

# Análisis e interpretación del Real Decreto 299/2016 sobre campos electromagnéticos

Susana Cavia Santos

Unidad de Seguridad y Salud Laboral de la Oficina Territorial de Trabajo de Valladolid

*El Real Decreto 299/2016 culmina la evaluación del riesgo por exposición a campos electromagnéticos en el primer tramo del espectro de frecuencias (0-300GHz). Aunque no se abordan efectos a largo plazo, se hacía necesaria su publicación para valorar muchos otros efectos sobre la salud y, en especial, el riesgo de interferencias con dispositivos médicos implantados en los trabajadores, tales como marcapasos, bombas de insulinas, prótesis metálicas, etc. Además, se incluyen Niveles de Acción operativos que simplifican la demostración del cumplimiento de los Valores Límite de exposición.*

## INTRODUCCIÓN

El 29 de julio de 2016 se publicó en el B.O.E. el Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos, que transpone la Directiva 2013/35/UE sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos).

Su entrada en vigor fue inmediata, al día siguiente de su publicación, aunque su aplicación práctica entraña dificultades técnicas, muy especialmente por la utilización de los múltiples y variados valores de referencia, que se establecen en función de otros muchos parámetros y magnitudes físicas.

Este real decreto recoge, en su disposición adicional única, que el Instituto Nacio-

nal de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo elaborará y mantendrá actualizada una Guía Técnica para la **evaluación de los riesgos** derivados de la exposición a campos electromagnéticos, que se hace especialmente necesaria por lo citado anteriormente.

A la espera de la Guía, el objetivo de este artículo es proporcionar un **primer análisis** del contenido del real decreto para facilitar a otros técnicos de prevención su comprensión y su preceptiva aplicación. El artículo recoge, de forma simplificada, las principales aplicaciones industriales y tecnológicas en las que el riesgo está presente, una clasificación y definición de magnitudes físicas con la intención de facilitar su comprensión, y un esquema comparativo de los diferentes valores límites en función de la frecuencia para su aplicación. Además, concluye con aspectos destacables que diferencian esta normativa con otras en materia de prevención.

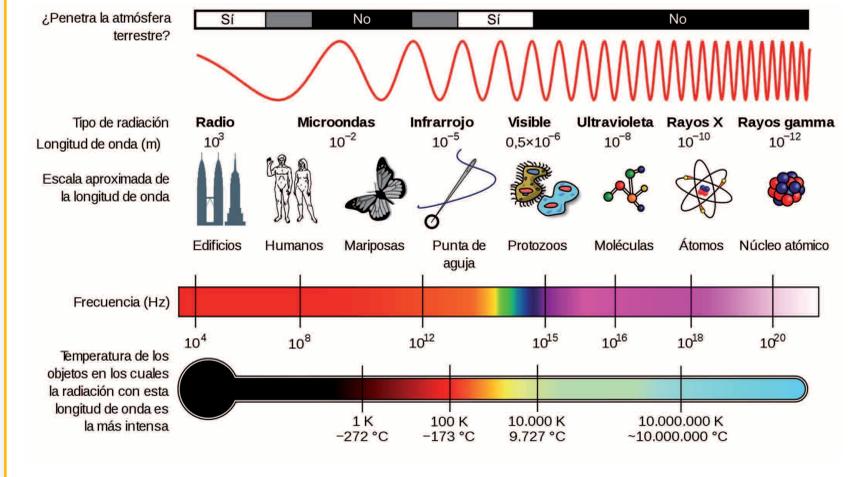
## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Dentro de su ámbito de aplicación, es importante resaltar que esta normativa abarca los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (en adelante CEM) comprendidos entre **0 Hz y 300 GHz**, que incluye los campos estáticos, las ondas de baja frecuencia, las radiofrecuencias y las microondas. Este abanico de frecuencias, unido a las radiaciones ópticas que comprenden el infrarrojo, el visible y parte del ultravioleta, constituyen el espectro de frecuencias de las RADIACIONES NO IONIZANTES.

Por lo tanto, las RADIACIONES NO IONIZANTES se clasifican en función de la frecuencia en:

1. Campos electromagnéticos (CEM) entre 0 Hz y  $3 \times 10^{11}$  Hz (300 GHz).
2. Radiaciones ópticas (RO) entre  $3 \times 10^{12}$  Hz y  $3 \times 10^{15}$  Hz.

**Figura 1** ■ Esquema del espectro de frecuencias

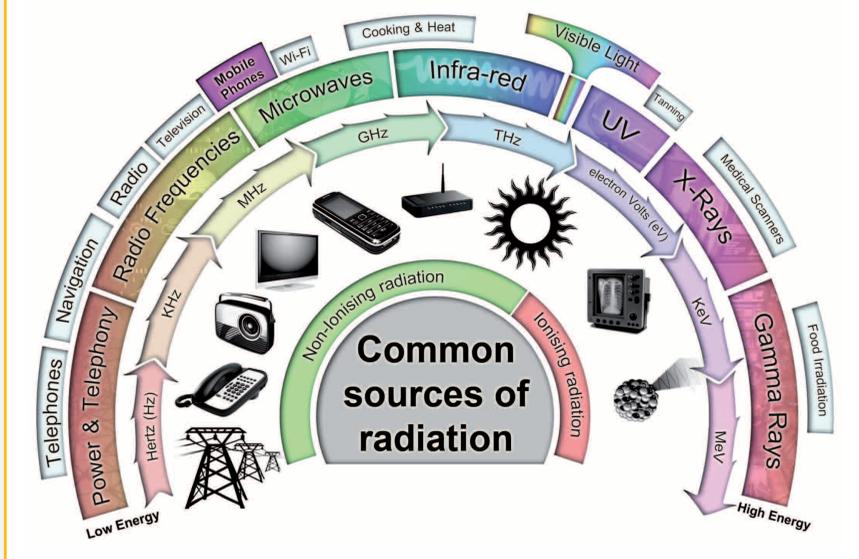


provocadas por radiaciones no ionizantes, como sí ocurre para las radiaciones ionizantes. La única referencia que hace al respecto se centra en enfermedades provocadas por radiaciones ópticas. Más concretamente (se cita textualmente):

- "Enfermedades oftalmológicas a consecuencia de exposición a radiaciones ultravioletas en trabajos con radiaciones no ionizantes con longitud de onda entre 100-400nm" que entraría dentro del ámbito de aplicación de las radiaciones ópticas.

- "Enfermedades provocadas por energía radiante..., trabajos con cristal incandescente, masas y superficies incandescentes, fundiciones, etc.," que parece relacionado con la franja espectral del infrarrojo más que con los CEM.

**Figura 2** ■ Aplicaciones tecnológicas en el espectro de frecuencias<sup>1</sup>



## APLICACIONES INDUSTRIALES Y TECNOLÓGICAS

El esquema de la figura 2 muestra de forma muy sencilla e intuitiva, mediante imágenes, las principales fuentes de radiación en el mundo actual.

Como se puede observar, las aplicaciones industriales y tecnológicas más comunes de las radiaciones no ionizantes son:

- Baja frecuencia: transporte de energía eléctrica en líneas de baja y alta tensión, centros de transformación, sistemas de transporte urbano eléctrico como trenes y tranvías, electrodomésticos de uso cotidiano, determinados tipos de soldadura que utilizan corriente continua de alta intensidad en la proximidad del trabajador (soldadura por puntos), calentadores de inducción utilizados para componentes metálicos en talleres de reparación (entre 2-36 kHz), procesos industriales como la electrolisis o la

Es importante diferenciar las anteriores de las RADIACIONES IONIZANTES, mucho más energéticas debido a sus frecuencias elevadas, a partir de varios miles de terahercios ( $10^{12}$  Hz), capaces de arrancar electrones a los átomos y romper las estructuras moleculares.

Para comprender mejor esta clasificación, se muestra el esquema de la figura 1.

Otro aspecto a destacar del real decreto es que **no aborda efectos a largo plazo** debido a la falta de datos científicos a día de hoy. Únicamente señala efectos agudos a corto plazo. De hecho, el cuadro de enfermedades profesionales aprobado por el Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro, no incluye un apartado específico de enfermedades

<sup>1</sup> Material facilitado por Doña María Baltar Carrillo, de Eventyam Ingenieros, S.L.

## Figura 3 Efectos para la salud de los CEM

### Efectos directos

- **Térmicos** (calentamiento de tejidos)
- **No térmicos** (estimulación de músculos y nervios, y estimulación órganos sensoriales: vértigos fosfenos)
- **Corrientes en las extremidades**

### Efectos indirectos

- **Interferencias con equipos o dispositivos médicos** (marcapasos)
- **Proyección objetos ferromagnéticos**
- **Activación dispositivos electro-explosivos** (detonadores)
- **Incendios**

espectroscopia para investigar las propiedades de los materiales, hornos de inducción, etc.

- Altas frecuencias: estaciones de radio-difusión, telefonía móvil a 2,5-5 GHz, WLAN o redes de área local inalámbricas como Wi-Fi, radares de alta potencia, soldadura de plásticos, empleada para fabricar los blísteres y todo equipo de calentamiento por microondas.
- Procesos que combinan distintas frecuencias, como las aplicaciones médicas que, según su precisión, pueden trabajar a diferentes frecuencias como los equipos de obtención de imágenes por resonancia magnética que combinan campos estáticos y de baja frecuencia con ondas de radiofrecuencia, o equipos de diatermia utilizados en las unidades de fisioterapia que, según produzcan un calentamiento superficial o profundo, pueden ser de onda corta o de microondas.

Al leer este listado de posibles aplicaciones, puede observarse que algunas de ellas pueden utilizarse tanto en la vida laboral como en la vida cotidiana (móviles, Wi-Fi, ordenadores, etc.), siendo difícil separar ambas. No obstante, muchos de estos equipos, utilizados en espacios abiertos al público en general, cumplen su propia normativa de seguridad y no requieren una evaluación específica. La normativa a la que nos referimos, teniendo en cuenta que sólo abarca el espectro de radiofrecuencias, es el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricción de emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, modificado re-

cientemente por Real Decreto 123/2017, de 24 de febrero.

## EFFECTOS PARA LA SALUD Y DEFINICIÓN DE VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN

Como ya se ha indicado, esta normativa no aborda los efectos a largo plazo, centrándose en los efectos a corto plazo, como son los directos, agudos, causados por la exposición del cuerpo a los CEM, y en los efectos indirectos debidos a las interferencias de los campos con determinados objetos, en su mayoría de origen metálico. En virtud de estos efectos se aplican valores límite de exposición (en adelante VLE) y niveles de acción (en adelante NA) recogidos en doce tablas de los Anexos II y III del real decreto.

En la figura 3 se recogen los diferentes efectos que contempla el real decreto.

Una vez expuestos los tipos de efectos que producen los CEM, veremos cómo se definen los valores límite de exposición en función de estos:

### Valores límite de exposición (VLE):

Los VLE son aquellos que se han establecido a partir de consideraciones biofísicas y biológicas, sobre la base de efectos directos agudos y a corto plazo comprobados científicamente. Incluyen, por ejemplo, los efectos térmicos o la estimulación eléctrica de tejidos.

Pueden ser de dos tipos:

- **VLE efectos sensoriales:** se refieren a trastornos transitorios de las percepciones sensoriales, es decir, alteraciones

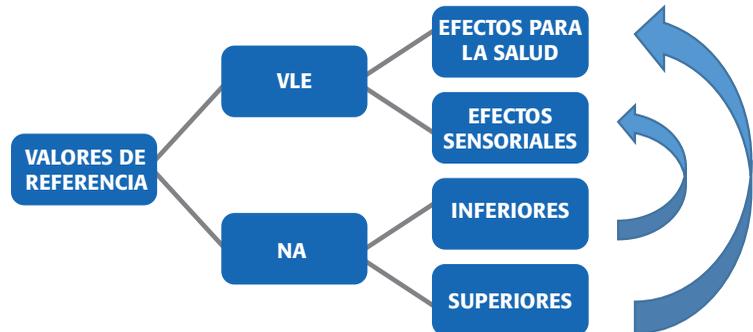
en la estimulación cerebral obtenida a partir de los cinco sentidos. En concreto, se cita el vértigo y los fosfenos retinianos (sensación de ver manchas luminosas por la estimulación mecánica, eléctrica o magnética de la retina). Se entiende que bajo estas circunstancias el trabajador no puede desarrollar su trabajo en condiciones seguras.

- **VLE efectos para la salud:** hacen referencia a calentamiento térmico y estimulación del tejido nervioso y muscular.

Es importante señalar que, salvo en la tabla 1 recogida en el Anexo II del real decreto, los VLE vienen expresados en función de magnitudes físicas medidas en el **interior del cuerpo humano** inducidas por la exposición a campos externos y, por tanto, **no son fácilmente medibles**. Las magnitudes a las que nos referimos son las siguientes:

- *La tasa de absorción específica (SAR)*, que es la tasa de energía absorbida por unidad de masa de tejido corporal, referenciada a cuerpo entero o a una parte localizada del mismo. Se mide en vatios por kilogramo (W/kg).
- *La absorción específica de energía (SA)*, que es la energía absorbida pero referenciada a la unidad de tejido biológico: 10 g de tejido. Se expresa en julios por kilogramo (J/kg). En este real decreto se utiliza para establecer límites para los campos pulsantes en la banda espectral de las microondas.
- *La densidad de potencia (S)*, que es el cociente entre la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de esa superficie. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>). Esta magnitud, típicamente, la calculan los equipos de medida como producto del campo eléctrico por el magnético que se ha medido.

■ Figura 4 ■ Relación entre los VLE y los NA



- El campo eléctrico "in situ" ( $E_0$ ), que hace referencia al campo eléctrico presente en el interior del cuerpo humano como consecuencia de la exposición al campo exterior.

Puesto que los valores límite vienen expresados en magnitudes difícilmente medibles (salvo con modelos computacionales (ver "phantom voxel"), o en condiciones de laboratorio), se utilizan los niveles de acción que se definen a continuación.

### Niveles de Acción (NA):

Los NA son **niveles operativos establecidos para simplificar la demostración del cumplimiento de los valores límite de exposición**. En el caso de que se superasen, habría que comprobar si se supera alguno de los valores límite, definidos anteriormente.

Los NA pueden ser de dos tipos (véase la figura 4):

- **NA inferiores:** Relacionados con los VLE efectos sensoriales.
- **NA superiores:** Relacionados con los VLE efectos para la salud.

El artículo 5.3 del real decreto establece que, si no se superan los NA recogidos en los Anexos II y III, se considera que el empresario cumple los valores límite. En concreto, si no se superan los NA inferiores, se cumplen con los VLE efectos sensoriales y, si se cumplen los NA superiores, se cumplen los VLE efectos para la salud.

Los NA se expresan en magnitudes ambientales comúnmente conocidas y, por lo general, se pueden medir con la sonda apropiada. Las magnitudes a las que nos referimos son: intensidad de campo eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H), densidad de flujo mag-

nético (B), corrientes de contacto ( $I_c$ ) y corrientes que fluyen a través de las extremidades ( $I_L$ ). Debemos indicar que las corrientes de contacto son un efecto indirecto que se produce cuando se toca un objeto que está expuesto a campos eléctricos o magnéticos.

### LA APLICACIÓN DE LOS VALORES LÍMITE

La aplicación de los VLE y los NA recogidos en las doce tablas contenidas en los Anexos II y III del real decreto puede resultar compleja debido a la superposición de los valores dependiendo de múltiples factores, entre ellos:

- La frecuencia de exposición (f).
- La magnitud física que se evalúa: campos eléctricos o magnéticos, corrientes de contacto, etc.
- Los efectos que producen sobre el cuerpo humano: efectos para la salud, efectos sensoriales.

Dentro de este *maremágnum* de parámetros, magnitudes y efectos, puede ser de ayuda el esquema de Valores Límite mostrado en la figura 5. Como se puede apreciar, por debajo del eje de frecuencias, se distinguen los **efectos NO térmicos** recogidos en el Anexo II (color azul), de los **efectos térmicos** recogidos en el Anexo III (color rojo), con una superposición de ambos efectos para frecuencias comprendidas entre 100 kHz y 10 MHz.

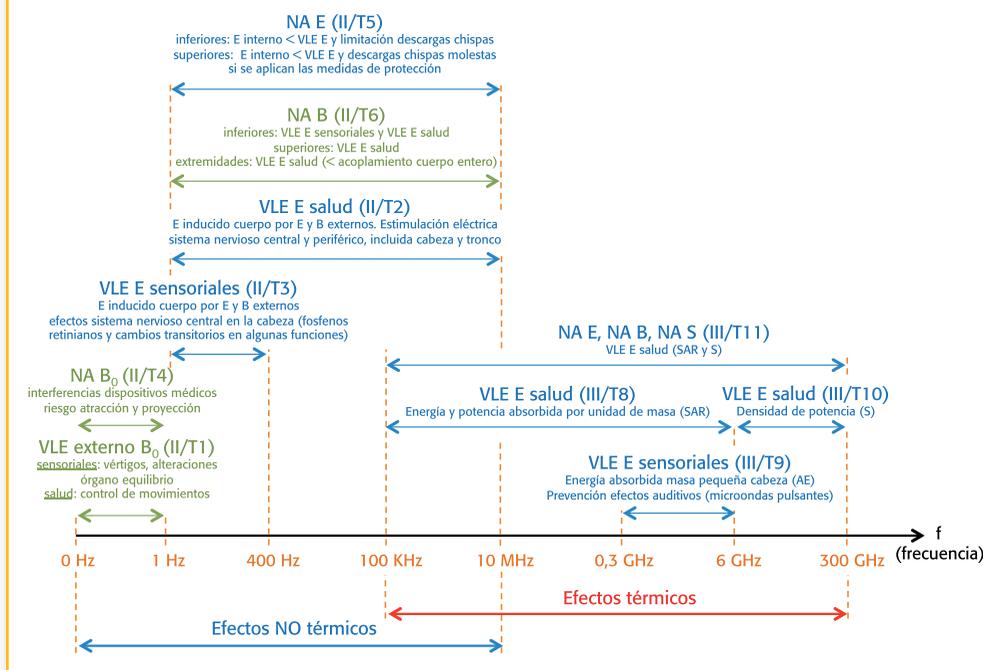
Por encima del eje de frecuencias se muestran los valores de referencia aplicables al campo magnético (color verde) y los valores aplicables al campo eléctrico y al resto de magnitudes físicas (color azul), en función del rango de frecuencias. Además, aparece entre paréntesis en números romanos el anexo al que se refiere (II, III) y la tabla a la que corresponde cada segmento de valores según el real decreto (T5, T6, etc.).

Por ejemplo, para frecuencias comprendidas entre 1 Hz y 400 Hz, se observa que le son de aplicación simultáneamente:

- Valor Límite para campo eléctrico que produce efectos sensoriales – VLE sensoriales (II/T3) – recogido en el Anexo II, Tabla 3.
- Valor Límite para campo eléctrico que produce efectos para la salud – VLE E salud (II/T2) – recogida en el Anexo II, Tabla 2.
- Nivel de Acción de campo magnético – NA B (II/T6) – recogido en el Anexo II, Tabla 6.
- Nivel de Acción para campo eléctrico – NA E (II/T5) – Anexo II, Tabla 5.

Es importante aclarar que el esquema de la figura 5 no muestra el valor numérico de los VLE o NA, sino los tipos de VLE y NA que se aplican a cada rango de frecuencias. El valor numérico hay que calcularlo con las fórmulas que aparecen en las citadas tablas. Para comprenderlo mejor, se muestra

**Figura 5 ■ Real Decreto 299/2016. Valores Límite de exposición (VLE) y Niveles de Acción (NA)<sup>2</sup>**



Si profundizamos un poco más y nos fijamos en la Nota 3, a pie de las tablas, veremos que dice que *si el campo no es sinusoidal, la evaluación se basará en el "método de ponderación de picos"*. Este es un método matemático de filtrado en el dominio del tiempo, que ya incorporan los nuevos equipos de medida y permite comparar con los valores límite en tiempo real. Si no se conoce la forma de onda, se puede suponer que es sinusoidal, que es el caso más restrictivo.

Otros **aspectos a destacar** de esta normativa son los siguientes:

un ejemplo de cálculo de los VLE y NA para una frecuencia elegida al azar, por ejemplo  $f = 50$  Hz típica de la red eléctrica, obtenidos en función de las doce tablas recogidas en los Anexos II y III:

- $VLE (E_0)_{\text{sensoriales}} = 0,0028 \times f = 0,0028 \times 50 = 0,14$  V/m, según Tabla 3.
- $VLE (E_0)_{\text{salud}} = 1,1$  (pico) V/m, según Tabla 2.
- $NA_{\text{inferior}} (B) = 1,0 \times 10^3 = 1000$   $\mu$ Teslas. Tabla 6.
- $NA_{\text{superior}} (B) = 3,0 \times 10^5 / f = 6000$   $\mu$ Teslas. Tabla 6.
- $NA_{\text{extremidades}} (B) = 9,0 \times 10^5 / f = 18000$   $\mu$ Teslas. Tabla 6.
- $NA_{\text{inferior}} (E) = 5,0 \times 10^5 / f = 500000 / 50 = 10000$  V/m. Tabla 5.

<sup>2</sup> Material facilitado por Doña María Baltar Carrillo, de Eventyam Ingenieros, S.L. Faltan las tablas 7 del Anexo II (efectos no térmicos) y 12 del Anexo III (efectos térmicos) sobre los NA para las corrientes de contacto y para las corrientes inducidas en las extremidades.

- $NA_{\text{superior}} (E) = 1,0 \times 10^6 / f = 1000000 / 50 = 20000$  V/m. Tabla 5.

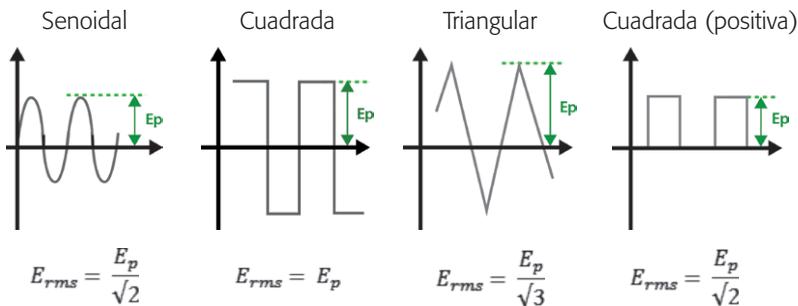
En este sentido, puede ser de gran utilidad elaborar una hoja de cálculo que incluya todas las fórmulas recogidas en las citadas tablas, que calcule automáticamente los VLE y NA para cada frecuencia que se introduzca.

En cuanto a las **unidades**, vemos que los VLE vienen expresados en valores de pico y los NA, en valores eficaces (RMS). Por lo general, si se conoce el tipo de onda, se puede pasar de unas a otras según las fórmulas que se muestran en la figura 6.

Los equipos de medida suelen medir en valores eficaces (RMS), que coinciden con las unidades necesarias para comparar con los niveles de acción. Y en cuanto a los valores límite, como ya se ha indicado, vienen expresados en magnitudes medidas internamente que, por lo general, se calculan por métodos numéricos o en condiciones de laboratorio, por lo que sólo se recurre a ellos en situaciones especiales.

- **Los VLE no están ponderados para 8 horas de exposición diaria**, como ocurre en el resto de normativa laboral. Esto limita o dificulta la aplicación de medidas organizativas tales como la reducción del tiempo de exposición, a pesar de que en su artículo 4 incluye *"medidas técnicas y organizativas como la limitación de la duración e intensidad de la exposición"*.
- El artículo 6 del real decreto (Evaluación de riesgos) deja claro que *"el empresario debe evaluar el riesgo a exposición a CEM en el lugar de trabajo, teniendo en cuenta los niveles de emisión comunicados por los fabricantes de equipos. En caso de que esta información no sea fiable, la evaluación se basará en mediciones o cálculos"*. Pero no siempre se encuentra esta información y la estrategia de medición tampoco está bien definida.
- La evaluación sólo puede ser realizada por un técnico superior en prevención con la especialidad de Higiene Industrial.

■ **Figura 6** ■ **Tipos de onda**



Conocida la amplitud y la forma de onda, el valor eficaz se puede obtener mediante la fórmula correspondiente

las radiaciones, en todo el espectro de frecuencias.

Su trasposición al derecho español ha sido larga y laboriosa por falta de consenso en los valores límite de exposición y por el desconocimiento de sus posibles efectos sobre la salud, en especial a largo plazo. Hay que tener en cuenta que muchas de las aplicaciones que emplean este tipo de radiaciones han comenzado a utilizarse de forma masiva hace relativamente pocos años y que los estudios epidemiológicos, para que sean concluyentes, requieren muchos años de investigación y una casuística muy elevada. Además, en ocasiones, sus resultados van por detrás de los avances de la técnica.

No obstante, la publicación de este real decreto ha sido un paso importante para hacer visibles los campos electromagnéticos en el mundo de la prevención y, más concretamente, dentro de la Higiene Industrial y los agentes físicos. Este riesgo que no se ve, no se oye y no huele, produce efectos agudos, reversibles, que, a partir del 30 de julio del 2016, el empresario tiene la obligación de identificar, evaluar y aplicar las medidas preventivas pertinentes. ●

- **Trabajadores especialmente sensibles**, tema fundamental a tener en cuenta por las posibles interferencias de los campos con el funcionamiento de los dispositivos médicos electrónicos o de origen metálico implantados; de hecho, se establece un NA para campo magnético estático de 0,5 mT para trabajadores con marcapasos.
- El distanciamiento a la fuente emisora aparece como la principal medida preventiva para reducir la exposición al riesgo, lo que conlleva la clasificación y señalización de las zonas, así como la restricción de accesos.
- El real decreto cita que se tendrá en cuenta "la disponibilidad de equipos

*adecuados de protección individual*", pero, según la información consultada, estos son escasos y los que hay en el mercado son de eficacia limitada.

- El artículo 11 del real decreto incluye **situaciones excepcionales** en las que se podría superar los VLE bajo determinadas condiciones y que habrá que analizar en cada caso.

## CONCLUSIONES

Esta nueva normativa sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos **completa la normativa ya existente** relativa a la protección de la salud de los trabajadores frente a

## ■ Bibliografía ■

- [1] Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos. BOE núm. 182, de 29 de julio.
- [2] Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2013, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados a agentes físicos (campos electromagnéticos).
- [3] Comisión Europea. Guía no vinculante de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2013/35/UE sobre campos electromagnéticos. Volumen 1 y Volumen 2. Noviembre 2014
- [4] Juan López Gandía. Nueva Regulación de Enfermedades Profesionales. Editorial Bomarzo. 2007.
- [5] Unidad de Investigación en Telemedicina. Instituto de Salud Carlos III - Ministerio de Economía y Competitividad. "Evaluación de las nuevas condiciones de exposición personal a radiaciones no ionizantes generadas por redes Wi-fi en espacios interiores". Noviembre 2016.
- [6] Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo:
  - a. NTP 894:2011 Campos electromagnéticos: exposición laboral
  - b. NTP 1063:2015 Imagen mediante resonancia magnética (I): técnica, riesgos y medidas preventivas.
- [7] José María Olivares Ruiz. Servicio de Higiene Industrial de la Sociedad de Prevención Cualtis. Jornada: "Aspectos actuales de la evaluación del riesgo laboral por radiaciones". Valladolid 12 de noviembre 2010.
- [8] Beatriz Diego y María José Rupérez. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Curso: "Evaluación de la exposición a radiaciones no ionizantes". Centro de Seguridad y Salud Laboral de León, 18-20 de mayo 2011.