

## ENDPOINTS FOR OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS IN UTILITY TUNNELS

Calvo-Peña, V.<sup>(p)</sup>; Curiel-Esparza, J.; Cantó-Perelló, J.

### Abstract

It is now considered necessary to introduce measures to protect workers from the risks associated with electromagnetic fields (EMF) due to its effects on health and safety.

To ensure that exposure guidelines provide a general protection community, the risk to health includes recommendations based on criteria above. An intrinsic part of the risk analysis process to EMF is the precautionary principle. The degree to which caution is applied in the interpretation of scientific evidence is a matter of opinion should be consistent.

The recommended values for exposure restrictions are trials that have been made with the uncertainty of scientific data on adverse effects in that such restrictions are based. This communication examines the main sources of EMFs in utility tunnels and the limit values and reference levels to be considered for occupational exposure to EMF.

*Key Words: electromagnetic field, occupational exposure, utility tunnel*

### Resumen

Actualmente, se considera necesario establecer medidas que protejan a los trabajadores de los riesgos asociados a los campos electromagnéticos (CEM), debido a sus efectos en la salud y la seguridad.

Para asegurar que las directrices de exposición proporcionan una protección general comunitaria, el análisis de riesgo para la salud incluye recomendaciones basadas en criterios superiores. Una parte intrínseca del proceso de análisis de riesgos a CEM es el principio de precaución. El grado al cual la precaución es aplicada en la interpretación de las evidencias científicas es una materia de juicio que debería ser consistente.

Los valores recomendados para las restricciones de exposición, son juicios que han sido hechos con el grado de incertidumbre de los datos científicos sobre los efectos adversos en los que tales restricciones están basadas.

En esta comunicación se analizarán las principales fuentes de CEM en las galerías de servicio y los valores límite y niveles de referencia a tener en cuenta para la exposición laboral a CEM.

*Palabras clave: campo electromagnético, exposición laboral, galería de servicio*

### 1. Introducción

Las galerías de servicio son sistemas capaces de integrar diferentes servicios urbanos en un espacio fácilmente accesible desde cualquier punto de su longitud. Nos centraremos en esta comunicación en las galerías de servicios "visitables", que son aquellas en las que una persona puede recorrer su longitud (Figura 1).

Las galerías de servicio son un ejemplo particular de un espacio de trabajo confinado. Por definición, un espacio confinado está diseñado para ocuparlo un empleado de forma no

continua. Las galerías de servicio pueden contener conductos de agua potable, líneas de agua para refrigeración, tuberías de aguas recicladas, desagües sanitarios, tuberías de vapor, líneas eléctricas, cables de telecomunicación, cables de señales y en algunos casos servicios de gas.



Figura 1. Galería de servicio visitable

Entre las principales ventajas que aporta la galería de servicio podemos destacar la supresión de las zanjas y catas que continuamente surgen en el viario público, disminuyendo de esta forma las molestias al tráfico rodado, evitándose estrangulamientos y peligros.

Otra ventaja es que el uso de galerías de servicios trae consigo un ahorro económico en la explotación de los servicios urbanos. No es necesaria la excavación de zanjas, tan solo aparece el coste de las conducciones y su montaje [1].

Una galería de servicio implica un grado de mantenimiento que depende de la peligrosidad del tipo de instalaciones que pueda alojar, así como la propia característica de la construcción subterránea.

Cada construcción del subsuelo tiene unos riesgos específicos identificables. Algunos son obvios, mientras que otros pueden ser encontrados en estándares nacionales o internacionales. Sin embargo, las galerías de servicios no cuentan con una lista de riesgos claramente identificada [2].

El objetivo del análisis de riesgo es promover y mantener un ambiente seguro y saludable, especialmente en un lugar de trabajo, proporcionando una gestión del riesgo de calidad. Por un lado, se deben identificar los riesgos o peligros que podrían amenazar la confianza, seguridad, operación y mantenimiento. Por otro lado, es necesario catalogar todas las consecuencias adversas e identificar sus causas.

En esta comunicación se tratará de buscar la forma de evaluar los riesgos de exposición a CEM debidos a las líneas eléctricas y centros de transformación que albergan las galerías

de servicios, identificando el tipo de radiación, así como las normas a tener en cuenta para el riesgo de exposición a estas radiaciones electromagnéticas.

## 2. Identificación de los CEM en galerías de servicios

Cuando se estudian los efectos biológicos de radiaciones electromagnéticas (Figura 2) es importante distinguir dos rangos de radiaciones: ionizantes y no-ionizantes, cuyos mecanismos de interacción con los tejidos vivos son muy diferentes. La ionización es un proceso por el cual los electrones son desplazados de los átomos y moléculas. Este proceso puede generar cambios moleculares potencialmente capaces de dar lugar a lesiones en los tejidos biológicos, incluyendo efectos en el material genético (ADN). Las radiaciones no ionizantes comprenden la porción del espectro electromagnético cuya energía no es capaz de romper las uniones atómicas, incluso a intensidades altas. No obstante, estas radiaciones pueden ceder energía suficiente, cuando inciden en los organismos vivos, como para producir efectos térmicos (de calentamiento) tales como los inducidos por las microondas. También, las radiaciones no ionizantes intensas de frecuencias bajas pueden inducir corrientes eléctricas en los tejidos, que pueden afectar al funcionamiento de células sensibles a dichas corrientes, como pueden ser las células musculares o las nerviosas [3].

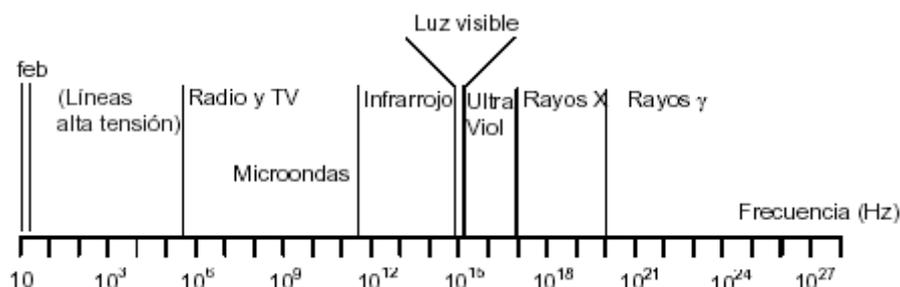


Figura 2. Espectro electromagnético

Evidentemente en una galería de servicio solamente encontraremos fuentes que generan campos de frecuencia inferior a 300 Hz, correspondientes a las líneas de energía eléctrica de baja, media o alta tensión, los aparatos que pudieran llevar los trabajadores de mantenimiento para la realización de alguna de sus tareas y también los campos electromagnéticos generados en centros de transformación que pudiera alojar la galería de servicio. El sistema eléctrico funciona a frecuencia extremadamente baja, FEB, (50Hz ó 60Hz en países como estados Unidos, lo que se denomina “frecuencia industrial”), dentro de la región de las radiaciones no ionizantes del espectro, por lo que transmiten muy poca energía [4]. Las líneas eléctricas generan un campo eléctrico y magnético de frecuencia industrial, cuya intensidad dependerá de diversos factores, como voltaje, potencia eléctrica que transportan, número de conductores, distancia a la que se esté de los cables, etc (Figura 3).

Según definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la salud es un estado de bienestar físico, mental y social, no meramente la ausencia de enfermedad o trastorno.

Un efecto biológico se produce cuando la exposición a los CEM provoca una respuesta fisiológica detectable en un sistema biológico. Un efecto biológico es nocivo para la salud cuando sobrepasa las posibilidades de compensación normales del organismo [5].

Estudios de laboratorio han proporcionado indicios de que los CEM no ionizantes, de intensidades relativamente bajas, podrían inducir determinadas respuestas biológicas. Sin

embargo, por la propia metodología de esos estudios, la extrapolación de los datos a efectos sobre la salud de las personas no puede hacerse directamente [6].



Figura 3. Líneas eléctricas en una galería de servicios

### 3. Normativa sobre niveles de exposición laboral a campos electromagnéticos

Actualmente, se considera necesario establecer medidas que protejan a los trabajadores de los riesgos asociados a los campos electromagnéticos, debido a sus efectos en la salud y la seguridad de los trabajadores. Sin embargo, no se abordan los efectos a largo plazo, incluidos los posibles efectos carcinógenos de la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, sobre los cuales no hay pruebas científicas concluyentes que establezcan una relación de causalidad.

De forma general, a la exposición laboral a CEM se le puede aplicar la misma legislación general que a las radiaciones ópticas, para proteger la salud y seguridad de los trabajadores (Ley 31/1995, RD 39/1997 "Servicios de Prevención", RD 1215/1997 "equipos de trabajo"), y también la legislación de seguridad aplicable a la comercialización de equipos (RD 1435/1992 "máquinas"). En todo lo relacionado con el transporte y distribución de energía eléctrica existe la obligación de cumplir el Reglamento de líneas eléctricas de alta tensión (MINER D 3151/68 de 28 de nov., BOE 8/3/69).

El ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) es una comisión internacional de expertos creada en 1992, procedente del IRPA (International Radiation Protection Association). En 1998 el ICNIRP publicó una guía para limitar la exposición a CEM alternos que incluye todas las frecuencias hasta 300 GHz, y sustituye a las anteriores guías publicadas para cada intervalo de frecuencias. En ella propone continuar con valores similares excepto para las frecuencias típicas de la red eléctrica (50 Hz), para las que propone rebajar los valores de referencia; esta propuesta puede influir en la modificación de las normas de la UE.

Las normas UNE-ENV 50166 – 1 "Exposición humana a CEM de baja frecuencia (0 Hz a 10 kHz )" y UNE-ENV 50166-2 "Exposición humana a CEM de alta frecuencia (10 kHz a 300 GHz)" que establecían niveles de referencia, fueron retiradas en Junio del 2000, por lo que actualmente los valores que aplica el INSHT para valorar la exposición a CEM son los contenidos en las guías publicadas por el ICNIRP; "Directrices para limitar la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables con el tiempo (hasta 300

GHz)” 1998, “Directrices para limitar la exposición a campos magnéticos estáticos” 1994. Estos valores son también los adoptados, como requisitos mínimos, en la Directiva 2004/20/CE del Parlamento Europeo para la protección de los trabajadores a CEM.

La observancia de los valores límite de exposición o restricciones básicas y de los valores que dan lugar a una acción o niveles de referencia debe proporcionar un elevado nivel de protección contra los efectos para la salud conocidos que pueden derivarse de la exposición a campos electromagnéticos. Siendo los "valores límite de exposición", los límites de la exposición a campos electromagnéticos basados directamente en los efectos sobre la salud conocidos y en consideraciones biológicas. El cumplimiento de estos límites garantizará que los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos estén protegidos contra todo efecto nocivo conocido para la salud.

Así, se entiende por "valores que dan lugar a una acción", el nivel de los parámetros directamente medibles, expresados en términos de intensidad de campo eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H), densidad de flujo magnético o inducción magnética (B) y densidad de potencia (S), ante el cual deben tomarse una o más medidas. El respeto de estos valores garantizará la conformidad con los correspondientes valores límite de exposición.

Dependiendo de la frecuencia, para la especificación de los valores límite de exposición a campos electromagnéticos se emplean las siguientes magnitudes físicas (Tabla 1):

- se proporcionan valores límite de exposición para la densidad de corriente para campos variables en el tiempo hasta 1Hz, con el fin de prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central,
- entre 1 Hz y 10 Mhz se proporcionan valores límite de exposición para la densidad de corriente, con el fin de prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso central,
- entre 100 kHz y 10 GHz se proporcionan valores límite de exposición para el SAR, con el fin de prevenir la fatiga calorífica de cuerpo entero y un calentamiento local excesivo de los tejidos. En la gama de 100 kHz a 10 MHz se proporcionan valores límite de exposición para la densidad de corriente y el SAR,
- entre 10 GHz y 300 GHz se proporcionan valores límite de exposición para la densidad de potencia, con el fin de prevenir un calentamiento excesivo de los tejidos en la superficie corporal o cerca de ella.

Gama de frecuencia	Densidad de corriente para cabeza y tronco J (mA/m <sup>2</sup> ) (rms)	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR localizado (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR localizado (extremidades) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m <sup>2</sup> )
Hasta 1 Hz	40	-	-	-	-
1 – 4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 – 1000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz – 100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
10 MHz –10 GHz	-	0,4	10	20	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	50

Tabla 1. Valores límite de exposición (ICNRP) para exposición laboral a campos eléctricos y magnéticos (0 Hz a 300 GHz).

Los valores que dan lugar a una acción incluidos en el Tabla 2 se obtienen a partir de los valores límite de exposición conforme al criterio seguido por la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes en sus directrices sobre la limitación de la exposición a las radiaciones no ionizantes [7].

Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico, E (V/m)	Intensidad de campo magnético, H (A/m)	Inducción magnética, B ( $\mu$ T)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, $S_{eq}$ (W/m <sup>2</sup> )	Corriente de contacto, $I_C$ (mA)	Corriente inducida en las extremidades, $I_L$ (mA)
0 – 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-	1,0	-
1 – 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-	1,0	-
8 – 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-	1,0	-
0,025 – 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-	1,0	-
0,82 – 2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5 – 65 kHz	610	24,4	30,7	-	$0,4 f$	-
65 – 100 kHz	610	$1600 / f$	$2000 / f$	-	$0,4 f$	-
0,1 – 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	-	40	-
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	-	40	-
10 – 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400 – 2000 MHz	$3f^{3/2}$	$0,008f^{3/2}$	$0,01f^{3/2}$	$f/40$	-	-
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-

Tabla 2. Valores que dan lugar a una acción (ICNRP) para exposición laboral a campos eléctricos y magnéticos (0 Hz a 300 GHz, valores RMS imperturbados).

A continuación se representa gráficamente (Figuras 4 y 5) los niveles de referencia tanto para la protección del público en general como laboral contemplados en las guías del ICNIRP.

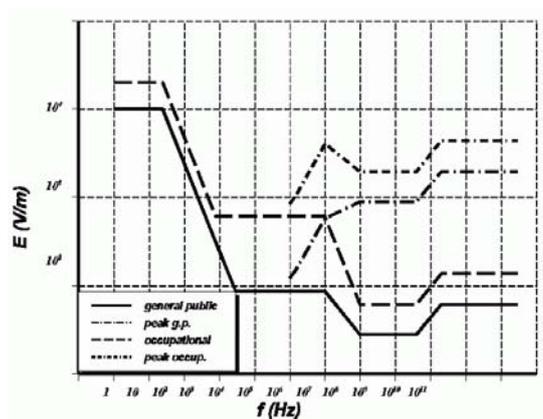


Figura 4. Niveles de Referencia para el Campo Eléctrico (V/m)

Generalmente, la exposición laboral concierne a la salud de los adultos que trabajan bajo condiciones controladas. Estas condiciones incluyen la oportunidad para aplicar medidas de ingeniería y administrativas que proporcionen una protección personal. De ahí que los niveles de referencia sean mayores que los del público en general [8].

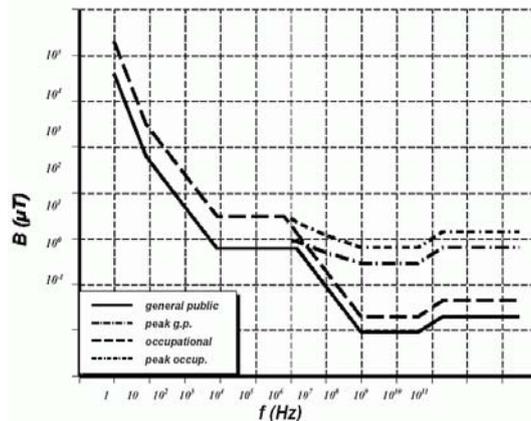


Figura 5. Niveles de Referencia para el Campo Magnético (mT)

#### 4. Conclusiones

Al evaluar los riesgos, se concederá particular atención a los siguientes aspectos (Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo):

- a) el nivel, el espectro de frecuencia, la duración y el tipo de la exposición;
- b) los valores límite de exposición y los valores que dan lugar a una acción.
- c) los posibles efectos en la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos particulares;
- d) los posibles efectos indirectos tales como:
  - i. las interferencias con equipos y dispositivos médicos electrónicos (incluidos los marcapasos cardíacos y otros dispositivos implantados),
  - ii. el riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos con una densidad de flujo magnético superior a 3 mT,
  - iii. la activación de dispositivos electro-explosivos (detonadores),
  - iv. los incendios y las explosiones resultantes del encendido de materiales inflamables debidos a chispas causadas por campos inducidos, corrientes de contacto o descargas de chispas;
- e) la existencia de equipos sustitutivos concebidos para reducir los niveles de exposición a campos electromagnéticos;
- f) la información pertinente obtenida de la vigilancia de la salud, incluida la información publicada, en la medida en que sea posible;
- g) las fuentes de exposición múltiples;
- h) la exposición simultánea a campos de múltiples frecuencias.

La evaluación de riesgos se actualizará periódicamente, en particular si se han producido cambios significativos que pudieran dejarla desfasada, o siempre que los resultados de la vigilancia de la salud pongan de manifiesto su necesidad.

Para evitar o reducir riesgos se procurará limitar la duración e intensidad de la exposición, así como la disponibilidad de equipo adecuado de protección personal. Además, los lugares de trabajo en que los trabajadores puedan estar expuestos a campos electromagnéticos que superen los valores que dan lugar a una acción se señalarán adecuadamente. Asimismo, cuando sea posible desde el punto de vista técnico y exista el riesgo de que se superen los

valores límite de exposición, se identificarán esos lugares y se limitará el acceso a los mismos.

Se debe velar por que los trabajadores que se vean expuestos en el lugar de trabajo a riesgos derivados de campos electromagnéticos y/o sus representantes reciban la información y formación necesarias sobre el resultado de la evaluación de riesgos.

Con el fin de prevenir y diagnosticar lo más rápidamente posible cualquier efecto adverso para la salud debido a la exposición a campos electromagnéticos, deberá llevarse a cabo, una adecuada vigilancia de la salud. En cualquier caso, cuando se detecte una exposición que supere los valores límite, deberá procederse a un examen médico del trabajador o los trabajadores en cuestión, de conformidad con la legislación y la práctica nacionales. En caso de detectarse daños en la salud como consecuencia de esta exposición, se debe efectuar una nueva evaluación de los riesgos (Recomendación del Consejo 1999/519/CE.DOCE30.7.1999.L199/59).

## Referencias

- [1] Cano-Hurtado J.J. and Canto-Perello J., “Sustainable development of urban Underground space for utilities Tunnel”, *Underground Space Technol*, 14 (3), 1999, pp. 335-340.
- [2] Canto-Perello J. and Curiel-Esparza J., “Risks and potencial hazards in utility tunnels for urban areas”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer* 156, 2003, pp. 51-56.
- [3] Porte C.J. and Wolfe M.S., “Assessment of the Health Effects from Exposure to Power-line frequency Electric and magnetic Fields”, NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) Working Group Report, Resarch Triangle Park, NC, US national Institutes of Health, NIH Publication No. 98-3981, 1998, p311.
- [4] REE (Red Eléctrica de España), “Resumen sobre los campos eléctricos y magnéticos generados por instalaciones eléctricas de alta tensión”, 2003.
- [5] Organización Mundial de la Salud, “Health effects from exposure to electric and magnetic fields (up to 300 GHz)”, 2000.
- [6] Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Dirección General de Salud Pública. Ministerio de Sanidad y Consumo, “Evaluación actualizada de los campos electromagnéticos en relación con la salud pública. Informe técnico elaborado por el comité técnico de expertos” 2003.
- [7] ICNIRP, “Internacional Comision on Non Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, 1998.
- [8] NRPB, “Nacional Radiological Protection Board. Advine on Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300 GHz)”, Oxfordshire. 15 (2), 2004.

## Correspondencia:

Vicente Calvo Peña

Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Física Aplicada

Camino de Vera, s/n

46022 Valencia, Spain

Phone: 660 75 81 76 E-mail: [vicalpe@fis.upv.es](mailto:vicalpe@fis.upv.es)