

## **ANALYSIS OF THE MEASUREMENTS REPORTED OCCUPATIONAL EXPOSURE TO EMF IN UTILITY TUNNELS**

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

### **Abstract**

Workers in the utility tunnels can be found at any point along its length making some kind of maintenance operation, as well they should also go to the utility tunnel to see the good of it and its services.

This communication is the analysis on the measurements recorded occupational exposure to electromagnetic fields (EMF) in utility tunnels.

The sources of EMF in utility tunnels are mainly low and medium voltage power lines, while also electrical transformers in certain sections.

Have been taken as reference levels for occupational exposure to EMF those established by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). It will check compliance with these guidelines, by comparison with the reference levels.

Following the sampling strategy in the measurement protocol, measurements were carried out by a previous tour of the utility tunnels.

*Key Words: electromagnetic field, utility tunnel, reference level*

### **Resumen**

Los trabajadores de las galerías de servicio pueden encontrarse en cualquier punto de su recorrido realizando algún tipo de operación de mantenimiento, además éstos también deben de recorrer la galería para comprobar el buen estado de la misma y sus servicios.

En esta comunicación se muestra el análisis realizado sobre las mediciones registradas de la exposición de los trabajadores a campos electromagnéticos (CEM) en galerías de servicio.

Las fuentes de CEM en estas galerías son principalmente líneas eléctricas de baja y media tensión, encontrándose también centros de transformación en determinados tramos.

Se han tomado como niveles de referencia para la exposición laboral a CEM los establecidos por la Comisión Internacional de Protección a la Radiación No-Ionizante (ICNIRP). Se verificará el cumplimiento de estas directrices, mediante la comparación con los niveles de referencia.

Siguiendo con la estrategia de muestreo establecida en el protocolo de medición, las mediciones se llevaron a cabo mediante un recorrido previo de las galerías de servicio.

*Palabras clave: campo electromagnético, galería de servicio, nivel de referencia.*

### **1. Introducción**

Las galerías de servicios son sistemas de colección de instalaciones urbanas que por sus características y dimensiones, permiten un fácil acceso en cualquier punto de su recorrido, para realizar la instalación, mantenimiento o reparación de las instalaciones que albergan. La galería de servicio se materializa a través de un sistema constructivo que se debe

disponer preferentemente bajo las aceras, salvo en casos de falta de espacio o saturación de canalizaciones preexistentes. Su tipología es muy amplia, y sus criterios de clasificación son variados [1] (Figura 1).



Figura 1. Galería de servicio visitable

Los servicios canalizables a través de las galerías de servicios pueden ser variados en dimensiones, número y tipología, pero básicamente se encuentran los siguientes:

Agua potable, agua de riego, aguas residuales, energía eléctrica (alta y baja tensión), calefacción, gas, cables telefónicos, cables de fibra óptica, redes informáticas, servicios municipales (semáforos, alumbrado, etc.).

Las galerías de servicios visitables se usan, preferentemente, para instalaciones eléctricas de potencia, cables de control y telecomunicaciones. Los cables deberán estar fijados a las paredes o a estructuras de la galería mediante elementos de sujeción (regletas, ménsulas, bandejas, bridas, etc.).

En relación con las líneas eléctricas, podemos hablar de los posibles riesgos para la salud de los trabajadores de las galerías de servicios debidos a las exposiciones a campos electromagnéticos. Algunos estudios epidemiológicos tanto ocupacionales como no ocupacionales han encontrado asociaciones positivas entre las exposiciones a CEM y enfermedades tales como el cáncer y desórdenes reproductivos y neurológicos. El análisis de los efectos para la salud se ha visto impedido por la escasez de datos sobre las exposiciones a CEM, así como por una inadecuada comprensión de por qué los humanos y otros sistemas vivos no pueden ser sensibles a tales exposiciones. Se debería por tanto estimar la exposición a campos electromagnéticos del trabajador. Esta estimación puede conseguirse mediante una estrategia que lleve a la monitorización individual, de forma que se puedan medir las exposiciones durante un período considerado.

## **2. Registro de las mediciones de exposición laboral a CEM en galerías de servicios**

En este epígrafe se muestran las mediciones realizadas de la exposición de los trabajadores de una galería de servicio a campos electromagnéticos, para analizar la posibilidad de que supongan algún riesgo para la salud (Figura 2).

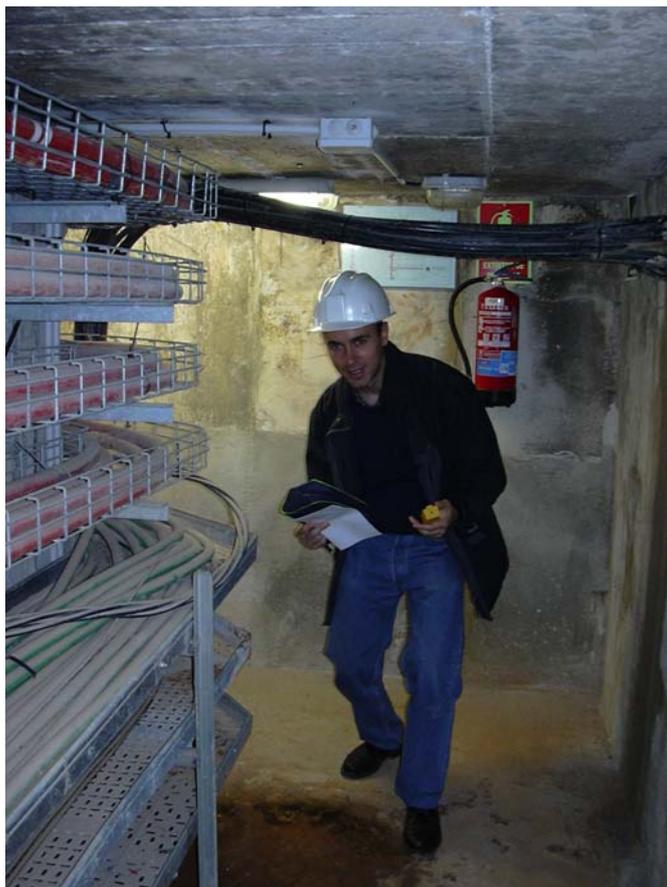


Figura 2. Medición de la exposición de CEM debido a los cables eléctricos en la galería de servicios

Se han tomado como niveles de referencia para la exposición laboral a CEM los establecidos por la Comisión Internacional de Protección a la Radiación No-Ionizante (ICNIRP), Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) [2]. Con el monitor RadMan XT versión “ELF Immune” se verificará el cumplimiento de estas directrices, mediante la comparación con los niveles de referencia. Hay que tener en cuenta que este equipo de medición registra, en el intervalo seleccionado (que en nuestro caso será de dos segundos), el porcentaje del campo eléctrico y magnético con respecto al de referencia establecido por el ICNIRP.

Siguiendo con la estrategia de muestreo establecida en el protocolo de medición [3], las mediciones se llevaron a cabo mediante un recorrido previo de la galería de servicios, pues los trabajadores de estas galerías pueden encontrarse en cualquier punto de su recorrido realizando algún tipo de operación de mantenimiento, además éstos también deben de recorrer la galería para comprobar el buen estado de la misma y sus servicios. Las fuentes de CEM en estas galerías son principalmente líneas eléctricas de baja y media tensión, encontrándose también centros de transformación en determinados tramos. El período de mayor carga corresponde al intervalo comprendido desde las 8:30 h hasta las 18:30 h, por lo que el muestreo se realizó dentro de este horario. Con el software del dosímetro se configuró el “RadMan XT” de forma que el intervalo de medición fuera de 2 segundos. La medición empezó a las 12:04:50 h desde una de las entradas de la galería, se fue anotando el tiempo en los nodos e intersecciones de la galería de servicios, que quedan identificados por un código (Figura 3 y 4) y que se muestran en la Tabla 1. El recorrido finalizó a las 12:59:16 h en una de las salidas de la galería. Durante el recorrido se midió el nivel de CEM

respecto al de referencia debido a los cables eléctricos y a los centros de transformación que contiene la galería.

CÓDIGO NODO	TIEMPO
Entrada a Galería Servicios	12:05
11	12:07
12	12:09
13	12:11
15	12:16
18	12:28
27	12:32
25	12:33
21	12:34
Trafo (verjas entrada)	12:35
Entrada Trafo	12:36
Salida Trafo	12:40
20 (verjas Trafo)	12:41
22	12:44
23	12:46
24	12:47
59	12:48
50	12:49
Salida	12:59

Tabla 1. Registro del tiempo en distintos lugares de la galería de servicios



Figura 3. Intersección en galería de servicios, indicada con su código



Figura 4. Código de un nodo correspondiente al exterior del centro de transformación en galería de servicios

A continuación se muestran las tablas con parte de las mediciones registradas durante el recorrido de la galería de servicios (Tabla 2). Cada intervalo de almacenaje de datos, seleccionado libremente y que en nuestro caso ha sido de 2 segundos (indicado por el índice en las tablas), contiene los valores RMS (valor cuadrático medio) y los máximos del campo eléctrico y magnético, recogidos en las columnas avgE[%], avgH[%], maxE[%], maxH[%] respectivamente. Estos valores, como ya se ha comentado, se presentan en porcentaje respecto al nivel de referencia establecido por el ICNIRP.

index	maxE[%]	maxH[%]	avgE[%]	avgH[%]	index	maxE[%]	maxH[%]	avgE[%]	avgH[%]	index	maxE[%]	maxH[%]	avgE[%]	avgH[%]
0	6,621	8,379	5,042	6,366	545	6,621	8,379	5,028	6,342	1090	6,621	8,379	5,024	6,351
1	6,621	8,379	5,024	6,371	546	6,621	6,982	5,017	6,344	1091	6,621	8,379	5,036	6,364
2	6,621	6,982	5,011	6,337	547	6,621	8,379	5,028	6,382	1092	6,621	8,379	5,024	6,359
3	6,621	8,379	5,01	6,351	548	6,621	8,379	5,022	6,368	1093	6,621	8,379	5,004	6,344
4	6,621	8,379	5,027	6,377	549	5,518	8,379	5,014	6,352	1094	6,621	8,379	5,05	6,363
5	6,621	8,379	5,006	6,331	550	6,621	8,379	5,049	6,37	1095	6,621	8,379	5,021	6,356
6	5,518	8,379	5,004	6,359	551	6,621	8,379	5,028	6,38	1096	6,621	8,379	5,024	6,359
7	6,621	6,982	5,029	6,352	552	6,621	8,379	5,047	6,352	1097	6,621	8,379	5,027	6,398
8	6,621	8,379	5,015	6,342	553	6,621	8,379	4,991	6,34	1098	6,621	8,379	5,047	6,382
9	6,621	8,379	5,02	6,347	554	6,621	8,379	5,046	6,382	1099	6,621	8,379	5,021	6,349
10	6,621	8,379	5,014	6,371	555	6,621	8,379	5,014	6,384	1100	6,621	8,379	5,02	6,377
11	6,621	8,379	5,024	6,37	556	6,621	8,379	5,031	6,361	1101	6,621	8,379	5,015	6,347
12	6,621	8,379	5,04	6,347	557	6,621	8,379	5,032	6,373	1102	6,621	8,379	5,031	6,378
13	6,621	6,982	5,031	6,34	558	5,518	8,379	4,996	6,359	1103	6,621	8,379	5,032	6,361
14	6,621	8,379	5,015	6,392	559	6,621	6,982	5,033	6,363	1104	6,621	8,379	5,036	6,378
15	6,621	8,379	5,038	6,335	560	6,621	8,379	5,029	6,351	1105	6,621	8,379	5,02	6,371
16	6,621	8,379	5,027	6,357	561	6,621	8,379	5,04	6,356	1106	6,621	8,379	5,047	6,387
17	6,621	8,379	4,995	6,375	562	6,621	8,379	5,021	6,349	1107	6,621	8,379	5,02	6,373
18	5,518	8,379	5,015	6,357	563	6,621	8,379	5,043	6,371	1108	6,621	8,379	5,033	6,373
19	6,621	8,379	5,013	6,364	564	6,621	8,379	5,049	6,354	1109	6,621	6,982	5,017	6,363
20	6,621	8,379	5,022	6,371	565	6,621	8,379	4,998	6,384	1110	6,621	8,379	5,05	6,378
21	5,518	8,379	5,02	6,377	566	5,518	8,379	5,025	6,371	1111	6,621	8,379	5,02	6,354
22	6,621	8,379	5,039	6,338	567	6,621	8,379	5,013	6,387	1112	6,621	8,379	5,04	6,357
23	6,621	8,379	5,038	6,373	568	6,621	8,379	5,035	6,375	1113	6,621	8,379	5,025	6,335
24	6,621	8,379	5,028	6,363	569	6,621	8,379	5,049	6,371	1114	6,621	8,379	5,015	6,37
25	6,621	8,379	5,033	6,33	570	6,621	8,379	5,04	6,361	1115	5,518	8,379	5,014	6,344
26	6,621	8,379	5,028	6,375	571	6,621	8,379	4,999	6,359	1116	6,621	6,982	5,036	6,361
27	6,621	8,379	5,017	6,371	572	6,621	8,379	5,044	6,347	1117	6,621	8,379	5,029	6,356
28	6,621	8,379	5,036	6,377	573	6,621	8,379	5,029	6,37	1118	6,621	8,379	5,044	6,338
29	6,621	8,379	5,011	6,354	574	6,621	8,379	5,036	6,357	1119	6,621	8,379	5,014	6,354
30	6,621	8,379	5,027	6,37	575	6,621	8,379	5,033	6,373	1120	6,621	8,379	5,032	6,38

Tabla 2. Fragmentos de las mediciones registradas

### 3. Análisis de las mediciones registradas

Tras realizar mediciones en tramos de galerías de servicios con el monitor RadMan XT durante 55 minutos aproximadamente, se ha procedido a su posterior evaluación mediante la descarga de los datos recogidos por el dosímetro al PC, utilizando el interfaz ESM-TS que se proporciona con el equipo de medición. En primer lugar se muestran los diagramas lineales de los valores máximos (Figura 5) y los valores RMS, cuadrático medio, (Figura 6) del campo magnético (en porcentaje respecto del nivel de referencia). Los niveles de estos valores superan a los del campo eléctrico por lo que la evaluación de estos últimos no se contempla.



Figura 5. Diagrama lineal maxH[%]

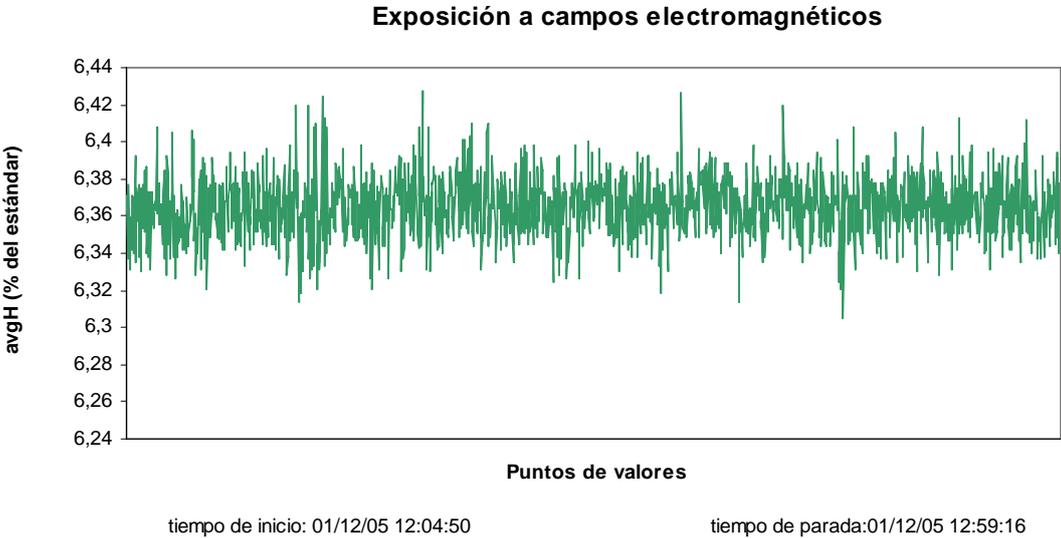


Figura 6. Diagrama lineal avgH[%]

La totalidad de las mediciones registradas del campo magnético se encuentran en el intervalo [6,3% , 8,9%].

Los valores registrados se mantienen con escasa variación a lo largo de toda la galería de servicios. Si comparamos los valores desde el inicio del recorrido (Tabla 3) con los valores registrados en los instantes en que nos encontrábamos en el centro de transformación

(Tabla 4) (Figura 7), podríamos pensar que estos últimos fueran mayores. Sin embargo, podemos ver que se mantienen con pocos cambios.

index	date	time	maxE[%]	maxH[%]	avgE[%]	avgH[%]	minE[%]	minH[%]
0	01/12/05	12:04:50	6.621	8.379	5.042	6.366	3.862	4.888
1	01/12/05	12:04:52	6.621	8.379	5.024	6.371	3.311	4.189

Tabla 3. Medidas registradas en la entrada de la galería de servicios



Figura 7. Medición de la exposición a CEM debido a un transformador en la galería de servicios.

index	date	time	maxE[%]	maxH[%]	avgE[%]	avgH[%]	minE[%]	minH[%]
963	01/12/05	12:36:56	6.621	8.379	5.014	6.356	3.311	4.189
977	01/12/05	12:37:24	6.621	8.379	5.050	6.352	3.862	4.189
1022	01/12/05	12:38:54	6.621	8.379	5.036	6.380	4.414	4.888
1050	01/12/05	12:39:50	6.621	8.379	5.015	6.368	3.311	4.189
1080	01/12/05	12:40:50	6.621	8.379	5.014	6.354	3.311	4.888

Tabla 4. Medidas registradas en el centro de transformación en la galería de servicios

A continuación se muestra en la Figura 8 el análisis de las mediciones que realiza el software ESM-TS del equipo de medición RadMan XT. En la tabla de análisis se puede observar un bloque de información, **Block information**, en el que se especifica la fecha y hora de entrada y salida en la galería de servicios. En **Average Value** se muestra el valor máximo rms alcanzado durante todo el recorrido, que corresponde al máximo valor rms del campo magnético cuyo nivel respecto al valor de referencia es de 6,43%. Este valor fue alcanzado en la fecha y hora señaladas. El bloque **Maximum Value** muestra el valor pico de los valores máximos alcanzados durante todo el intervalo de muestreo, este valor es de 8,38% (respecto al de referencia) y corresponde al campo magnético. También se indica la fecha y la hora en el que se alcanza. En este mismo bloque, las dos casillas indicadas por **Time above threshold**, corresponden al tiempo y al porcentaje del tiempo total que durante el recorrido se ha superado el umbral marcado en el bloque **Análisis Threshold**, que en

nuestro caso dicho umbral se ha fijado en un 8%. Como puede observarse, este valor se ha superado durante 50 minutos y 56 segundos, es decir, en el 93,51% del total del tiempo muestreado. El tiempo en el que se ha alcanzado el pico del valor máximo ha sido en el inicio del recorrido, según esta tabla de análisis, sin embargo podemos comprobar en las tablas de las mediciones registradas que dicho pico se ha alcanzado durante casi todo el recorrido, por este motivo el software sólo nos ha indicado el primer instante en el que se alcanza.

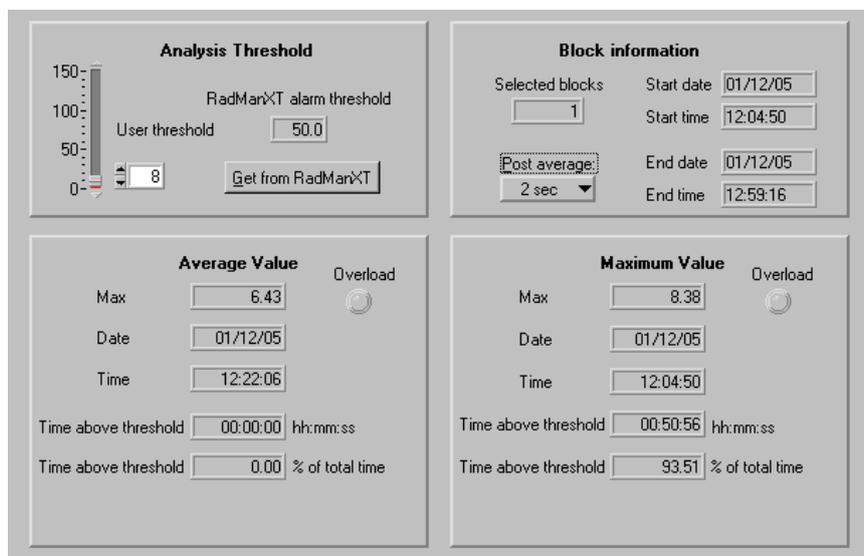


Figura 8. Tabla de análisis del software de RadManXT

Estos niveles tan bajos de exposición a la radiación electromagnética, se deben, además de por ser las líneas de baja tensión, a que los cables eléctricos están apantallados para atenuar los efectos de las interferencias electromagnéticas, EMI (Figura 9). El blindaje de los cables eléctricos tiene como objetivo evitar que las EMI se introduzcan o sean generadas por el cable en un medio concreto, es decir, actúa de jaula de Faraday para evitar el acople de ruidos y otras señales interferentes, tanto del entorno hacia el cable, como del cable al entorno [4].

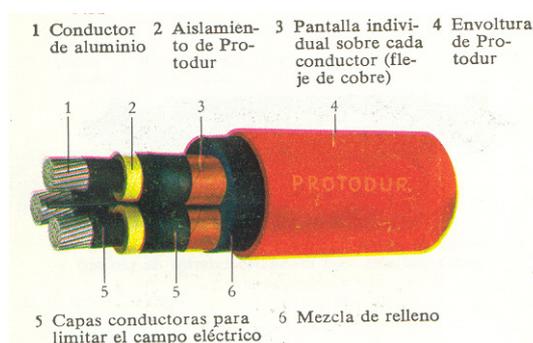


Figura 9. Cables eléctricos en una galería de servicios

La construcción de los blindajes de cables se realiza recubriendo los mismos con mallas de tejido metálico de distintas características en función de con que estén mezclados (plásticos o fibras metalizadas). Cuanto mayor contenido metálico mayor eficiencia [5].

Cuando una onda electromagnética se encuentra de frente con un medio conductor habrá cierta reflexión en su superficie, pero también alguna penetración en el material y disipación de energía dentro de su densidad. Algunos de los rayos que alcanzan la superficie interna más distante del material sufrirán reflexión interna, mientras que si el aislamiento no es demasiado grueso, también habrá un campo emergente.

La calidad del apantallamiento se conoce como efectividad de aislamiento. La efectividad total del aislamiento viene dada por la suma de las pérdidas reflexivas, la pérdida absorbente y un factor que tiene en cuenta la reflexión interna en el límite más lejano.

#### 4. Conclusiones

No se ha registrado un solo valor de las magnitudes medidas que supere los niveles de referencia propuestos por la Comisión Internacional de Protección a la Radiación No-Ionizante (ICNIRP), en su guía para limitar la exposición a CEM alternos (Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, up to 300 GHz). Dados los niveles tan bajos de exposición a CEM, solamente se ha procedido a registrar las mediciones obtenidas en el recorrido inicial de la galería de servicios, tal como indica el protocolo de medición. El valor más alto registrado no supera el 8,4% de estos niveles, por lo que no resulta establecer medidas adicionales, más que, en su caso, señalar el tipo de riesgo al que se está expuesto. De estos valores registrados, no se deduce, de acuerdo al estado actual del conocimiento, un riesgo de exposición indebido a radiaciones electromagnéticas.

Con este trabajo se pretende continuar investigando para desarrollos futuros en las galerías de servicios. Así, se participa en el proyecto de investigación UTSWOT (<http://utswot.webs.upv.es/>), cuyo propósito es realizar un análisis SWOT de galerías de servicios como estrategia sostenible en las instalaciones subterráneas. SWOT es el acrónimo de Strengths (fuerzas), Weaknesses (debilidades), Opportunities (oportunidades) y Threats (amenazas). Los servicios urbanos están saturando el espacio subterráneo de nuestras ciudades. Por lo tanto, las estrategias subterráneas sostenibles futuras consistirán en la capacidad de reducir el uso del enterramiento tradicional. Por otra parte, la ejecución de estos túneles es retardada principalmente por el coste inicial, compatibilidad y problemas de responsabilidad. Estas instalaciones subterráneas son altamente complejas y difíciles de gestionar debido a sus efectos sinérgicos. El análisis SWOT es una manera estructurada de analizar estos factores, como paso preliminar para promover el desarrollo de estas instalaciones.

#### Referencias

- [1] Cano-Hurtado J.J. and Canto-Perello J., "Clasificación y crítica de las galerías de servicio", *Proceedings of the XIII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos*, AEIPRO Sevilla, 1997.
- [2] 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.
- [3] Calvo V., Curiel J. and Cantó J., "Medición de las exposiciones laborales a campos electromagnéticos en galerías de servicios", *Proceedings of the XI internacional Congress on Project Engineerig*, AEIPRO, Lugo, 2007.
- [4] Norman E., "*Interferencias Eléctricas*", Paraninfo, 1999.
- [5] Heinhold L., "*Cables y Conductores para el Transporte de Energía*", Dossat, 1973.

## **Agradecimientos**

No quisiéramos terminar el presente trabajo de investigación sin agradecer al Servicio de Infraestructuras y al Servicio Integrado de Prevención en Riesgos Laborales del Vicerrectorado de Infraestructura y Mantenimiento de la Universidad Politécnica de Valencia, el permiso para la medición de la exposición a la radiación electromagnética en las galerías de servicios de la UPV, así como la utilización de su equipo de medición.

## **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)