



UNIVERSIDAD DE MURCIA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**  
Prevención de Riesgos Laborales, especialidad Higiene Industrial

**Evaluación de la exposición a campos magnéticos  
en la Estación Experimental Agroalimentaria  
Tomás Ferro**

**Yolanda Pastor Férez**

**Cartagena, octubre de 2013**

## Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	5
1.1. ¿QUÉ ES LA HIGIENE INDUSTRIAL? .....	5
1.2. ASPECTOS LEGALES DE LA HIGIENE INDUSTRIAL .....	6
1.3. DESARROLLO ACTUAL DE LA HIGIENE INDUSTRIAL.....	8
1.4. LA ACTUACIÓN EN HIGIENE INDUSTRIAL.....	9
1.5. TIPOS DE CONTAMINANTES EN HIGIENE INDUSTRIAL.....	10
I. Contaminantes Químicos.....	10
II. Contaminantes Biológicos .....	12
III. Contaminantes Físicos .....	14
1.6. RADIACIONES NO IONIZANTES .....	21
I. Naturaleza de las radiaciones.....	21
II. Espectro electromagnético.....	22
2. OBJETIVOS .....	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1. LUGAR DE MEDICIÓN .....	31
3.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	32
3.3. MÉTODO DE MEDICIÓN .....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. MEDIDAS HORIZONTALES .....	35
4.2. MEDIDAS VERTICALES .....	38
4.3. MEDIDAS EN TRANSFORMADORES Y LABORATORIO .....	41
4.4. INFLUENCIA DE AMBAS LÍNEAS EN LOS VALORES DE EXPOSICIÓN.....	42
5. CONCLUSIONES .....	46
6. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA CONSULTADA .....	49

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> - Mapa de situación .....	31
<b>Figura 2.-</b> Lugar de medición .....	31
<b>Figura 3.-</b> Medidor de Campo Magnético estático Metrolab Instrument.....	32
<b>Figura 4.-</b> GPS MAGELLAN SporTrack Pro .....	32
<b>Figura 5.-</b> Puntos medidos.....	33
<b>Figura 6.-</b> Medidas en altura.....	33
<b>Figura 7.-</b> Representación de los valores de campo magnético medidos horizontalmente bajo las líneas de media tensión (a) y alta tensión (b). .....	36
<b>Figura 8.-</b> Representación de los valores de campo magnético medidos verticalmente bajo la línea de media tensión en el punto 4.....	39
<b>Figura 9.-</b> Representación de los valores de campo magnético medidos verticalmente bajo la línea de alta tensión en el punto 6.....	40
<b>Figura 10.-</b> Representación de los valores de campo magnético medidos verticalmente bajo el cruce de líneas de tensión. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 11.-</b> Lugares donde se han realizado las mediciones .....	43
<b>Figura 12.-</b> Representación 3D del Campo Magnético .....	43
<b>Figura 13.-</b> Representación de la superficie estudiada y de los puntos medidos sobre la misma. Señalados los puntos de mayor valor de campo magnético medido.....	44

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.-</b> Valores de Campo Magnético en nanoTeslas (nT) medidos a 50Hz horizontalmente bajo la línea de media tensión (MT), alta tensión (AT) y bajo el cruce de ambas líneas (Cruce).....	35
<b>Tabla 2.-</b> Valores de Campo Magnético en nanoTeslas (nT) medidos a 50HZ verticalmente bajo la línea de media tensión (MT) y alta tensión (AT) en los puntos horizontales de mayor intensidad magnética (punto 4 en la línea de MT y punto 6 en la línea de AT) y en el cruce de ambas líneas. ....	38
<b>Tabla 3.-</b> Valores de Campo Magnético en nanoTeslas (nT) de medidas puntuales en dos transformadores y en el laboratorio más cercano al transformador. ....	42

# INTRODUCCIÓN

---

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ¿QUÉ ES LA HIGIENE INDUSTRIAL?

La definición de Higiene Industrial que se puede considerar actualmente como oficial es la dada en 1959 por la American Industrial Hygiene Association: “La Higiene Industrial es la ciencia y el arte de la identificación, evaluación y control de aquellos factores o agentes ambientales, originados por el puesto de trabajo o presentes en el mismo, que pueden causar enfermedad, disminución de la salud o el bienestar, o incomodidad o ineficiencia significativos entre los trabajadores o los restantes miembros de la comunidad”. En esta definición hay varios rasgos destacables:

En primer lugar, su carácter ambiental: la Higiene Industrial centra su estudio en el ambiente que rodea al trabajador más que en él mismo, ya que es en ese ambiente donde se encuentran las causas básicas del proceso que desemboca en la enfermedad profesional. La Higiene Industrial efectúa, por tanto, una prevención esencialmente primaria de las enfermedades que padece el trabajador relacionadas con el puesto de trabajo.

En segundo lugar, hay que destacar la función de control de la agresión; la Higiene Industrial no pretende únicamente obtener información sobre las características potencialmente agresivas del ambiente, sino que se plantea como objetivo fundamental la modificación (control) del mismo.

En tercer lugar, es importante ver cómo los objetivos de la Higiene Industrial se han ido ampliando desde el concepto original de protección al trabajador frente a la enfermedad profesional hasta incluir la incomodidad no sólo de los trabajadores, sino también de los restantes miembros de la comunidad, aunque manteniendo siempre el puesto de trabajo y los factores ambientales como objetos del estudio.

## 1.2. ASPECTOS LEGALES DE LA HIGIENE INDUSTRIAL

### a) La Higiene Industrial en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y en el Reglamento de los Servicios de Prevención

Ambos textos contienen pocas referencias directas a las cuestiones que son objeto de estudio de la Higiene Industrial, ya que se tratan fundamentalmente de normas que establecen los principios de gestión de la prevención de riesgos laborales sin apenas entrar en los aspectos concretos de la misma.

Las referencias encontradas son las siguientes:

- El artículo 4.4 de la Ley de PRL, define “riesgo grave e inminente” incluyendo en el mismo aquellas situaciones en las que existan exposiciones a agentes que puedan ocasionar daños graves a la salud “aunque estos no se manifiesten de forma inmediata”.
- El artículo 4.7 de la Ley de PRL, cuando se definen las condiciones de trabajo como “cualquier característica del mismo que pueda tener una influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud del trabajador”, se incluyen dentro de las mismas “la naturaleza de los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo y sus correspondientes intensidades y concentraciones o sus niveles de presencia”.
- El artículo 25.2 de la Ley de PRL, cuando refiriéndose a los trabajadores especialmente sensibles, la Ley establece la obligación del empresario de incluir en la evaluación de riesgos los factores de riesgo que puedan influir en la función de procreación de los trabajadores y trabajadoras, en particular a causa de la exposición a agentes físicos, químicos y biológicos.
- El artículo 25.3 de la Ley de PRL, sobre la protección de la maternidad, establece una media similar al punto anterior en relación con las trabajadoras embarazadas.
- El artículo 12.9 de la Sección 2ª (Infracciones en materia de PRL) del Capítulo II del RDL 5/2000, en él se califica como infracción grave “la superación de los límites de exposición a los agentes nocivos que, conforme a la normativa sobre prevención de los riesgos laborales, origine riesgo de daños graves para la seguridad y salud de los trabajadores sin adoptar las medidas preventivas adecuadas salvo que se trate de

infracción muy grave conforme al artículo siguiente”. Se califican asimismo de graves (artículo 12.16) las infracciones que supongan incumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales, siempre que creen un riesgo grave para la integridad física o la salud de los trabajadores afectados y especialmente en materia de comunicación a la autoridad laboral, cuando legalmente proceda, de las sustancias, agentes físicos, químicos y biológicos, o procesos utilizados en las empresas; prohibiciones o limitaciones respecto de operaciones procesos y uso de agentes físicos, químicos y biológicos en los lugares de trabajo, etc.

- El Reglamento de los Servicios de Prevención se refiere a la Higiene Industrial como una más de las disciplinas preventivas que deben incluirse en el currículo formativo de los expertos de nivel superior. Los temas que deben incluirse en la formación de estos expertos están incluidos en el anexo VI del Reglamento.
- En el artículo V del Reglamento de los Servicios de Prevención, donde especifica la formación que deben recibir los expertos de nivel intermedio, incluye también temas relativos a Higiene Industrial, refiriéndose a ellos como “riesgos relacionados con el medio ambiente de trabajo”.

**b) Otras disposiciones**

- RD 664/1997 sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición agentes biológicos durante el trabajo.
- RD 665/1997 sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, modificado por el RD 1124/2000 y por el RD 349/2003 para incluir en su ámbito de aplicación de forma específica al benceno, amianto y cloruro de vinilo monómero.
- RD 1836/1999 por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.
- RD 374/2001 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- RD 783/2001 que aprueba el reglamento sobre protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

- RD 815/2001, sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas.
- RD 1311/2005 sobre la protección de los trabajadores frente a la exposición a vibraciones metálicas.
- RD 229/2006, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.
- RD 386/2006 sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- RD 396/2006 por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición a amianto.

Existen muchas normativas, que aunque no traten específicamente cuestiones relativas a Higiene Industrial, que están orientadas a reducir el riesgo químico en el trabajo y fuera de él; la mayor parte de las que tienen interés para el desarrollo de las actividades de Higiene Industrial hacen referencia a la notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado etiquetado de sustancias peligrosas (RD 363/1995), la clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos (RD 255/2003) y a las limitaciones a la comercialización y uso de sustancias y preparados peligrosos (RD 1406/1989). Actualmente está en vigor el Reglamento Europeo REACH (Registro, Evaluación y Autorización de Químicos) que tiene como objetivo imponer un mayor control en la comercialización de productos químicos peligrosos. Este reglamento es de aplicación a todos los Estados miembros de la UE y aúna en una sola legislación diferentes regulaciones.

Prácticamente la totalidad de esta reglamentación es consecuencia de la transposición a la legislación nacional de directivas comunitarias y, lógicamente, sus contenidos se adaptan a los principios definidos por la política social de la UE en materia de prevención de riesgos laborales establecidos en la Directiva Marco 89/391/CE.

### **1.3. DESARROLLO ACTUAL DE LA HIGIENE INDUSTRIAL**

El desarrollo actual de la higiene industrial se basa en la búsqueda de relaciones entre la exposición laboral a contaminantes y los efectos que se producen debido a esta

exposición. Esto se realiza mediante la búsqueda de indicadores, tanto ambientales como biológicos, de estas exposiciones. Esto es útil para distinguir entre enfermedades profesionales (aquellas manifestaciones patológicas originadas por una causa única o casi única y que se adquieren en actividades definidas) y enfermedades del trabajo, muchas de las cuales son de origen multicausal (con algunas causas que a menudo pueden ser ajenas a la actividad laboral).

Debido a que constantemente se crean nuevos productos y tecnologías, la higiene industrial ha de ocuparse de la investigación de posibles riesgos emergentes derivados de estas nuevas creaciones.

Otra ocupación de la higiene industrial es la investigación sobre medidas preventivas, tanto las que son necesarias debido a los riesgos derivados de las nuevas tecnologías, como de cómo hacer que las existentes sean más efectivas.

#### 1.4. LA ACTUACIÓN EN HIGIENE INDUSTRIAL

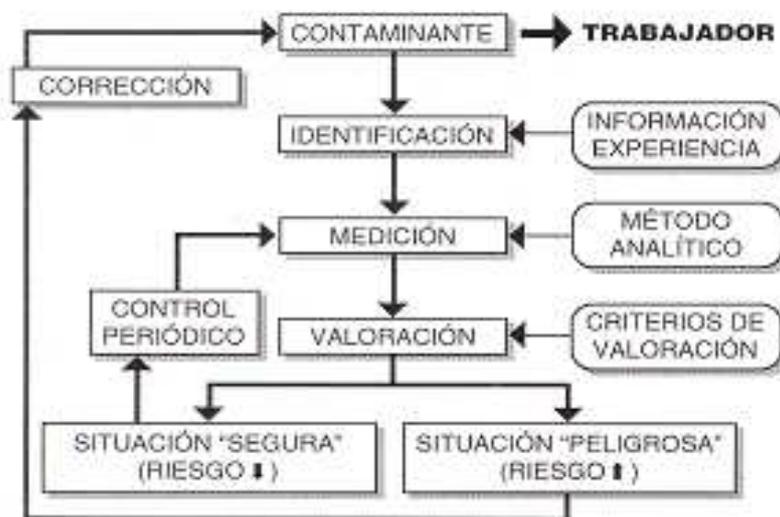
El primer paso en la actuación en Higiene Industrial es la **identificación** de los factores de riesgo presentes en el ambiente, las causas de generación de los mismos y cualquier otra circunstancia que pueda estar relacionada con la magnitud de los efectos patológicos que pudieran producirse, sobre todo con aquellos que pudieran tener consecuencias patológicas a largo plazo.

Dentro de estas circunstancias ambientales se sabe que una de las más importantes es la cantidad de contaminante presente en el ambiente, por este motivo el siguiente paso es el de **medición** de este valor. En el caso de sustancias químicas se determina mediante concentración, y en el caso de los no químicos mediante alguna magnitud energética.

Ahora es el momento de **evaluar** toda la información obtenida en los pasos anteriores, para ello en la bibliografía se dispone de “criterios de evaluación”, que son referencias que definen qué situaciones son admisibles (es poco probable que produzcan daño) y cuáles no lo son (es probable que den lugar a un efecto perjudicial). Por tanto este tercer paso consistirá en comparar la situación ambiental estudiada con unos patrones o criterios previamente definidos, para concluir si la situación es admisible o si por el contrario, es necesario intervenir para corregirla y con ello reducir los niveles de contaminación hasta situarlos en una zona no peligrosa, evitando con ello un daño a la

salud. Entendemos como contaminante una sustancia, una energía o un ser vivo presente en el ambiente que puede afectar a la salud de las personas.

Finalmente, es necesario implantar un **sistema de vigilancia** regular y periódica de ambiente para confirmar que la situación se mantiene en condiciones adecuadas. La necesidad de esta vigilancia periódica está justificada ya que con la actuación de la Higiene Industrial lo que se pretende evitar es la consecuencia de una exposición continua, por lo tanto es necesario obtener una información continua.

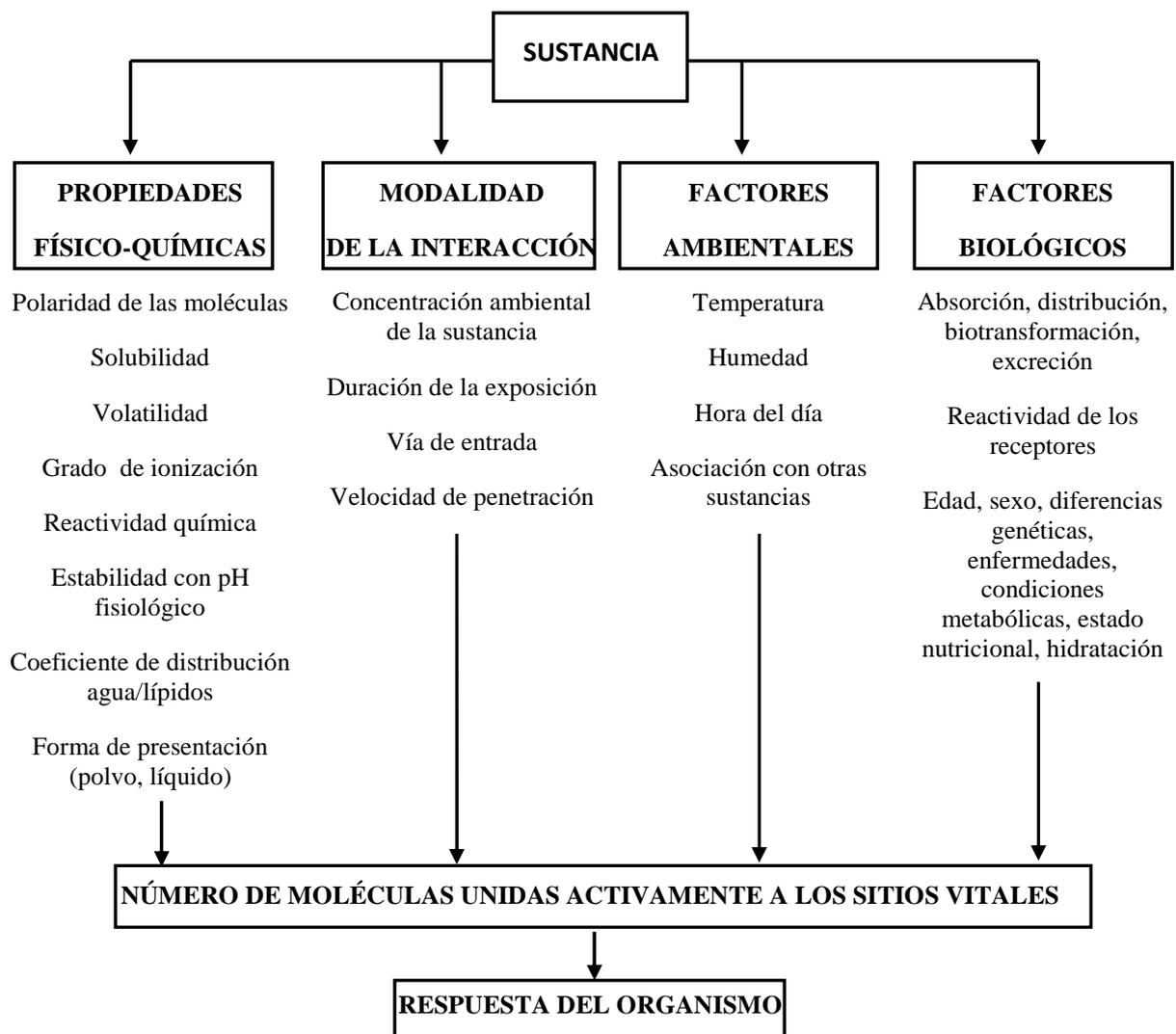


## 1.5. TIPOS DE CONTAMINANTES EN HIGIENE INDUSTRIAL

Existen tres tipos de contaminantes que afectan al ambiente laboral, estos son los contaminantes químicos, los biológicos y los físicos.

### I. Contaminantes Químicos

Es el grupo de contaminantes más numeroso, ya que está constituido por materia inerte no viva en forma de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. Estos contaminantes pueden presentarse como forma sólida, líquida y gaseosa y esta característica será la que determine la vía de entrada al organismo durante la exposición, las cuales pueden ser bien por vía respiratoria, vía digestiva o vía dérmica. En todos los casos el contaminante termina siendo absorbido por el organismo e interactuando con él. Los efectos que los agentes químicos causan en la salud van a depender de varios factores, como son: las propiedades físico-químicas de la sustancia, la modalidad de la interacción, los factores ambientales y los factores biológicos.



Cuando se habla de exposición a agentes químicos se entiende como el contacto y la interacción de una sustancia o producto químico con el organismo humano, cualquiera que sea la forma o circunstancia en que dicho contacto se produzca. Si el contacto con productos químicos se hace de forma directa, o por inhalación de aire contaminado, y se produce durante un periodo corto de tiempo y de forma ocasional se habla de exposición aguda. Por el contrario, si el contacto con la sustancia se produce por cualquier ruta pero de intensidad menor a la requerida para provocar efectos a corto plazo se habla de exposición crónica, aunque si la exposición se prolonga durante un periodo de tiempo suficiente, los daños a la salud terminan manifestándose.

Para poder realizar una buena evaluación de la exposición a agentes químicos, es necesario que la encuesta higiénica contenga los siguientes pasos:

- Conocer y familiarizarse con el proceso productivo.
- Identificar los posibles riesgos en cada puesto de trabajo.
- Seleccionar los criterios de valoración aplicables.
- Evaluar los riesgos cuantitativa o cualitativamente.
- Elaborar el informe de evaluación, que debe incluir la propuesta de medidas de control proporcionadas a la magnitud de los riesgos. Este informe debe incluir los controles periódicos aconsejados.

Normalmente para valorar un agente químico se toma como criterio de valoración los Valores Límites Ambientales (VLA), que son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire y representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos sin sufrir efectos adversos para la salud. Estos VLA deben ir asociados siempre a un periodo de tiempo de exposición, por ello para algunos contaminantes se definen dos valores límite, uno aplicable al valor medio diario (VLA-ED) y otro aplicable a un periodo corto de tiempo de 15 minutos (VLA-EC). Aunque un valor límite recogido en un reglamento tiene el carácter de frontera definida, y si se sobrepasa hay un incumplimiento de la reglamentación, los valores límite no indican una separación nítida entre situaciones con riesgo y sin riesgo, ya que no sobrepasarlo no es garantía de que no haya efectos perjudiciales para la salud de ninguno de los trabajadores expuestos. Por esta razón para complementar el valor establecido para la vía respiratoria, si el agente se puede absorber por vía cutánea, se indica la notación “Vía Dérmica” junto al valor límite.

## **II. Contaminantes Biológicos**

Este grupo de contaminantes está constituido por microorganismos vivos (virus, bacterias, hongos, etc.), es decir, que tienen capacidad de generar otro ser similar a sí mismo mediante la transmisión de información genética.

Para el desarrollo de su ciclo vital, los agentes biológicos precisan de una fuente de energía y nutrientes, pero también necesitan de unos requisitos ambientales (temperatura, oxígeno, humedad, pH del medio y luz) los cuáles pueden condicionar el desarrollo de estos seres vivos.

Los microorganismos presentan una gran adaptabilidad a los cambios que ocurren en su medio, lo cual hace que en cualquier medio puedan estar presentes agentes biológicos desarrollando estilos de vida particulares y estableciendo todo tipo de relaciones con otros seres vivos.

Algunos agentes biológicos son patógenos, es decir, pueden causar enfermedades en las personas, y éste es el aspecto que tiene interés desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales.

Para que la exposición a agentes biológicos y un ser humano ocasione un efecto adverso para la salud, es preciso que se cumplan estas cinco condiciones: el agente biológico debe ser patógeno, debe existir un reservorio, el agente biológico debe dispersarse, debe existir una vía de entrada y el nuevo hospedador debe ser susceptible al agente en cuestión. Las estrategias preventivas tienen como objetivo romper esta cadena en alguno o varios de sus eslabones.

En la exposición a agentes biológicos, la entrada de los contaminantes al interior del organismo humano se puede dar por vía respiratoria, dérmica, digestiva o parenteral. La entrada del contaminante por una u otra vía está condicionada por la actividad laboral desarrollada. Por este motivo es necesaria información previa sobre actividades en las que es frecuente la presencia de agentes biológicos para evaluar las exposiciones.

Para evaluar las exposiciones a agentes biológicos se lleva a cabo la evaluación higiénica, que implica la aplicación de una metodología que consiste en:

1. **Identificar** el agente, focos de contaminación, proceso productivo que lo ha originado, sus características toxicológicas.
2. **Medición** del contaminante lo cual permite conocer la concentración del agente en el ambiente de trabajo.
3. **Valoración** de la situación. Es preciso contar con unos criterios de valoración que permitan la comparación de los mismos con los resultados de la medición para emitir un juicio sobre la situación, es decir, si ésta es segura o si es peligrosa. Estos criterios de valoración son los Valores límite para sustancias químicas y agentes físicos en el ambiente de trabajo o TLVs, y en el caso de que no existiesen

estos valores para el agente estudiado se recurre a la bibliografía o a la experiencia.

Tras la valoración y en función de su resultado se concreta, si es necesario, las **medidas correctoras y preventivas** para conseguir una situación de trabajo segura.

### **III. Contaminantes Físicos**

Se conocen como contaminantes físicos aquellas formas de energía que pueden estar presentes en el ambiente laboral y causar daños a la salud de los trabajadores. La energía puede manifestarse bajo las siguientes modalidades:

- Energía mecánica: ruido y vibraciones.
- Energía térmica: calor y frío.
- Energía electromagnética: radiaciones ionizantes y no ionizantes.

#### **a) Ruido**

En el ámbito de los riesgos ocasionados por la exposición laboral a ruido no se diferencia entre ruido y sonido. Así que el ruido, o sonido, es una propagación de energía mecánica, que se llama energía sonora, en forma de ondas sucesivas de sobrepresión y enrarecimientos. Para que se produzca la sensación sonora es necesario: un elemento vibrante o fuente, un medio propagador como el aire y un receptor, el individuo.

El procedimiento para la evaluación de las exposiciones laborales a ruido está definido en el RD 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. De acuerdo con lo dispuesto en este real decreto el empresario está obligado a evaluar la exposición a ruido en todos los puestos de trabajo y repetir la evaluación periódicamente, así como aplicar las medidas preventivas pertinentes.

Para la evaluación de los riesgos derivados de la exposición a ruido, este RD establece unos valores de referencia que son los valores límite de exposición y valores superiores e inferiores de exposición que dan lugar a una acción. En el caso de ser alcanzados o superados los valores superior e inferior de exposición que dan lugar a una acción se debe llevar a cabo algún tipo de actuación preventiva. En cuanto a los valores

límite, no son exactamente limitaciones ambientales y puede utilizarse el valor de la atenuación del protector auditivo, en caso de que se use, para la comparación de los valores obtenidos por medición con los valores límite.

La evaluación, y la correspondiente medición, se deben efectuar como mínimo, cada año en los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada tres años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

## **b) Vibraciones**

Una vibración consiste en el movimiento de un cuerpo sólido alrededor de su posición de equilibrio sin que exista desplazamiento neto del objeto que vibra. Las vibraciones se transmiten por el interior de un objeto y también a través de los puntos de contacto entre diferentes objetos.

En prevención de riesgos laborales se estudian dos modelos diferenciados de vibración: las que afectan a todo el cuerpo y las que afectan al sistema mano-brazo.

El RD 1311/2005 establece los criterios para la evaluación del riesgo, así como el valor que da lugar a una acción y el valor límite para cada uno de los casos anteriores.

De acuerdo con la normativa vigente, cuando se rebasen los valores que dan lugar a una acción, deberá establecerse un programa de medidas técnicas y/o de organización destinado a reducir al mínimo la exposición a las vibraciones. Para ello se adoptarán medidas tendentes a disminuir la magnitud de la aceleración transmitida, ya sea a la mano o a todo el cuerpo, o bien a disminuir los tiempos de exposición.

## **c) Ambiente Termohigrométrico**

El ser humano es un organismo homeotermo, esto implica que las reacciones metabólicas requieren una temperatura constante ( $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ) para desarrollarse, y en consecuencia el propio organismo dispone de mecanismos muy potentes de regulación de la temperatura interna.

Los procesos bioquímicos necesitan energía para elaborar las sustancias propias del organismo y desarrollar trabajo muscular. Esta energía se obtiene por

descomposición de los principios inmediatos (carbohidratos, lípidos y proteínas), no obstante, la mayor parte de la energía producida se libera como energía térmica (calor).

La energía térmica siempre fluye desde los lugares con mayor temperatura hacia los lugares más fríos. Cuando cualquier objeto recibe calor su temperatura aumenta, y si pierde calor su temperatura disminuye, de forma que el flujo de calor tiende a equilibrar las temperaturas. No se pueden evitar ni el flujo de calor ni el equilibrio final de la temperatura de un cuerpo con su entorno, lo que significa que, por bueno que sea el aislamiento, si no hay aporte de calor, la temperatura de un cuerpo acabará siendo igual a la del ambiente que le rodea.

La consecuencia de este fenómeno, aplicada al organismo humano, es que para mantener una temperatura interna constante es necesario que se esté produciendo calor de forma continua y que funcionen unos mecanismos que faciliten la entrada de calor a los órganos en caso de que pierdan temperatura, o la evacuación de calor si la ganan, y unos mecanismos de evacuación hacia el exterior del calor excedente.

### **Exposición al calor**

Cuando se pretende evaluar el riesgo para la salud de un trabajador ocasionado por una situación térmicamente agresiva, la evaluación debe tener en cuenta tanto las características térmicas del ambiente (agresividad térmica ambiental) como la intensidad del trabajo realizado por el individuo. Las consecuencias de la exposición excesiva al calor se manifiestan de forma brusca, en forma de lo que se puede llamar “accidentes biológicos”, siendo el más grave el “golpe de calor”, que consiste en un colapso de los mecanismos de termorregulación del organismo.

Para realizar la evaluación del riesgo de estrés térmico por calor se utilizan los basados en el índice WBGT (UNE EN 27243:95) como indicador de la agresividad ambiental, combinando su valor con el de la carga térmica metabólica (que depende del tipo y el ritmo de trabajo). Estos índices son una combinación de los valores de las variables ambientales que controlan los procesos térmicos, y posibilitan el uso de un solo número para indicar la agresividad de un ambiente.

Por lo tanto reducir el riesgo existente en una situación dada puede lograrse bien reduciendo la actividad física del sujeto, bien reduciendo la agresividad ambiental existente, bien actuando sobre ambos factores a la vez; en cada situación concreta

deberá analizarse cuál es la contribución al riesgo de cada factor y actuar en consecuencia.

### **Exposición a frío**

La exposición al frío intenso, aun por periodos breves, puede producir congelación. La congelación se localiza preferentemente en la periferia del cuerpo, siendo las zonas más afectadas las mejillas, nariz y orejas, ya que el rostro no suele cubrirse. Los dedos de las manos y los pies también pueden sufrir congelación. Pero la más grave consecuencia de la exposición al frío es la hipotermia, que consiste en una pérdida del calor corporal.

Debido a que los efectos de la exposición al frío son inmediatos, los trabajadores deben estar entrenados para identificar los síntomas de una exposición excesiva a frío.

En situaciones normales los riesgos debidos a la exposición a ambientes fríos pueden evitarse mediante una combinación de actividad metabólica, es decir, de generación de calor por el organismo, y de aislamiento para evitar la pérdida de calor.

Para la evaluación del riesgo de estrés por frío hay que enfocarla desde el punto de vista de analizar la posibilidad de un enfriamiento general del cuerpo, y de analizar la posibilidad de que se produzcan efectos locales debidos al enfriamiento de zonas de la piel no protegidas o poco protegidas.

Dado que, en la mayor parte de los casos, no es posible modificar las condiciones ambientales, las medidas preventivas deben orientarse hacia la protección, la formación y la ergonomía.

La protección frente al frío se fundamenta en el uso de ropa de abrigo y en la programación de pausas en el trabajo para recuperar el calor perdido.

### **Confort térmico**

Es una situación en la que el sujeto no experimenta ninguna sensación térmica, es decir, no experimenta sensación de calor ni de frío. Se trata, por tanto, de evaluar sensaciones con la carga subjetiva que ello comporta, por ello se asume desde el principio que es imposible alcanzar la unanimidad entre todo un colectivo respecto a la confortabilidad de una situación.

**d) Radiaciones ionizantes**

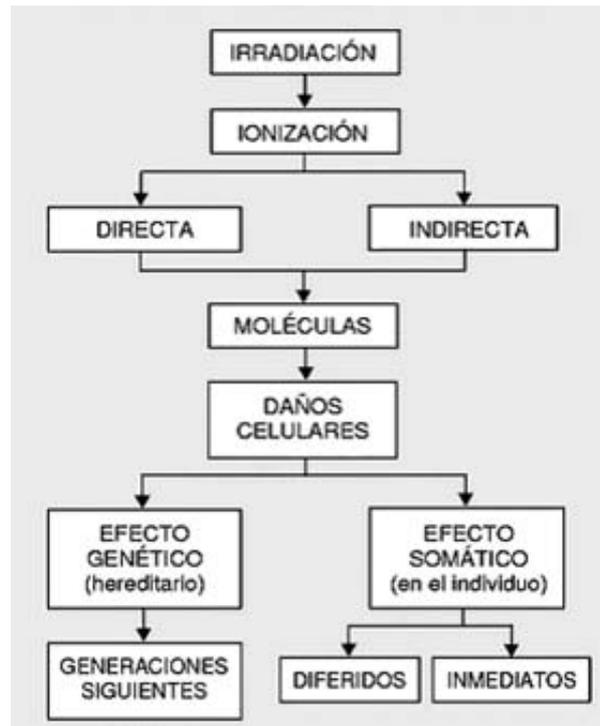
Con el nombre de radiaciones ionizantes (RI) se identifican aquellas radiaciones que al interactuar con (iones), es decir, producen ionización de los átomos.

Siempre ha existido una radiación natural, procedente del espacio (radiación cósmica) o procedente de los elementos radiactivos que existen en nuestro planeta (radiación terrestre), dando lugar a una determinada dosis de radiación absorbida por el ser humano, cuyo nivel varía de unos lugares a otros del planeta. Se habla también de radiación interna natural cuando, por ingestión o inhalación de radionucleidos procedentes del medio ambiente, la radiación se detecta “dentro” del organismo.

A esta radiación natural debe sumarse la radiación procedente de actividades en las que se emplean tecnologías que utilizan fuentes radiactivas o equipos generadores de RI. Las dosis recibidas por el hombre a causa de esta radiación artificial son debidas en su mayor parte a los usos de RI en medicina, pero también pueden darse exposiciones como consecuencia del uso de RI en aplicaciones militares, actividades industriales y centrales nucleares.

Entre las radiaciones emitidas por los átomos encontramos varios tipos, que son: radiación  $\alpha$ , radiación  $\beta$ , protones, neutrones, rayos X y los rayos  $\gamma$ .

Los efectos biológicos producidos por las RI son la respuesta del organismo como consecuencia de la energía absorbida por la interacción con ellas. Esta interacción provoca alteraciones por la ionización de las moléculas constitutivas del organismo.



Los daños biológicos más importantes producidos en la célula se deben a la acción sobre las moléculas de ADN, que juegan un importante papel en la vida celular.

La radiación puede producir fragmentaciones en las moléculas de ADN, dando origen a aberraciones cromosómicas e incluso a la muerte celular, o bien puede ocasionar transformaciones en la estructura química de la molécula que afectan al mensaje genético.

Es importante tener en cuenta que la interacción de la radiación con las células es una función de probabilidad, es decir, la radiación puede interactuar o no con la molécula y, en caso de interacción, puede producir o no daños en la célula. Asimismo la acción sobre la célula no es selectiva de manera que la energía de la radiación se deposita aleatoriamente en cualquier molécula sin ningún tipo de preferencia.

Como consecuencia de ello, los daños producidos en el organismo son inespecíficos, es decir, no son distintos a los producidos por otras causas, y pueden tener tanto carácter somático (manifestándose en el propio individuo) como genético (apareciendo en generaciones posteriores). A su vez, estos efectos en el individuo pueden aparecer inmediatamente después de la exposición (efectos inmediatos) o manifestarse después de un periodo de tiempo (efectos diferidos), y tienen carácter “estocástico” o “no estocástico”, en función de si la relación dosis-respuesta es

probabilística o el efecto se manifiesta a partir de un determinado nivel de dosis llamada dosis umbral. Ambos efectos pueden darse simultáneamente.

Para la detección y medida de radiaciones ionizantes, los instrumentos utilizados se basan en la utilización de alguno de los fenómenos que se manifiestan cuando la radiación interacciona con la materia. Teniendo en cuenta su funcionalidad, los instrumentos de medida se pueden clasificar en dos grupos: detectores de radiación y dosímetros. Los detectores indican la dosis en un tiempo corto mientras que los dosímetros están diseñados para mediar la dosis recibida durante periodos de tiempo relativamente largos.

Para comparar los valores que nos proporcionan los instrumentos de medida tenemos los llamados límites de dosis, que son valores que nunca deben ser sobrepasados y que pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización y justificación adecuados. En nuestro país estos límites están recogidos en el RD 783/2001 que aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

Dado que no existe el umbral de no efecto para las radiaciones ionizantes la política de protección debe basarse en limitar el uso de las radiaciones ionizantes a las situaciones en que esté plenamente justificado por los beneficios que aporta es decir, cuando los beneficios que se obtienen compensen los riesgos en estos casos la utilización de RI ha de efectuarse procurando que el nivel de exposición y el número de personas expuestas sea lo más bajo posible.

Las normas aplicables a la protección contra las radiaciones ionizantes comprenden tanto el uso deliberado de fuentes y equipos radioactivos como la exposición a fuentes naturales de radiación y se encuentran recogidas en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RD 783/2001).

Limitándonos al ámbito laboral las medidas preventivas consisten fundamentalmente en:

- Definición de trabajadores profesionalmente expuestos.
- Delimitación de zonas y su señalización.
- Puesta en práctica de controles dosimétricos (personales y ambientales).

- Formación e información del personal.
- Vigilancia médica.

### **e) Radiaciones no ionizantes**

La radiación no ionizante (RNI) engloba toda la radiación y los campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para ionizar la materia. Es decir, la RNI es incapaz de impartir suficiente energía a una molécula o un átomo para alterar su estructura quitándole uno o más electrones. La división entre la RNI y la RI suele establecerse en una longitud de onda de 100 nm aproximadamente.

Al igual que cualquier forma de energía, la energía RNI tiene el potencial necesario para interactuar con los sistemas biológicos y las consecuencias pueden ser irrelevantes, perjudiciales en diferentes grados o beneficiosas.

Este tema se trata más ampliamente en el apartado siguiente.

## **1.6. RADIACIONES NO IONIZANTES**

En nuestra vida cotidiana continuamente nos encontramos expuestos a radiaciones electromagnéticas, como por ejemplo al usar los electrodomésticos, el teléfono móvil, el ordenador, los tratamientos láser... A estas radiaciones, además, hay que sumarle la radiación que llega a través de los sistemas eléctricos tales como líneas de transporte (alta, media o baja tensión), centros de generación y de transformación, estaciones de transformación, elementos consumidores..., ya que la radiación magnética es capaz de atravesar los materiales y penetrar al interior de nuestros hogares o lugares de trabajo.

### **I. Naturaleza de las radiaciones**

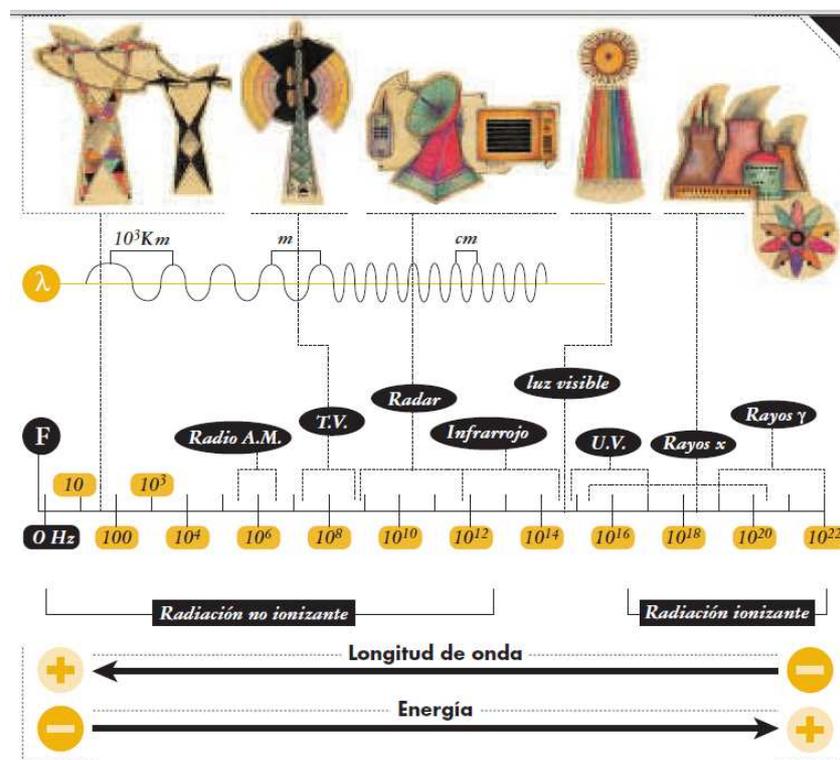
Las radiaciones electromagnéticas son una forma particular de propagación de energía que tiene su origen en cambios del nivel energético a nivel atómico o molecular. Todos los cuerpos emiten y absorben radiaciones, es decir, las radiaciones son capaces de interactuar con la materia.

Una radiación electromagnética está asociada a un campo electromagnético, que a su vez se origina cuando una carga eléctrica o magnética es variable. Una carga

eléctrica fija tiene asociado un campo eléctrico estático, y un imán fijo tiene asociado un campo magnético estático, pero si una carga eléctrica o un imán se mueven, la consecuencia es que además de que el campo asociado a la carga o el imán se mueva, aparece un campo del otro tipo; es decir, no puede existir un campo eléctrico variable sin que exista asociado a él un campo magnético variable y viceversa. Al conjunto se le llama campo electromagnético y una de sus propiedades es la capacidad de transportar energía sin necesidad de un soporte material.

## II. Espectro electromagnético

El espectro de radiaciones no ionizantes comprende desde las radiaciones de extremadamente baja frecuencia (Radiaciones ELF) hasta las radiaciones ultravioleta de 100 nm de longitud de onda (3 PHz). Este rango tan amplio de frecuencias se divide en bandas, cada una de las cuales recibe un nombre. En orden decreciente de frecuencia, o sea de mayor a menor energía del fotón, se habla de radiaciones ultravioleta (UV) de 750 a 1.660 THz, visible de 400 a 750 THz, infrarroja (IR) de 300 GHz a 400 THz, microondas de 300 MHz a 300 GHz, radiofrecuencia de 3kHz a 300 MHz y radiaciones ELF de 3 Hz a 3 kHz.



**a) Radiación Ultravioleta**

Las radiaciones ultravioletas no son visibles ni detectables por ningún sentido humano, lo que significa que no existe ningún procedimiento de autodefensa que alerte en caso de darse la exposición, por ello pueden pasar inadvertidas por el trabajador, con el consiguiente peligro.

Los efectos de las radiaciones UV se producen sobre todo en la piel y el ojo. Entre los efectos sobre la piel el más conocido es el eritema y la exposición ocular genera una conjuntivitis muy dolorosa.

Para el control de las exposiciones hay que tener en cuenta que la radiación UV es fácilmente absorbida por cualquier material, por lo que el uso de pantallas o cerramientos para evitar la dispersión de la radiación ultravioleta es una de las medidas preventivas más eficaces. También se pueden usar gafas y ropa de protección.

**b) Radiación Visible e Infrarroja**

Los efectos de estas radiaciones sobre el cuerpo son fundamentalmente de tipo térmico (calentamiento de la superficie irradiada) y oculares (lesiones de la córnea y la retina). El ojo humano tiene una buena capacidad de autoprotección frente a la radiación visible mediante el parpadeo y el reflejo pupilar, aunque puede producir una serie de efectos no fisiológicos como la fatiga visual, dificultad de acomodación da la tarea... En cuanto a la radiación IR puede causar lesiones de origen térmico en la córnea, daños en el cristalino y en la retina.

Para realizar una evaluación de la exposición hay que conocer la radiancia espectral de la fuente luminosa y la irradiancia espectral medida en los ojos del trabajador. Para ello se deben utilizar radiómetros equipados con filtros adecuados.

Las situaciones de riesgo por exposición a la luz visible sólo pueden darse en casos de visión directa de fuentes de luz intensa, por lo que habría que evitar la visión o exposición a esta radiación mediante pantallas o gafas de protección.

**c) Microondas y Radiofrecuencias**

Ambos tipos de radiaciones tiene aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones. Además, las microondas tienen una amplia aplicación como fuente

de calor y se utilizan en soldadura, endurecimiento de resinas, operaciones de recocido y temple, secado de materiales, etc.

Las exposiciones laborales se pueden presentar en los trabajos relacionados con las telecomunicaciones y la defensa, y la operación de hornos industriales de microondas.

Los efectos que producen estas radiaciones son de tipo térmico, aumentando la temperatura de los órganos internos. El efecto es mayor en los órganos poco vascularizados como las partes transparentes de los ojos.

También se han citado efectos no térmicos relacionados con la interferencia de estas radiaciones con las membranas biológicas y con alteraciones en la transmisión de la información genética, aunque este tipo de efectos está muy poco estudiado.

Teniendo en cuenta este desconocimiento de los efectos no térmicos, se debe evitar toda exposición innecesaria. Y en el caso del control de la exposición, este debe basarse en la aplicación de medidas de protección colectiva como el alejamiento de las antenas o el encapsulamiento de las fuentes de radiación, ya que la protección individual prácticamente no es aplicable a este tipo de radiaciones.

#### **d) Radiaciones ELF**

En este tipo de radiaciones, la exposición laboral siempre ocurrirá en la zona de radiación próxima a la fuente (campo cercano) y los efectos de la exposición deben considerarse independientemente para los campos magnético y eléctrico.

Sin duda el origen mayoritario de exposición a estos campos son las líneas eléctricas de transporte de energía y las instalaciones asociadas (estaciones transformadoras, centrales de producción y distribución, etc.) Alrededor de un cable por el que circula una corriente eléctrica alterna de 50 Hz se crea un campo eléctrico y otro magnético de esa frecuencia y cualquier persona situada en sus proximidades estará expuesta a él.

En este rango de frecuencias no es habitual medir, o expresar los límites, en unidades de intensidad del campo magnético, sino de densidad de flujo magnético que se representa por  $B$  y se mide en teslas (T). La densidad de flujo magnético equivale al

producto de la intensidad del campo magnético (H que se mide en A/m) por la permeabilidad magnética del medio ( $\mu$ ).

Los valores de referencia que se utilizan para evaluar la exposición a radiaciones electromagnéticas son las que publica la IRPA-ICNIRP. Estos criterios son también los que asume la Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2013. Para frecuencias de 50 Hz, el límite para el campo eléctrico es de 5.000 V/m, y para campo magnético es de 100  $\mu$ T, donde ya se ha tenido en cuenta el principio de precaución.

Intervalo de frecuencia	Intensidad de campo eléctrico E (V m <sup>-1</sup> )	Intensidad de campo magnético H (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de flujo magnético B ( $\mu$ T)	Densidad de potencia equivalente de onda plana Seq (W m <sup>-2</sup> )
Hasta 1 Hz	-	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-
1 - 8 Hz	20.000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 - 25 Hz	20.000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	-
0.025 - 0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0.82 - 65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065 - 1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	-

En cuanto al control de las exposiciones, en la práctica hay pocas medidas técnicas que puedan implantarse para reducir las exposiciones. Los sistemas de apantallamiento basados en el principio de la jaula de Faraday son eficaces para reducir la intensidad del campo eléctrico, pero poco eficientes para el magnético.

El alejamiento de las fuentes (o de las personas) y la limitación de los tiempos de permanencia en las zonas en las que existan campos son las soluciones reales que se pueden prever para limitar los riesgos.

Los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia pueden interferir en el funcionamiento de marcapasos y dispositivos médicos electrónicos, por lo que se recomienda limitar la exposición de las personas con estos dispositivos médicos.

## **Consecuencias para la salud de los campos eléctricos y magnéticos**

En los últimos años se ha acrecentado el interés por los efectos biológicos y posibles consecuencias para la salud de los campos eléctricos y magnéticos débiles de baja intensidad. Esto es debido a que sabemos que continuamente nos encontramos expuestos a campos eléctricos y magnéticos. Estas exposiciones se producen en todos los ámbitos de la sociedad, ya que se dan allí donde hay algún aparato eléctrico, como en los hogares, en el trabajo o mientras viajamos en algún medio de transporte con propulsión eléctrica.

### **¿Qué se sabe acerca de estas consecuencias?**

**Cáncer.** Los estudios epidemiológicos que intentan encontrar asociaciones significativas entre grupos de trabajadores expuestos (trabajadores del sector eléctrico y de telecomunicaciones, soldadores, mantenedores de líneas de distribución, etc.) y ciertas enfermedades de tipo canceroso (leucemia, cáncer cerebral, cáncer de colon, etc.) son contradictorios y en el momento actual no hay ninguna conclusión definitiva.

**Reproducción.** En estudios epidemiológicos se han notificado consecuencias adversas y cáncer infantil tras exposición materna y paterna a campos magnéticos, indicándose en el caso de la exposición paterna un efecto genotóxico. Pero otros estudios realizados para confirmar estos resultados no han dado, por el momento, resultados concluyentes.

**Reacciones neurológicas y de comportamiento.** Estudios de provocación con voluntarios jóvenes parecen indicar alteraciones fisiológicas tales como disminución de la frecuencia cardíaca y alteraciones del electroencefalograma tras la exposición a campos eléctricos y magnéticos. El reciente fenómeno de hipersensibilidad a la electricidad parece ser de origen multifactorial y no está claro si los campos tienen que ver o no con él.

### **¿Qué queda por investigar?**

En la actualidad se ignora que características de los campos son las causantes de los efectos, si es que existe alguna.

En la literatura encontramos un gran número de estudios, en los que se han presentado varios modelos de favorecimiento del cáncer, no obstante ninguno está exento de problemas y objeciones.

Hay dos mecanismos posibles que podrían ser favorecer la aparición de cáncer. Uno de ellos tiene que ver con la reducción de los niveles nocturnos de melatonina inducida por los campos magnéticos y el otro está relacionado con el descubrimiento de cristales de magnetita en los tejidos humanos.

Se sabe que la melatonina es un eliminador muy potente de radicales hidroxilo, y por lo tanto inhibe los daños que estos pueden provocar al ADN. Si se suprimen los niveles de melatonina debido al efecto de campos magnéticos, el ADN es más vulnerable al ataque por oxidación. Esta teoría explicaría porque la depresión de la melatonina por campos magnéticos podría provocar una mayor incidencia de cáncer en cualquier tejido.

También se sabe que en las células humanas hay cristales de magnetita en una concentración teóricamente lo bastante elevada para responder a campos magnéticos débiles. Así pues, el papel de estos cristales de magnetita debería tenerse en cuenta en los estudios sobre los posibles mecanismos que pueden proponerse como relacionados con los efectos potencialmente perjudiciales de los campos eléctricos y magnéticos.

A la vista de estas teorías, se hace necesario proseguir con los estudios acerca de esos posibles mecanismos.

# OBJETIVOS

---

## 2. OBJETIVOS

En este trabajo se estudiará el campo magnético producido por dos líneas de tensión, una de alta y otra de media, que recorren el terreno bajo estudio. Esto se realizará para conocer si sus valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la ley, y estos se compararán con los límites de exposición para conocer si pueden afectar o no de forma negativa a la salud humana.

También se estudiará como la proximidad de dos fuentes de campo magnético puede afectar a los valores de exposición, y el estudio se centrará en los puntos donde las dos líneas de tensión confluyen.

Para ello se realizarán un número de medidas suficientes bajo las líneas de tensión y otras medidas complementarias en su entorno, las cuales ayudarán a conocer si se cumple la normativa en el caso estudiado.

Por tanto el objetivo del presente estudio será evaluar la exposición a campos magnéticos producidos por las líneas de tensión que recorren la zona estudiada, tanto las líneas por separado como los puntos donde ambas confluyen, y una vez conocidos estos valores de exposición y tras comprarlos con los límites de exposición, se establecerán una serie de medidas preventivas, tanto en la organización del trabajo en el espacio, como medidas colectivas e individuales.

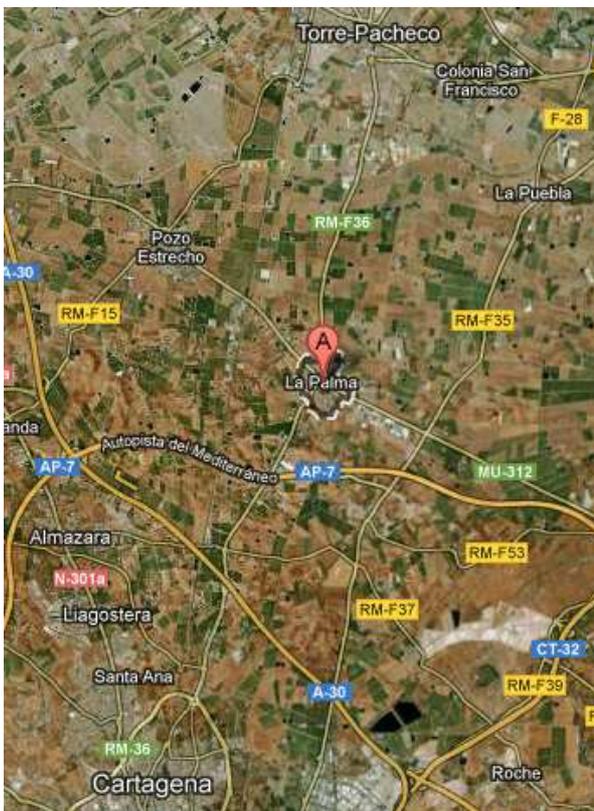
# MATERIALES Y MÉTODOS

---

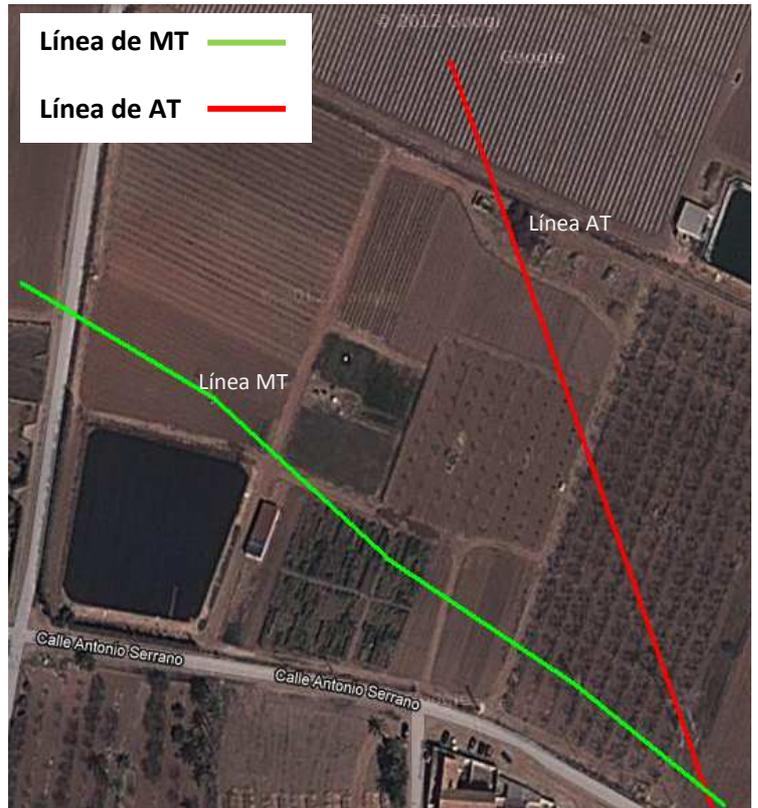
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE MEDICIÓN

Las medidas de campo magnético fueron realizadas en la Estación Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro” de la Universidad Politécnica de Cartagena (37° 35' N, 0° 59' W) ubicada en La Palma, sita en el Campo de Cartagena (Figura 1.-Mapa de situación), durante los meses de diciembre de 2012 y enero de 2013. Los datos utilizados en este estudio son una media de las medidas realizadas durante ese tiempo.



**Figura 1.** - Mapa de situación



**Figura 2.-** Lugar de medición

Las medidas se realizaron tanto en el entorno de la línea de alta tensión (AT) como en la de media tensión (MT) que recorren la finca (Figura 2.- Lugar de medición).

Línea AT

### 3.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para la realización de las medidas se utilizó un medidor de campo magnético estático ETM-1 de Metrolab Instruments, con sonda isotrópica de campo magnético estático (0 Hz) con sensibilidad de 0,01 mT (Figura 3.- Medidor de Campo Magnético estático Metrolab Instrument). Para ayudarnos en estas medidas se utilizó un GPS Magellan modelo SporTrak Pro (Figura 4.- GPS MAGELLAN SporTrak Pro), que nos sirvió para poder posicionar los puntos medidos sobre el mapa y para calcular las distancias entre los puntos de medida. Para las medidas en altura nos ayudamos con una escalera convencional de aluminio de tres peldaños. Por último, para conocer el valor de la altura a la que se midió se utilizó un metro de 5 metros.



**Figura 3.-** Medidor de Campo Magnético estático Metrolab Instrument



**Figura 4.-** GPS MAGELLAN SporTrack Pro

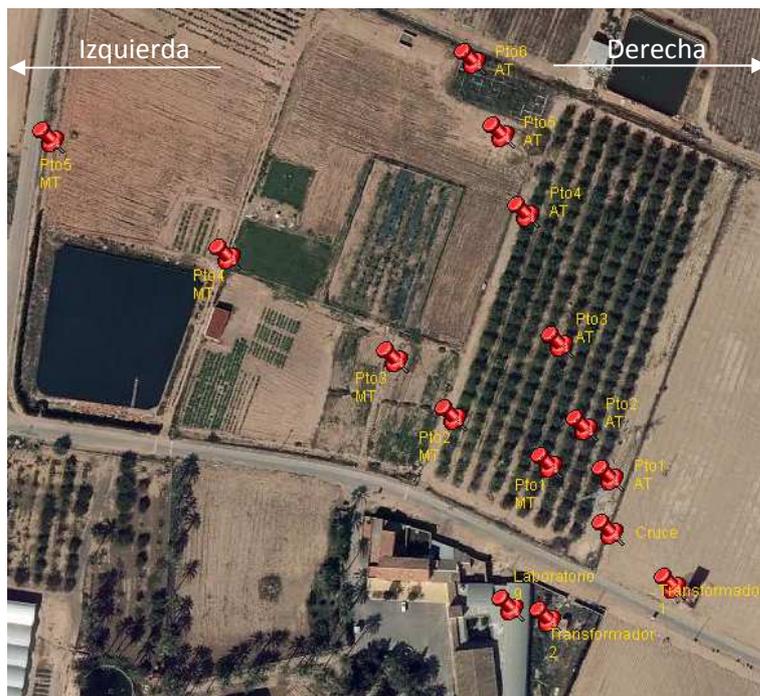
### 3.3. MÉTODO DE MEDICIÓN

El método de medida seguido fue la realización de toma de valores puntuales debajo de las líneas de tensión a la altura de trabajo. Tras tomar esta medida y partiendo de este punto se realizaban medidas a ambos lados de la línea, tanto a izquierda como a derecha, desplazándonos 5, 10 y 15 metros. Así para cada punto se obtuvieron un total

de 7 medidas: 1 medida debajo de la línea, 3 medidas hacia la derecha y 3 medidas hacia la izquierda.

Las medidas debajo de las líneas se realizaron evitando los cultivos presentes en la parcela e intentando realizar un número de medidas representativo. En la línea de AT se tomaron valores de campo magnético a 6 puntos debajo de la línea y en la línea de MT se tomaron valores en 5 puntos (Figura 5.- Puntos medidos), todos ellos con sus correspondientes medidas a izquierda a derecha. Además se tomó otra medida en el punto donde se cruzan las líneas de AT y MT, midiendo también hacia izquierda y derecha.

Tras la realización de todas las medidas y tras comprobar cuál era la de mayor valor en la línea de AT y MT, se tomaron medidas en altura. Estas medidas se realizaron a 0.5, 1.2, 1.65, 2 y 2.3 metros, tanto en el punto debajo de la línea como en los puntos medidos a izquierda y derecha (Figura 6- Medidas en altura).



**Figura 6.-**Puntos medidos



**Figura 5.-** Medidas en altura

Tras esto también se realizaron medidas en los dos transformadores que se encuentran en la finca y en el laboratorio más cercano a uno de estos transformadores.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

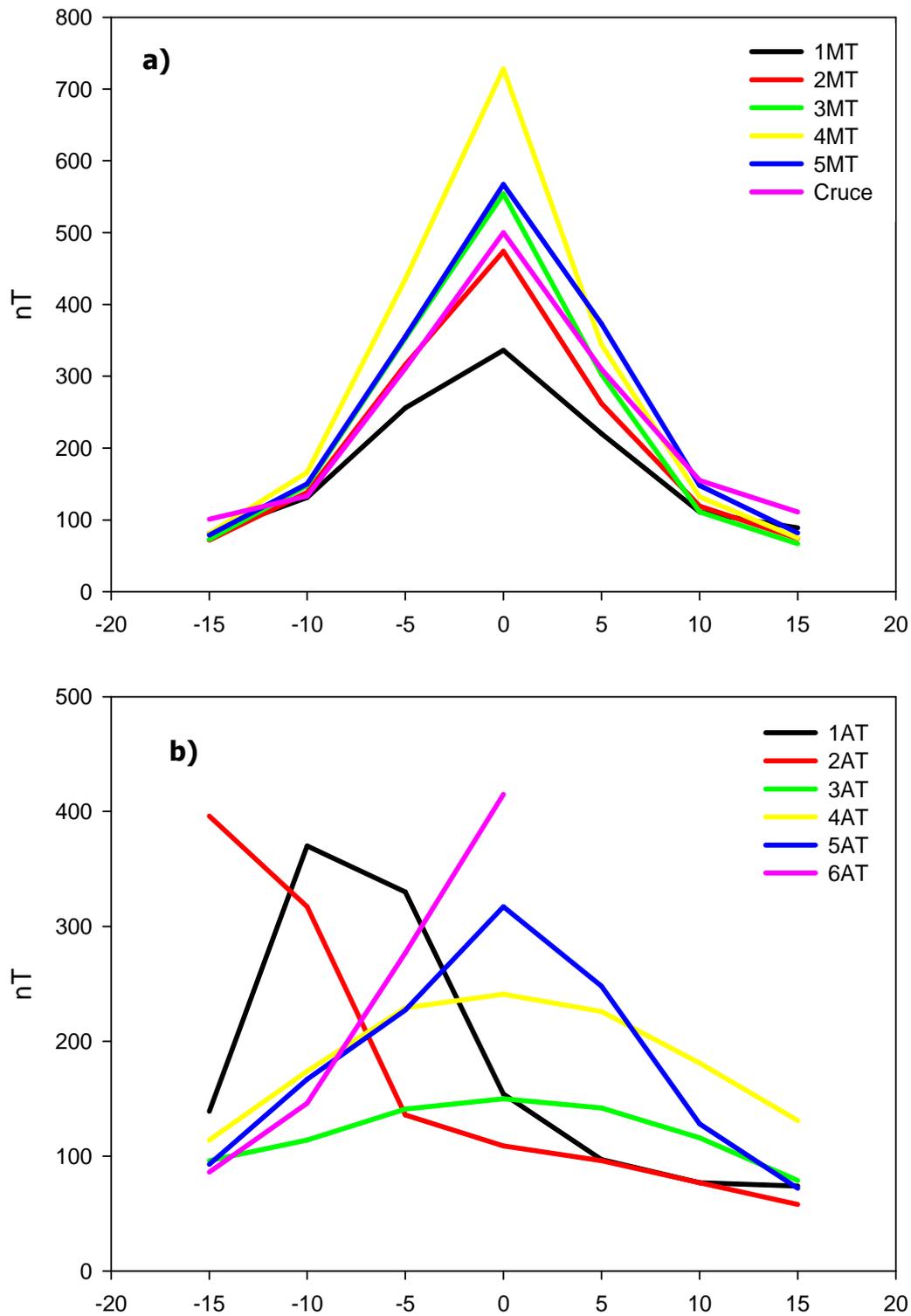
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. MEDIDAS HORIZONTALES

Como se puede observar en la Tabla 1 y en las Figuras 7 a y b, donde se representan los valores de campo magnético horizontales que se midieron tanto bajo las líneas de alta y media tensión como bajo el punto de cruce de ambas líneas, ninguno de los valores supera el máximo marcado en la ley de 100  $\mu$ Teslas. El máximo obtenido bajo la línea de media tensión se encuentra en el punto 4 con un valor de campo magnético de 728nT. Para la línea de alta tensión el punto de mayor valor de campo magnético medido bajo la línea se encuentra en el punto 6, con un valor de 415nT. En el punto de cruce de ambas líneas de tensión el valor medido es de 500nT.

**Tabla 1.-**Valores de Campo Magnético en nanoTeslas (nT) medidos a 50Hz horizontalmente bajo la línea de media tensión (MT), alta tensión (AT) y bajo el cruce de ambas líneas (Cruce).

		Izquierda				Derecha		
		15 m	10m	5m	0m	5m	10m	15m
MT 50Hz	Pto 1	81	131	256	336	220	111	89
	Pto 2	72	138	316	474	262	119	74
	Pto 3	73	148	353	554	303	111	67
	Pto 4	81	166	435	728	344	132	75
	Pto 5	79	150	355	567	373	148	82
Cruce		101	133	311	500	310	155	111
AT 50Hz	Pto 1	139	370	330	154	97	77	74
	Pto 2	396	317	136	109	96	77	58
	Pto 3	96	114	141	150	142	116	79
	Pto 4	114	174	229	241	226	181	131
	Pto 5	93	167	227	317	248	128	72
	Pto 6	86	146	277	415			



**Figura 7.-**Representación de los valores de campo magnético medidos horizontalmente bajo las líneas de media tensión (a) y alta tensión (b).

También se ha representado el valor de campo magnético medido a 5, 10 y 15 metros a ambos lados de las líneas de media y alta tensión. Se puede observar como el valor de campo magnético generalmente disminuye al aumentar la distancia a las líneas. En ciertos casos esta disminución no se observó con la misma intensidad, tal y como se puede ver en los puntos más cercanos al cruce de líneas de media y alta tensión, ya que ambas líneas se encuentran muy cerca la una de la otra y los valores medidos son el resultado del solape de las líneas.

Si observamos la Figura 7(a), en el punto 1 y 2 de la línea de media tensión, en los valores medidos hacia la derecha se observa como el campo magnético no disminuye con la misma intensidad que en el resto de puntos. Esto es debido a que hacia la derecha el campo magnético de la línea de media tensión se solapa con el campo magnético producido por la línea de alta tensión, por lo que a partir de los 5 metros podemos observar como la pendiente no disminuye con la misma intensidad.

Lo mismo ocurre en la línea de alta tensión (figura 7 (b)). Si observamos el punto 1 hacia la izquierda vemos como, no solo no disminuye el campo magnético al alejarnos de la línea, si no que aumenta al solaparse con la línea de media tensión, después disminuye ya que se sale fuera de la zona de influencia de la línea de media tensión. Lo mismo ocurre en el punto 2, hacia la izquierda el valor de campo magnético aumenta con la distancia ya que se va acercando a la línea de media tensión.

Conforme se avanza por la línea horizontalmente, vemos como aumenta el campo magnético, hasta llegar al punto 6 que es dónde se encuentra el valor de máximo de campo. La explicación a estos resultados de medida es que la línea de alta tensión se extiende en forma de catenaria y justamente es en el punto 6 donde se encuentra más próxima al suelo.

Tanto en la tabla 1 como en la figura 7 (b) podemos ver que no hay valores de campo magnético hacia la derecha en el punto seis de la línea de alta tensión. Esto es así porque en ese lugar se encuentra el límite de la estación experimental agroalimentaria Tomás Ferro, por lo que no se pudieron realizar las mediciones.

## 4.2. MEDIDAS VERTICALES

En la tabla 3 encontramos los valores medidos verticalmente en los puntos en los que se obtuvieron los valores máximos de campo magnético en la medición horizontal, esto es el punto 4 en la línea de media tensión y el punto 6 en la línea de alta tensión. Estas medidas se realizaron a 0.5m, 1.20m, 1.65m, 2m y 2.30m tanto debajo de la línea como a ambos lados a 5m, 10m y 15m. Se puede observar como al aumentar la altura aumenta también el valor de campo magnético, esto es debido a que aumentando la altura disminuye la distancia a la línea. Se puede observar que los valores máximos en el punto 4 para media tensión es de 1129 nT y para el punto 6 es de 522 nT.

**Tabla 2.-**Valores de Campo Magnético en nanoTeslas (nT) medidos a 50HZ verticalmente bajo la línea de media tensión (MT) y alta tensión (AT) en los puntos horizontales de mayor intensidad magnética (punto 4 en la línea de MT y el punto 6 en la línea de AT) y en el cruce de ambas líneas.

MT Pto.4	-15	-10	-5	0	5	10	15
0,5m	80	163	418	604	311	126	73
1,2m	81	166	435	728	344	132	75
1,65m	82	168	470	912	369	138	76
2m	86	169	535	1030	357	139	77
2,3m	87	170	570	1129	381	140	78

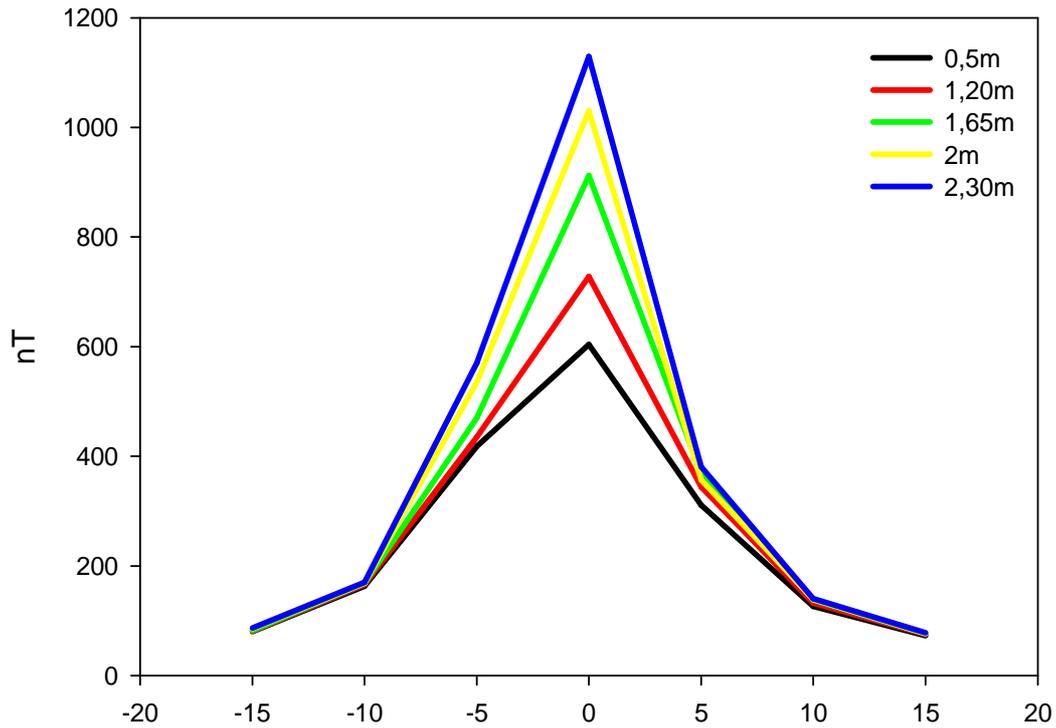
  

AT Pto.6	-15	-10	-5	0	5	10	15
0,5m	83	136	253	363			
1,2m	86	146	277	415			
1,65m	87	153	300	461			
2m	90	160	327	497			
2,3m	91	168	339	522			

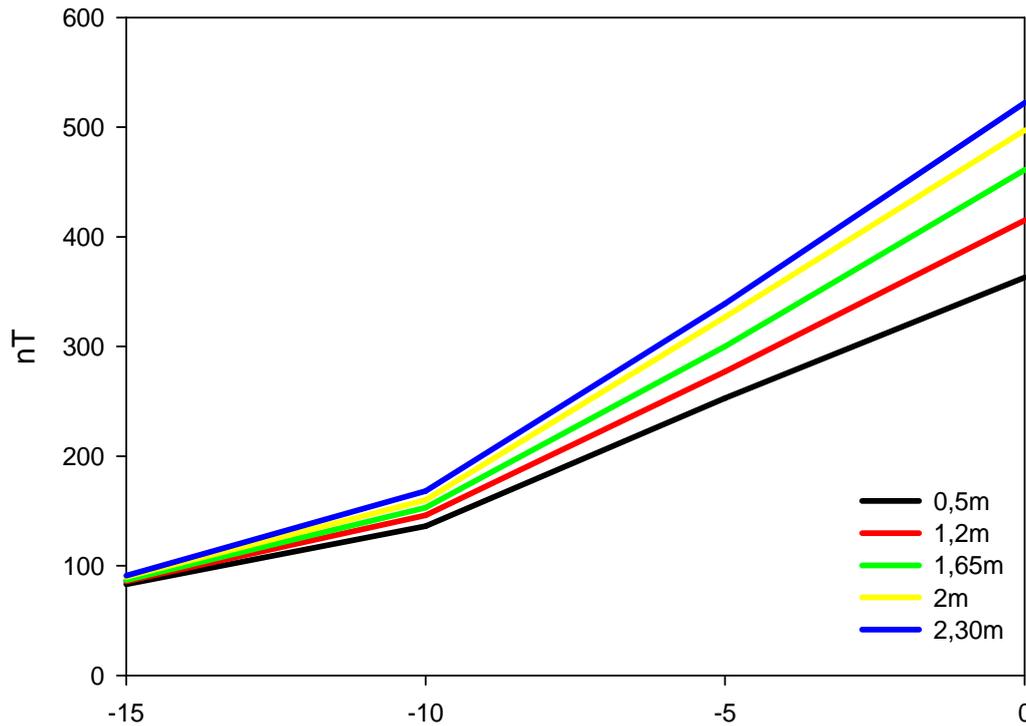
Cruce	-15	-10	-5	0	5	10	15
0,5m	97	125	256	373	263	144	104
1,2m	101	133	311	500	310	155	111
1,65m	103	138	328	636	360	170	115
2m	104	141	360	690	375	178	127
2,3m	105	145	396	830	410	179	131

En la figura 8 podemos observar las medidas de campo magnético en el punto 4, que como se ha comentado anteriormente es la de máximo valor en media tensión, bajo la línea y en sus alrededores. Podemos observar como al aumentar la altura, es decir, al acercarnos a la línea, el valor de campo magnético va aumentando.



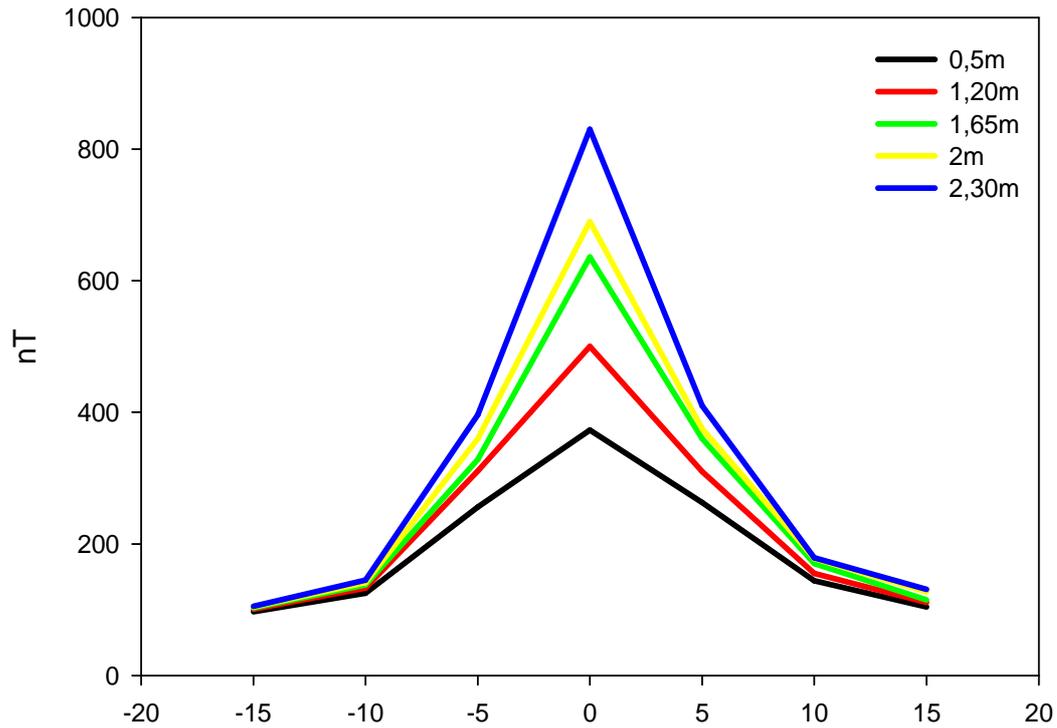
**Figura 8.-** Representación de los valores de campo magnético medidos verticalmente bajo la línea de media tensión en el punto 4.

En la figura 9 está representado el punto de máximo valor de campo magnético en la línea de alta tensión, es decir, el punto 6. Como se ha dicho anteriormente solo se tienen valores hacia la izquierda de la línea, ya que a la derecha se encuentra la valla que delimita el terreno. Tal y como se puede observar, en este punto al disminuir la distancia con la línea, es decir, al aumentar la altura de las medidas, el valor de campo magnético va aumentando.



**Figura 9.-** Representación de los valores de campo magnético medidos verticalmente bajo la línea de alta tensión en el punto 6.

En la figura 10 se representan los valores de campo magnético que se midieron en altura bajo el cruce de las líneas de alta y baja tensión. Es este punto en el que confluyen ambas líneas de tensión. Como en los gráficos anteriores se observa como al aumentar la altura aumenta también el valor de campo magnético medido.



**Figura 10.-** Representación de los valores de campo magnético medidos verticalmente bajo el cruce de líneas de tensión

### 4.3. MEDIDAS EN TRANSFORMADORES Y LABORATORIO

En la tabla 2 podemos observar los valores de campo magnético medidos en dos transformadores que se encuentran en la finca y en el interior de uno de los laboratorios que se encuentra más cercano a uno de los transformadores, en concreto al transformador 2. Como podemos ver, los valores medidos en los transformadores 1 y 2 se encuentran por debajo del límite establecido en la ley. Con unos valores de 285nT y 547nT respectivamente. Dentro del laboratorio el valor de campo magnético medido es de solo 32nT, por lo que está muy por debajo del límite de 100 $\mu$ T establecido.

**Tabla 3.-**Valores de Campo Magnético en nanoTeslas (nT) de medidas puntuales en dos transformadores y en el laboratorio más cercano al transformador.

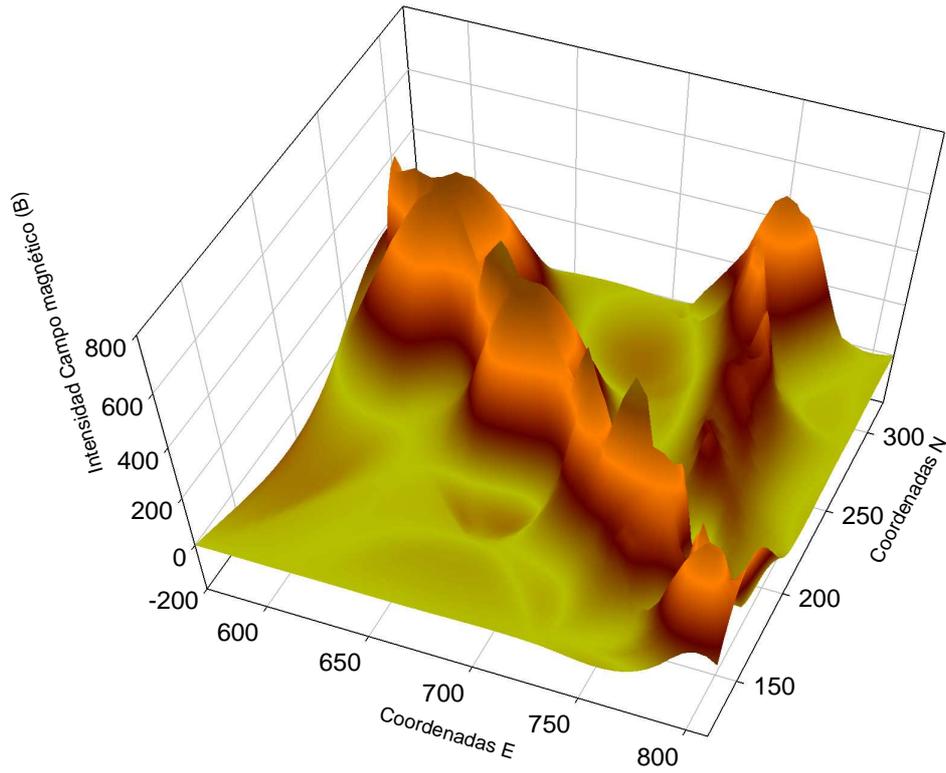
<b>Transformador 1</b>	285
<b>Transformador 2</b>	547
<b>Laboratorio</b>	32

#### 4.4. INFLUENCIA DE AMBAS LÍNEAS EN LOS VALORES DE EXPOSICIÓN

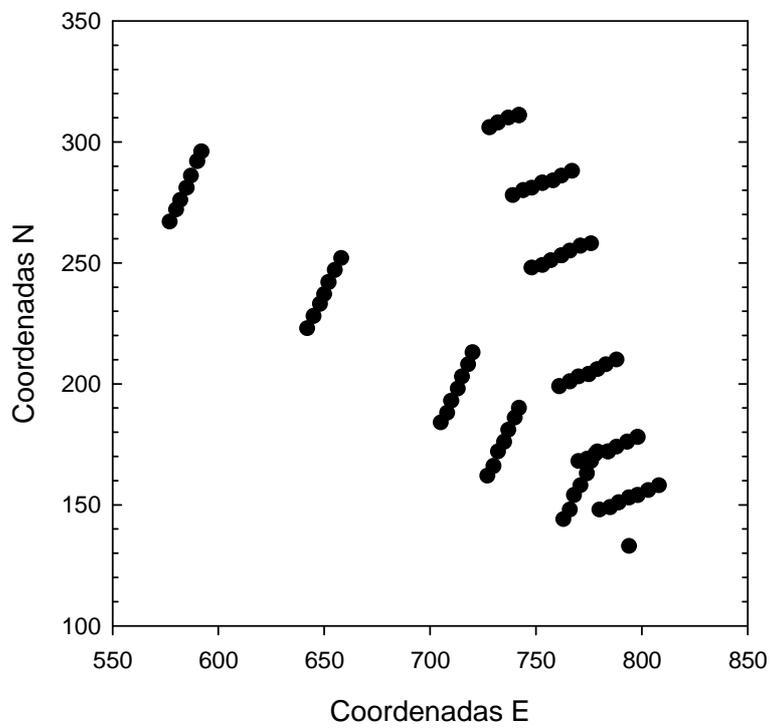
El gráfico de la figura 11 nos muestra cómo se distribuye el campo magnético en 3 dimensiones. Se puede observar cómo se distribuye el campo magnético en la superficie estudiada, representándose los valores más elevados en marrón y los de menor valor en verde.

La figura 12 nos muestra los puntos en los que se han realizado las medidas de campo magnético. Se pueden ver tanto los puntos medidos bajo las líneas como los que se han realizado a izquierda y a derecha. En esta representación se observa como los puntos medidos hacia la izquierda en el punto 1 de alta tensión se encuentran bajo la influencia de la línea de media tensión. El siguiente punto, el punto 2, se solapa con el punto 1 de la línea de media tensión. Conforme vamos avanzando por las líneas, vemos cómo va aumentando la distancia entre ellas, por ello los siguientes valores de campo magnético no se ven influenciados por los campos magnéticos debidos a las líneas contiguas.

Si se observa conjuntamente la figura 11 y la 12, vemos como los puntos centrales se corresponden a los valores más altos de campo magnético y en los puntos hacia ambos lados el campo magnético disminuye.

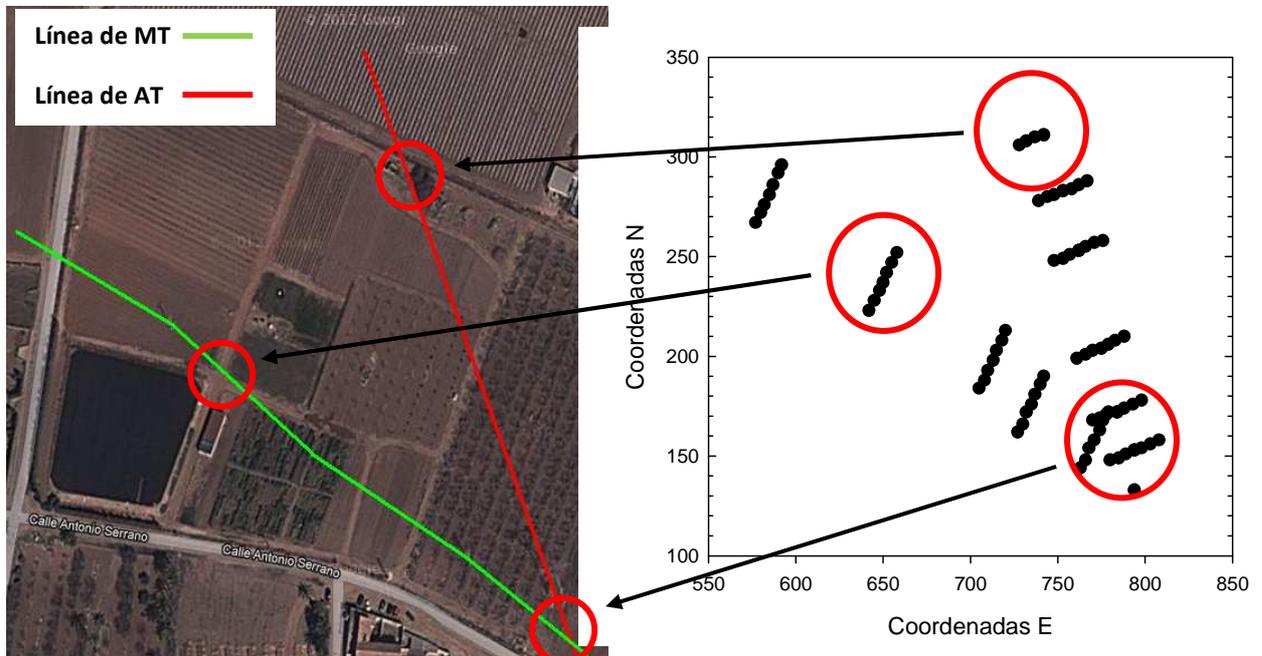


**Figura 12.-** Representación 3D del Campo Magnético



**Figura 11.-** Lugares donde se han realizado las mediciones

En la figura 13 se muestra la superficie estudiada anteriormente y el gráfico con las zonas medidas sobre ella. Los puntos señalados se corresponden a las zonas de mayor valor de campo magnético medido en este estudio, es decir, el punto 6 de alta tensión, el 4 de media tensión y el cruce de líneas. En estos puntos señalados no se recomienda la realización de trabajos de larga duración, aunque tal y como se dijo anteriormente, los valores medidos de campo magnético se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la ley. También es recomendable que estas zonas sean utilizadas para la ubicación de puestos de trabajo que impliquen la menor cantidad de operarios en el puesto y el mínimo tiempo de permanencia en ellos.



**Figura 13.**-Representación de la superficie estudiada y de los puntos medidos sobre la misma. Señalados los puntos de mayor valor de campo magnético medido.

# CONCLUSIONES

---

## 5. CONCLUSIONES

El máximo medido bajo la línea a altura de trabajo se encuentra bajo la línea de media tensión cuyo valor es de 728 nT o 0,728  $\mu$ T. Como valor medio tenemos en la línea de media tensión 532 nT y en la de alta tensión 231 nT.

El máximo medido en altura corresponde a 1129 nT o 1,129  $\mu$ T que se tomó a 2,3 metros de altura sobre el suelo bajo la línea de media tensión.

El valor más alto en los transformadores se encuentra en el transformador 2, con un valor de 547 nT, y en el interior del laboratorio más cercano a este transformador tiene un valor de campo magnético de 32  $\mu$ T.

A la vista de los valores obtenidos en las mediciones de campo magnético realizadas, podemos concluir que el campo magnético generado por las líneas de alta y media tensión que recorren la superficie estudiada, no representa ningún riesgo para la salud de las personas, por encontrarse estos valores muy por debajo de los límites establecidos por la ley de 100  $\mu$ T que darían lugar a una acción según la Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo.

Durante la investigación y redacción de este estudio se ha podido comprobar que el estudio de exposiciones a radiación ionizante está mucho más avanzado y desarrollado que para radiaciones no ionizantes, así que algunas de las medidas preventivas que se aconseja adoptar a continuación están basadas en los estudios de radiaciones ionizantes.

Desde el punto de vista higiénico, aunque según lo comentado anteriormente el campo magnético generado por las líneas de tensión en esta zona no presenta ningún riesgo para la salud, sería conveniente adoptar las siguientes medidas preventivas:

- Si es posible, aumentar la distancia de trabajo a las líneas de tensión.
- Disminuir el tiempo de exposición, mediante turnos de trabajo, sobre todo en las zonas donde confluyen los campos magnéticos de ambas líneas y en los puntos de mayor valor de campo.

- Señalizar la zona con un pictograma de advertencia sobre la existencia de radiaciones no ionizantes y delimitarla.
- Proporcionar a los trabajadores la formación e información adecuada.
- Vigilancia médica periódica de los trabajadores.
- Evitar la exposición de embarazadas, estados febriles, terapias con fármacos que afectan a la termorregulación o para portadores de marcapasos u otros dispositivos insertos cuyo funcionamiento puede verse alterado por la interferencia de esas radiaciones.
- Repetir las mediciones cada cierto tiempo.

Por último se recomienda que si es necesario trabajar bajo las líneas de tensión, se eviten las zonas cercanas tanto al punto 6 de alta tensión, el punto 4 de media tensión como al cruce de líneas, ya que son en estas zonas donde se encuentran los mayores valores de campo magnético, y por lo tanto los más perjudiciales para la salud humana. Si es posible, en las zonas señaladas crear puestos de trabajo que impliquen el menor número de operarios y el mínimo tiempo de permanencia en ellos.

# BIBLIOGRAFÍA

---

---

## 6. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA CONSULTADA

### BIBLIOGRAFÍA

Apuntes de Higiene Industrial del Máster de Prevención de Riesgos Laborales, curso 2011-2012.

Cuaderno preventivo: Radiaciones no Ionizantes. Secretaría de Medio Ambiente y Salud Laboral de la Unión General de Trabajadores de Cataluña, 2010.

Directiva 2013/40/CE de 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 de los agentes físicos (campos electromagnéticos) (vigésima directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE), y por la que se deroga la Directiva 2004/40/CE.

Exposición a campos magnéticos en la sociedad actual. Ibermutuamur. 14 de abril de 2009.

Grupo Pandora S.A. Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz. Análisis del estado actual de conocimientos, 2001.

Higiene Industrial, 5ª Edición, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo e Inmigración, 2008.

International Commission On Non-ionizing Radiation Protection e.V. (ICNIRP). Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz), 1998.

Ministerio de Sanidad y Consumo, Dirección General de Salud Pública y Consumo, Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Campos electromagnéticos y salud pública. Resumen informativo elaborado por el Ministerio de Sanidad y Consumo a partir del informe técnico realizado por el Comité de Expertos Independientes, 2011.

NTP 698. Directrices para limitar la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo (hasta 300 GHz) ICNIRP (98).

Recomendación del consejo de la Unión Europea de 12 de julio de 1999. (1999/519/CE).

## **WEBGRAFÍA**

Servidor de mapas en la Web Google Maps: <https://maps.google.es/>

Sistema de Información Geográfica (Visor SigPac):  
<http://sigpac.mapa.es/feqa/visor/>

Visor Cartográfico de la Región de Murcia (Cartomur):  
<http://cartomur.imida.es/visorcartoteca/>

Web Corporativa de Iberdrola S.A: [www.iberdrola.es](http://www.iberdrola.es)

Web Organización Mundial de la Salud (OMS): <http://www.who.int/es/>

Web Red Eléctrica de España: [www.ree.es](http://www.ree.es)