizante» colocadas en la puerta que daba acceso a la azotea de la torre de control de tránsito aéreo;
- se recordó a los trabajadores del aeropuerto la importancia de informar al operador de este si llevaban un implante médico;
- se incorporaron a la información de seguridad del emplazamiento advertencias relacionadas concretamente con los peligros de la radiación no ionizante asociada al radar.

Aunque no se aplicara en este caso, vale la pena señalar la existencia de una medida de protección adicional, conocida como «cegado de sectores», consistente en hacer funcionar la transmisión de radar con potencia reducida en una zona de giro predeterminada en caso de que una evaluación de la exposición identifique un riesgo importante de exposición a la radiación RF de un radar. Esta medida exigiría la programación del radar para reducir o desconectar la alimentación de la radiación de RF para la parte de la rotación en la que la antena apunte hacia la zona en cuestión. Ahora bien, el uso del cegado de sector debe estudiarse con mucho cuidado y hay que ponderar sus puntos favorables con los riesgos debidos a la falta de datos de vigilancia resultante al transmitir el radar con una potencia reducida.

### 12.9.2. Radiofaro no direccional

Se observó que las medidas de protección y prevención existentes eran inadecuadas y se dispusieron varias nuevas medidas.

Como resultado de la evaluación de la exposición, el operador del aeropuerto aplicó varias recomendaciones siguiendo la opinión del consultor:

- se desplazó la barrera delimitadora que rodeaba el NDB, separándola del transmisor, de forma que incluyera la zona en la que la intensidad de campo eléctrico superaba el NA inferior. Se observó que una alternativa a esta solución habría sido impartir formación a los trabajadores que tuvieran que acceder a la zona, pero se considera más fácil y eficaz el desplazamiento de la barrera;
- se colocaron en la cancela del complejo del NDB señales de advertencia que incluían el pictograma de la antena radiante y las palabras «Cuidado, radiación no ionizante»;
- se elaboró un procedimiento para la sintonización de la señal del NDB;
- se impartió formación sobre radiación RF a los técnicos que tenían que efectuar la sintonización del NDB en el interior del complejo;
- se recordó a los trabajadores del aeropuerto la importancia de informar al operador de este si llevaban un implante médico;
- se incorporaron a la información de seguridad del emplazamiento advertencias relacionadas concretamente con los peligros de la radiación no ionizante asociada al NDB.

### 12.9.3. Equipo medidor de distancia

- No se aplicaron otras medidas de protección y prevención, ya que se entendió que las existentes eran adecuadas.

La Directiva 2013/35/UE establece los requisitos mínimos de seguridad relativos a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los campos electromagnéticos (CEM). La presente guía práctica se ha elaborado para ayudar a los empresarios, y en particular a las pequeñas y medianas empresas, a comprender lo que deben hacer para dar cumplimiento a la Directiva. No obstante, también puede ser útil para los trabajadores, los representantes de estos y las autoridades reguladoras de los Estados miembros. Se compone de dos volúmenes y de una guía específica para las pymes.

El volumen 1 de la guía práctica ofrece asesoramiento sobre la realización de evaluaciones de riesgos y también sobre las opciones de las que pueden disponer los empresarios que han de aplicar medidas adicionales de protección o de prevención.

El volumen 2 presenta doce casos prácticos que muestran a los empresarios la manera de enfocar las evaluaciones e ilustran algunas de las medidas de prevención y protección que pueden seleccionarse y aplicarse. Los casos prácticos se presentan en el contexto de lugares de trabajo genéricos, pero se han recogido a partir de situaciones reales de trabajo.

La guía para las pymes le ayudará a usted a llevar a cabo una evaluación inicial de los riesgos derivados de los CEM en su lugar de trabajo. Sobre la base de los resultados de esta evaluación, le ayudará a decidir si debe tomar alguna otra medida como consecuencia de la Directiva CEM.

Esta guía se publica en formato electrónico en todas las lenguas oficiales de la UE.

---

Puede descargar nuestras publicaciones o suscribirse de manera gratuita en la página:

<http://ec.europa.eu/social/publications>

Si desea recibir noticias periódicas sobre la Dirección General de Empleo, Asuntos Sociales e Inclusión, regístrese para recibir el boletín electrónico gratuito Social Europe en la página:

<http://ec.europa.eu/social/e-newsletter>



<https://www.facebook.com/socialeurope>



[https://twitter.com/EU\\_Social](https://twitter.com/EU_Social)

