



Universidad
Politécnica
de Cartagena



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA



**ANÁLISIS DE MEDIDAS RADIOELÉCTRICAS EN
ENTORNOS DE INTERIOR E INCORPORACIÓN A
PLANOS 3D DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA EMPRESA DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA DE CARTAGENA.**

Autor: Guillermo Pérez García

Director: Antonio Manuel Martínez González

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi director de proyecto Antonio Manuel Martínez González haberme dado la oportunidad de trabajar con él en este proyecto y la ayuda prestada.

Quiero agradecer a mis padres, José Pérez y María del Carmen García, su apoyo y su ayuda incondicional en este trayecto que ha sido la vida universitaria y lo que será mi vida laboral y personal futura. A mi hermano Víctor Pérez por creer en mí cuando yo no creía en mí mismo.

Por supuesto, no puedo olvidarme de la que ha sido mi pareja durante mi época universitaria, y espero que sea por mucho tiempo, Flora Kirilova. Ella ha sido un constante apoyo para mí.

Por último, pero no menos importante, a las amistades que me han apoyado todo este tiempo a seguir mejorando. A Jaime Torrecillas por estar ahí al lado mío codo con codo estos últimos dos años, sin su ayuda no estaría donde estoy ahora.

*El valor de una persona no se mide solamente por sus conocimientos o por sus habilidades. El valor de una persona se mide por su **ACTITUD**. $V=(C+H)xA$*

Índice

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Planteamiento.....	2
1.2 Propósitos del proyecto.....	3
1.3 Fases del proyecto llevadas a cabo	3
Capítulo 2. LEGISLACIÓN	4
2.1 Documentos de referencia	5
2.1.1 Directiva 2013/35/UE	5
2.1.2 Orden Ministerial CTE/23/2002.....	11
2.1.3 Real Decreto 299/2016.....	16
Capítulo 3. SOFTWARE.....	17
3.1 AutoCAD	18
3.2 SketchUp.....	19
3.3 Golden Surfer.....	22
Capítulo 4. PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS DE MEDIDA	25
4.1 Datos del emplazamiento.....	26
4.2 Localización de los puntos de medida	26
4.2.1 Planta Baja.....	26
4.2.2 Primera Planta	27
4.2.3 Segunda Planta	28
4.2.4 Tercera Planta.....	28
4.3 Equipos de medida.....	29
4.3.1 Equipos para Alta Frecuencia (HF).....	29
4.3.2 Baja Frecuencia (LF).....	30
4.4 Procedimientos de medida	31
4.4.1 Alta frecuencia (HF).....	31
4.4.2 Baja Frecuencia (LF).....	32
Capítulo 5. RESULTADOS	33
5.1 Análisis Estadístico.....	34
5.1.1 Alta frecuencia (HF).....	34
5.1.2 Baja Frecuencia (LF).....	37
5.2 Análisis Gráfico	41
5.2.1 Alta frecuencia (HF).....	41
5.2.2 Baja Frecuencia (LF).....	45
Capítulo 6. CONCLUSIONES	53
Capítulo 7. REFERENCIAS	55

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento

Gracias a nuevas leyes en pro de la sanidad y el bienestar del ciudadano, frente a las nuevas tecnologías de radiocomunicación y sus más que amplias bandas de transmisión, surge este estudio de campos electromagnéticos en aquellos edificios públicos, como los edificios del campus de la UPCT, donde tanto personal de educación como alumnos están expuestos a estos campos antes citados.

Este estudio compara los valores de campo reales medidos en el edificio CIM (Cuartel de Instrucción de Marinería), que alberga a la Facultad de Ciencias de la Empresa del campus UPCT, respecto a los valores límite establecidos por la normativa. (A partir de ahora este edificio será nombrado en este proyecto como “CIM”.)

Para comenzar, se realizarán las medidas correspondientes con aparatos especializados de medición de campo electromagnético de la compañía NARDA-STS, tanto para baja como para alta frecuencia. Una vez realizadas las medidas se llevará a cabo un estudio de estas llevado a cabo con ciertos softwares técnicos y programas de cálculo.

Para finalizar, se modelará en 3D el plano del edificio correspondiente para luego presentar estos datos, ya estudiados, en mapas de radiación con el fin de poder comprobar la intensidad de campo electromagnético en todo el edificio.

La puesta en marcha de la “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 de 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” ha impulsado la realización de este proyecto.

1.2 Propósitos del proyecto

Los propósitos del proyecto:

- ➔ Estudio y post-procesado de medidas electromagnéticas en entornos interiores públicos.
- ➔ Representación gráfica mediante estructuras arquitectónicas en 3D.

1.3 Fases del proyecto llevadas a cabo

- Lectura y selección de la documentación técnica (manuales) y documentación legislativa.
- Medición.
- Procesado y estudio de las medidas.
- Implementación del software técnico adecuado.
- Desarrollo y representación mediante mapas de radiación y estudio estadístico.
- Implementación conjunta de los mapas de radiación y la estructura en 3D correspondiente.
- Conclusiones.

Capítulo 2

LEGISLACION

En este capítulo se exponen los datos y la información disponibles en las diversas normativas utilizadas para la realización del proyecto.

2.1 Documentos de referencia

La documentación de referencia utilizada en este proyecto es la siguiente:

- **Directiva 2013/35/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013.
- **Orden Ministerial CTE/23/2002**, de 11 de enero de 2002.
- **Real Decreto 299/2016**, de 22 de julio de 2016.
- **UNE-EN 50499**, de noviembre de 2009.
- **UNE 215002 IN**, de diciembre de 2010.

A continuación, se detallarán los siguientes documentos:

2.1.1 Directiva 2013/35/UE

“Directiva 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 de 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”

En el *Artículo 1* se enuncia que en el documento se abordan todos los efectos biofísicos directos conocidos y los efectos indirectos causados por campos electromagnéticos, así como expone aquellos valores límite de exposición que se refieren de manera única a los vínculos comprobados de manera científica entre los efectos biofísicos directos a corto plazo y la exposición a los campos electromagnéticos. Aunque no se abordan los posibles efectos a largo plazo.

En el *Artículo 2* se definen estos importantes conceptos:

- a) *“Campos electromagnéticos: los campos eléctricos estáticos, los campos magnéticos estáticos y los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, de frecuencias de hasta 300GHz.”*
- b) *“efectos biofísicos directos: los efectos en el cuerpo humano causados directamente por su presencia en un campo electromagnético, entre ellos:*
 - i. *Efectos térmicos, como el calentamiento de los tejidos,*
 - ii. *Efectos no térmicos, como la estimulación de los músculos, de los nervios o de los órganos sensoriales, y*
 - iii. *Corrientes en las extremidades.”*
- c) *“efectos indirectos: efectos causados por la presencia de un objeto en un campo electromagnético que pueda entrañar un riesgo para la salud o la seguridad, como:*

- i. *Interferencias con equipos y dispositivos médicos electrónicos,*
 - ii. *Riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos,*
 - iii. *Activación de dispositivos electro-explosivos(detonadores),*
 - iv. *Incendios y explosiones resultantes de la ignición de materiales inflamables mediante chispas causadas por campos inducidos, y*
 - v. *Corrientes de contacto.”*
- d) *“valor límite de exposición: los valores que se han establecido a partir de consideraciones biofísicas y biológicas, en particular sobre la base de efectos directos agudos y a corto plazo comprobados científicamente, por ejemplo los efectos térmicos y la estimulación eléctrica de los tejidos.”*
- e) *“valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud: aquellos valores límite de exposición por encima de los cuales los trabajadores pueden sufrir efectos adversos para la salud (ej. Calentamiento térmico)”*
- f) *“valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales: aquellos valores límite de exposición por encima de los cuales los trabajadores pueden estar sometidos a trastornos transitorios de las percepciones sensoriales y a pequeños cambios en las funciones cerebrales.”*
- g) *“niveles de actuación: los niveles operativos establecidos para simplificar la demostración del cumplimiento de los valores límite de exposición correspondientes o, en su caso, para tomar las medidas de protección o prevención correspondientes establecidas en la presente Directiva. La terminología relativa a los niveles de actuación usada en el anexo II es:*
- i. *para los campos eléctricos, se entenderá por <<niveles de actuación inferiores>> y <<niveles de actuación superiores>> los niveles relacionados con medidas específicas de protección o prevención establecidas en la presente Directiva, y*
 - ii. *para los campos magnéticos, se entenderá por <<niveles de actuación inferiores>> los niveles correspondientes a valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales y por <<niveles de actuación superiores>>, los correspondientes a valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud.”*

En el *Artículo 3* se expresa que la exposición podrá superar:

- a) *“los niveles de actuación inferiores para los campos eléctricos, cuando lo justifiquen la práctica o el proceso, siempre que, o bien no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales, o bien:*
 - i. *no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud,*
 - ii. *se prevengan las descargas de chispa excesivas y las corrientes de contacto.”*
- b) *“los niveles de actuación inferiores para los campos magnéticos, cuando se justifique por la práctica o el proceso, incluidos la cabeza y el torso, durante el turno de trabajo, siempre que, o bien no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales, o bien:*
 - i. *la superación de los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales sea temporal solamente,*
 - ii. *no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud.”*
- c) *“los valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales durante el turno de trabajo, cuando se justifique por la práctica o el proceso, siempre que:*
 - i. *la superación sea temporal solamente,*
 - ii. *no se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud,*
 - iii. *se hayan adoptado medidas de protección específicas,*
 - iv. *se actúe debidamente cuando aparezcan síntomas transitorios,*
 - v. *se haya facilitado información sobre la situación correspondiente.”*

En cambio, en el *Artículo 10* se establecen los parámetros por los cuales la exposición podrá superarse, nombrándose como “*Excepciones*”, pero teniendo en cuenta las disposiciones encaminadas a evitar o reducir riesgos, siendo de aplicación lo siguiente:

- a) *“la exposición podrá superar los valores límite de exposición si está relacionada con la instalación, el ensayo, el uso, el desarrollo, el mantenimiento o la investigación de equipos de imágenes por resonancia magnética (IRM) para pacientes en el ámbito sanitario, siempre y cuando se cumplan todas las condiciones siguientes:*
 - i. *que la evaluación de los riesgos realizada haya demostrado que se han superado los valores límite de exposición,*
 - ii. *que, habida cuenta del estado de la técnica, se hayan aplicado todas las medidas técnicas u organizativas,*
 - iii. *que las circunstancias justifiquen debidamente la superación de los valores límite de exposición,*

- iv. *que se hayan tenido en cuenta las características del lugar de trabajo, el equipo de trabajo o las prácticas de trabajo, y*
- v. *que el empresario demuestre que los trabajadores siguen estando protegidos contra los efectos adversos para la salud y contra los riesgos para la seguridad, en particular asegurándose de que se siguen las instrucciones de uso seguro facilitadas por el fabricante.”*

Para finalizar, se destacará el Anexo I y el Anexo II por la información contenida.

El Anexo I especifica y define las magnitudes físicas relativas a la exposición a campos electromagnéticos, tales como:

- 1) *“Intensidad de campo eléctrico (E): magnitud vectorial que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios por metro (Vm^{-1}). Es preciso distinguir entre el campo eléctrico ambiental y el campo eléctrico presente en el cuerpo (in situ) como resultado de la exposición al campo eléctrico ambiental.”*
- 2) *“Corriente en las extremidades (I_L): corriente en las extremidades de una persona expuesta a campos electromagnéticos dentro del intervalo de frecuencias comprendido entre 10 MHz y 110MHz como resultado del contacto con un objeto en un campo electromagnético, o el flujo de las corrientes capacitivas inducidas en un cuerpo expuesto. Se expresa en amperios (A).”*
- 3) *“Corriente de contacto (I_C): corriente que aparece cuando una persona entra en contacto con un objeto en un campo electromagnético. Se expresa en amperios (A). Se produce una corriente de contacto en estado estacionario cuando una persona está en contacto continuo con un objeto en un campo electromagnético. En el proceso del establecimiento de dicho contacto, puede producirse una descarga de chispas con corrientes transitorias asociadas.”*
- 4) *“Carga eléctrica (Q): magnitud adecuada utilizada para la descarga de chispa; se expresa en culombios(C).”*
- 5) *“Intensidad de campo magnético (H): magnitud vectorial que, junto con la densidad de flujo magnético, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (Am^{-1}).”*
- 6) *“Densidad de flujo magnético o inducción magnética (B): magnitud vectorial definida en términos de fuerza ejercida sobre cargas en movimiento que se expresa en teslas (T). En el espacio libre y en la materia biológica, la densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético se pueden utilizar indiferentemente según la equivalencia intensidad de campo magnético $H=1 Am^{-1}$ igual a la densidad de flujo magnético $B=4\pi 10^{-7} T$ (alrededor de 1,25 microteslas).”*

- 7) “Densidad de potencia (S) es una magnitud adecuada que se utiliza para frecuencias muy altas, cuando la profundidad de penetración en el cuerpo es baja. Es el cociente de la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de esta superficie. Se expresa en vatios por metro cuadrado (Wm^{-2}).”
- 8) “Absorción específica de energía (SA) es una energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico; se expresa en julios por kilogramo (Jkg^{-1}). Se utiliza para establecer límites para los efectos de la radiación de microondas pulsátil.”
- 9) “Tasa de absorción específica de energía (SAR) sobre la totalidad del cuerpo o sobre una parte de este, es la tasa de energía que es absorbida por unidad de masa de tejido corporal. Se expresa en vatios por kilogramo (Wkg^{-1}). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a las radiofrecuencias. Junto al SAR medio de cuerpo entero, los valores SAR locales son necesarios para evaluar y limitar una acumulación excesiva de energía en pequeñas partes del cuerpo como consecuencia de unas condiciones especiales de exposición.”

Se pueden medir directamente la B, la I_C , la I_L , la E, la H y la S.

Para concluir este apartado, en el Anexo II y en el Anexo II de la Directiva encontramos ciertas tablas que exponen los valores límite de exposición y los niveles de actuación para unos rangos de frecuencia determinados.

Para efectos no térmicos:

	VLE relacionados con efectos sensoriales
Condiciones de trabajo normales	2 T
Exposición localizada en las extremidades	8 T
	VLE relacionados con efectos para la salud
Condiciones de trabajo controladas	8 T

Tabla 1. Valores límite de exposición (VLE) de densidad de flujo magnético externo (B_0) de 0 a 1Hz

Gama de frecuencias	VLE relacionados con efectos para la salud
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ Vm}^{-1}$ (pico)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ Vm}^{-1}$ (pico)

Tabla 2. VLE relacionados con efectos para la salud para una intensidad de campo eléctrico interno comprendida entre 1 Hz y 10MHz

Intervalo de frecuencias	VLE relacionados con efectos sensoriales
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ Vm}^{-1}$ (pico)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07 \text{ Vm}^{-1}$ (pico)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ Vm}^{-1}$ (pico)

Tabla 3. VLE relacionados con efectos sensoriales para una intensidad de campo eléctrico interno comprendido entre 1Hz y 400Hz

Intervalo de frecuencias	NA (E) inferior de intensidad del campo eléctrico [Vm^{-1}] (RMS)	NA (E) superior de intensidad del campo eléctrico [Vm^{-1}] (RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Tabla 4. Niveles de actuación (NA) para exposiciones a campos eléctricos comprendidos entre 1 Hz y 10 MHz

Intervalo de frecuencias	NA (B) inferior para densidad de flujo magnético [μT] (RMS)	NA (B) superior para densidad de flujo magnético [μT] (RMS)	NA para densidad de flujo magnético para una exposición de las extremidades a un campo magnético localizado [μT] (RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabla 5. NA para exposiciones a campos magnéticos en el intervalo entre 1 Hz y 10 MHz

Para efectos térmicos:

VLE relacionados con efectos para la salud	Valores SAR promediados a lo largo de un período cualquiera de seis minutos
VLE relativo al estrés térmico del cuerpo entero, expresado como SAR promediado del cuerpo	$0,4 \text{ Wkg}^{-1}$
VLE relativo al estrés térmico localizado en la cabeza y tronco, expresado como SAR localizado del cuerpo	10 Wkg^{-1}
VLE relativo al estrés térmico en las extremidades, expresado como SAR localizado de las extremidades	20 Wkg^{-1}

Tabla 6. VLE relacionados con efectos para la salud para exposiciones a campos electromagnéticos comprendidos entre 100 kHz y 6 GHz

Intervalo de frecuencias	Absorción de energía específica localizada (AE)
$0,3 \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	10 mJkg^{-1}

Tabla 7. VLE relacionados con efectos sensoriales para la exposición a campos electromagnéticos de frecuencias comprendidas entre 0,3 GHz y 6GHz

Intervalo de frecuencias	VLE relacionados con efectos para la salud relativos a la densidad de potencia
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	50 Wm^{-2}

Tabla 8. VLE relacionados con efectos sobre la salud para la exposición a campos electromagnéticos comprendidos entre 6 GHz y 300 GHz

Intervalo de frecuencias	NA (E) de intensidad del campo eléctrico [Vm^{-1}] (RMS)	NA (B) de densidad de flujo magnético [μT] (RMS)	NA (S) de densidad de potencia (en Wm^{-2})
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^2$	$2,0 \times 10^6/f$	—
$1 \leq f < 10 \text{ MHz}$	$6,1 \times 10^8/f$	$2,0 \times 10^6/f$	—
$10 \leq f < 400 \text{ MHz}$	61	0,2	—
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	$3 \times 10^{-3} f^{1/2}$	$1,0 \times 10^{-5} f^{1/2}$	—
$2 \leq f < 6 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	—
$6 \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	50

Tabla 9. NA para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos comprendidas entre 100 kHz y 300 GHz

2.1.2 Orden Ministerial CTE/23/2002

Orden del Ministerio de Ciencia y Tecnología, de 11 de enero, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones. Se establecen condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, aprobado mediante el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre.

De este documento se destaca el Anexo IV sobre los demás para este proyecto, se enuncia como “Procedimiento para la realización de medidas de niveles de emisión”.

Se distinguen 3 fases de medida dependiendo del grado de precisión y de las características del proceso. En todos los casos, se habrán de tener en cuenta un conjunto de consideraciones y actuaciones para la realización de las medidas que se han resumido en lo que se denomina fase previa.

1. *“Fase previa a las mediciones: previamente al proceso de medida, se deberá recopilar toda la información necesaria de la/s estación/es radioeléctrica/s a evaluar y su entorno, al objeto de asegurar que las mediciones se efectúen en puntos de máximo nivel de emisión en los espacios en los que puedan permanecer habitualmente personas, contemplando, para ello, tanto los factores del entorno, como los factores radioeléctricos que intervendrán en las mediciones.*

a) *Factores del entorno de las estaciones: Identificación de zonas en las que puedan permanecer habitualmente personas, próximas a los centros emisores, particularmente en la dirección de máxima radiación de las antenas emisoras.*

b) *Factores radioeléctricos: Deberá tenerse en cuenta que el equipo de medida sea el más adecuado, en función del tipo de medida que vaya a realizarse. Además, habrá de asegurarse que los equipos utilizados hayan sido calibrados y estén en el período válido de calibración dado por el fabricante. Se deberán realizar las mediciones de los campos electromagnéticos sin la presencia de elementos perturbadores para estos campos como pueda ser el cuerpo humano del que realice las mediciones. Por ello, se utilizarán elementos adicionales para las mediciones, tales como trípodes no metálicos o mástiles. Se evaluará si el punto de medida estaría inmerso en la zona de <<campo cercano>> o en la zona de <<campo lejano>>. Para ello sería necesario conocer la distancia entre el punto de medida y la antena radiante. Como criterio práctico y aproximativo, para establecer el límite entre los dos campos, se establece, para frecuencias inferiores a 1 GHz:*

Si $d > 3\lambda$; <<campo lejano>>.

Si $d < 3\lambda$; <<campo cercano>>.

Donde “d” es la distancia desde el punto de medida a la antena cuya emisión se pretende medir y “ λ ” es la longitud de onda de la frecuencia de estudio. Si el punto de medida estuviese en <<campo cercano>>, sería necesario verificar las intensidades de campo eléctrico E (V/m), y magnético H (A/m), a fin de comparar con los valores establecidos, para cada caso.

Si el punto de medida se encontrase en <<campo lejano>>, solo sería necesario medir una de las magnitudes de intensidad de campo, deduciéndose la otra por las expresiones:

$$|E| = |H| \eta_0 \text{ y } |H| = \frac{|E|}{\eta_0} \quad (\eta_0 = 377 \Omega)$$

Se realizarán, en esta fase previa a las mediciones, la puesta a cero del equipo, si éste lo requiere, a fin de garantizar unas mediciones libres de errores.

Se recomienda la utilización de equipos de medida con posibilidad de almacenamiento de datos en su memoria interna, a fin de permitir el procesado de los mismos para la elaboración del informe final de medidas.”

2. “Fase-1 de medida: se utilizarán equipos de medida de banda ancha con sondas isotrópicas que permiten caracterizar radioeléctricos de forma rápida, aunque no ofrecen información acerca de cada componente espectral. El proceso de medida para esta fase será el siguiente; recorrer con la sonda el entorno de la estación accesible al público, tomando medidas instantáneas con el fin de identificar los puntos de máxima exposición, variando la altura relativa de la sonda respecto del suelo entre 0 y 2 metros, estimando los más significativos para realizar las medidas. Una vez identificados los puntos de máxima exposición, se realizará la medida, evitando que la presencia del técnico afecte al resultado. (Utilización de trípode y proceso de inicialización del equipo) Se tomarán muestras (una por segundo) durante un periodo de 6 minutos y se obtendrá el valor promediado en ese período). Se medirá la distancia desde el punto de medida a la fuente emisora con ayuda de un telemetro óptico, si éste fuese preciso. Se almacenarán los valores obtenidos de las medidas para cada ubicación en que éstas se realicen. Se anotarán los valores RMS obtenidos. Si en el momento de la medición la estación no emitiera con su máxima potencia autorizada, se efectuará una extrapolación del valor medido, al objeto de obtener el nivel de exposición en ese punto en el supuesto de que dicha estación emitiese a máxima potencia. Los resultados obtenidos en el proceso de medida, para cada magnitud, deberán compararse con los denominados <<niveles de decisión>>. Estos niveles de decisión se establecen en 6 dB por debajo de los niveles de referencia señalados en el Real Decreto 1066/2001.

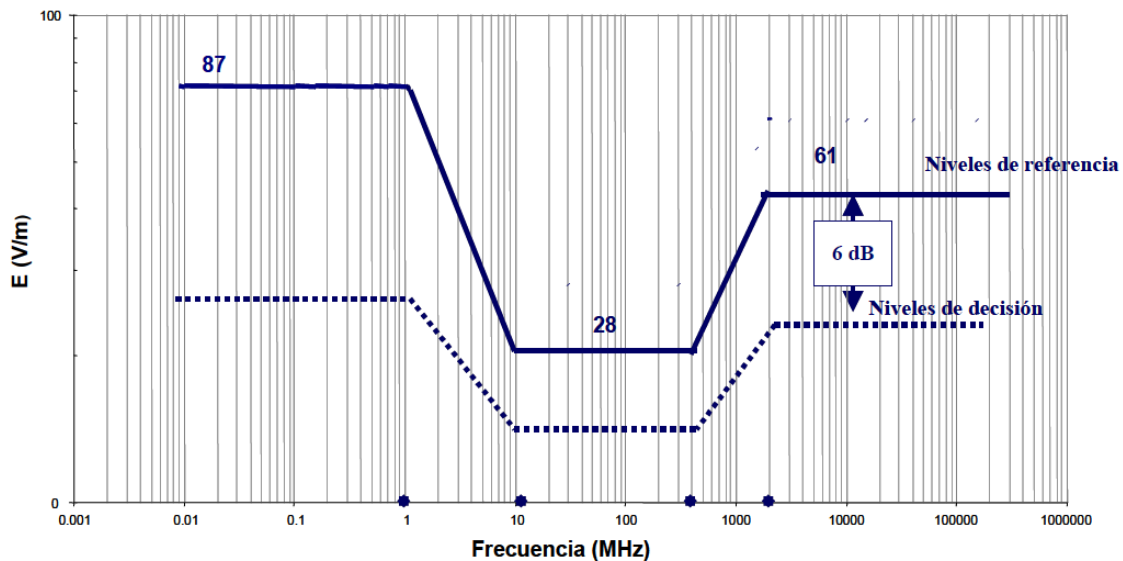


Figura 1. Caso de intensidad de campo eléctrico V/m

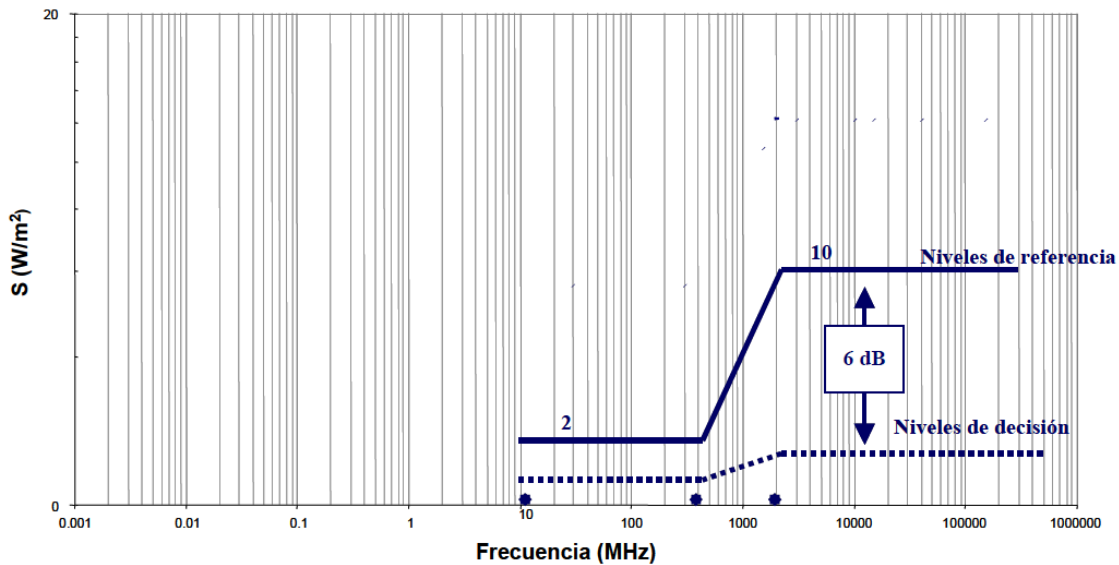


Figura 2. En caso de densidad de potencia W/m^2

Si para todos los puntos de medida los niveles observados en las medidas no alcanzasen el umbral de detección del equipo o, si aún superando éste, fuesen inferiores a los niveles de decisión, podrán considerarse, el sistema radioeléctrico o la zona en estudio, adaptados a las exigencias del Reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, y, en consecuencia, no sería necesario realizar mediciones adicionales en fases posteriores. Si algún valor de los obtenidos en el proceso de medida superase los niveles de decisión, deberá procederse a la realización de nuevas mediciones en la fase-2 o en la fase-3, en función de las circunstancias que se aprecien en cada caso, según se indica en los apartados siguientes.”

3. *“Fase-2 de medida: se deben utilizar analizadores de espectro o receptores de banda ancha selectivos en frecuencia. Este tipo de equipos tienen una mayor sensibilidad y son capaces de medir con gran precisión. Por el contrario, necesitan de un mayor tiempo para realizar la medida y deben emplearse antenas cuyas características radioeléctricas estén definidas, esto es, polarización, impedancia de entrada, ganancia o factor de antena y un cable cuya atenuación en función de la frecuencia sea conocida. La fase-2 de medidas se circunscribirá a la realización de medidas en la banda de frecuencias comprendida entre 9 kHz y 3 GHz. Las medidas, siempre que sea posible, se realizarán en <<campo lejano>>. Las medidas consistirán en determinar todas las componentes espectrales significativas, buscando para cada una de ellas el caso peor, esto es, maximizar su nivel en función de la orientación y polarización de la antena. Los equipos a utilizar en esta fase-2 de medidas deberán ofrecer valores RMS y permitir el promediado de éstas en el intervalo de 6 minutos, establecido en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre. El proceso de medida será el siguiente:

 - a. *El técnico deberá buscar en el espectro radioeléctrico el máximo nivel de exposición en orientación y polarización.**

- b. *El técnico observará en tiempo real la variación de cada componente espectral en función de la orientación de la antena. Deberá ponerse especial cuidado en la iteración de su cuerpo con la medida, intentando minimizar este efecto.*
- c. *Para maximizar la lectura de todas las componentes espectrales deberán utilizarse las funciones que para este fin disponga el receptor de medida.*
- d. *Una vez obtenido el nivel de cada componente espectral, se deberá calcular la magnitud adecuada para su comparación con los límites de exposición del anexo II Reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre. Si el equipo utilizado no proporcionase unidades de medida en las magnitudes comparables (intensidades de campo eléctrico y magnético o densidad de potencia), se realizarán las conversiones necesarias utilizando el correspondiente factor de antena, pérdidas en cable, etc., para expresar la lectura en dichas magnitudes de manera correcta.*
- e. *A efectos de obtener la exposición total de las componentes espectrales significativas, se considerarán las que superen el nivel de (40 dB) por debajo de los niveles de referencia establecidos en el anexo II del citado Reglamento y se procederá a la verificación de las condiciones señaladas en el apartado 4.2 del referido anexo II.*

Si, con el sumatorio de los niveles correspondientes a las componentes espectrales consideradas en cada punto de medida, se cumplen las condiciones referidas, podrán considerarse el sistema radioeléctrico o la zona en estudio, adaptados a las exigencias del Reglamento.”

4. *“Fase-3 de medida: Cuando las fuentes emisoras a analizar estén operando en frecuencias distintas a las de la fase segunda, o bien no sea posible la realización de las medidas en <<campo lejano>>, se procederá a la realización de estas medidas, con un análisis más exhaustivo de las emisiones, con la utilización del equipamiento de medida apropiado para cada caso y se realizarán mediciones de las magnitudes necesarias a fin de que pueda documentarse técnicamente cada una de las fuentes emisoras y la verificación de que sus niveles de intensidades de campos electromagnéticos presenten valores fácilmente comparables con los niveles de referencia fijados en el Real Decreto 1066/2001. En esta fase-3 deberán incluirse los casos de mediciones para frecuencias bajas en las que el punto de medida haya de ubicarse lo suficientemente cerca de la antena como para estar inmerso en el <<campo cercano>>. También serán incluidos en esta fase-3 las emisiones pulsantes (p.e radar) o cualquier otra que por sus especiales características necesite ser analizada de manera singular, debiendo ser señaladas estas circunstancias en el correspondiente informe de medidas en cada caso. En todos los casos, para la realización de las medidas, deberán utilizarse las antenas apropiadas para las bandas de frecuencia en las que se ubiquen las emisiones objeto de análisis. La consideración del sistema radioeléctrico o la zona en estudio, adaptados o no a las exigencias del Reglamento, una vez llevadas a cabo las medidas en esta fase-3, seguirá criterios análogos a los de las fases precedentes.”*

2.1.3 Real Decreto 299/2016

Real Decreto, 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.

Según el *Artículo 1* “*tiene por objeto establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores contra los riesgos para su salud y su seguridad derivados o que puedan derivarse de la exposición a campos electromagnéticos durante su trabajo*”.

En resumen, posee el mismo enfoque y la misma información que la Directiva 2013/35/UE, puesto que se el documento base es éste, pero la redacción tiene un punto de vista más concreto y directo.

Sin embargo, en este documento no hay guías, en cambio, en la Directiva 2013/35/UE sí.

Capítulo 3

SOFTWARE

Para el desarrollo de este proyecto y el estudio de las medidas se han utilizado los siguientes Softwares técnicos:

1. AutoCAD
2. SketchUp
3. Golden Surfer

3.1 AutoCAD

“AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, donde Auto hace referencia a la empresa y CAD a diseño asistido por computadora (por sus siglas en inglés Computer Assisted Design), teniendo su primera aparición en 1982. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros.

Además de acceder a comandos desde la solicitud de comando y las interfaces de menús, AutoCAD proporciona interfaces de programación de aplicaciones (API) que se pueden utilizar para determinar los dibujos y las bases de datos.

Las interfaces de programación que admite AutoCAD son ActiveX Automation, VBA (Visual Basic® for Applications), AutoLISP, Visual LISP, ObjectARX y .NET. El tipo de interfaz que se utilice dependerá de las necesidades de la aplicación y de la experiencia en programación de cada usuario.” [10]

AutoCAD incluye geometría básica para dibujar en 2D (líneas, arcos, curvas, prismas), aunque es un programa de dibujo de propósito general se incluyen la creación de sketches paramétricos, también tiene un manejador de librería de símbolos de diferentes temas como arquitectónico, mecánico e industrial, donde puedes seleccionar la figura que necesitas e insertarla en tu dibujo, además, la administración del dibujo es por capas o layers.

AutoCAD también crea representaciones 3D de los dibujos usando diferentes vistas ortogonales y en perspectiva incluyendo operaciones de renderizado básicas. SE permite diseñar, visualizar, y documentar proyectos de forma sencilla y permite exportar e importar datos de otros programas CAD.

Para poder visualizar y trabajar con los planos del edificio bajo estudio (CIM), que se realizaron en este programa, se ha tenido que incluir en la lista de Softwares utilizados.

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo de la vista en 2D de la planta baja del edificio CIM. El resto de las plantas se verán de la misma forma.

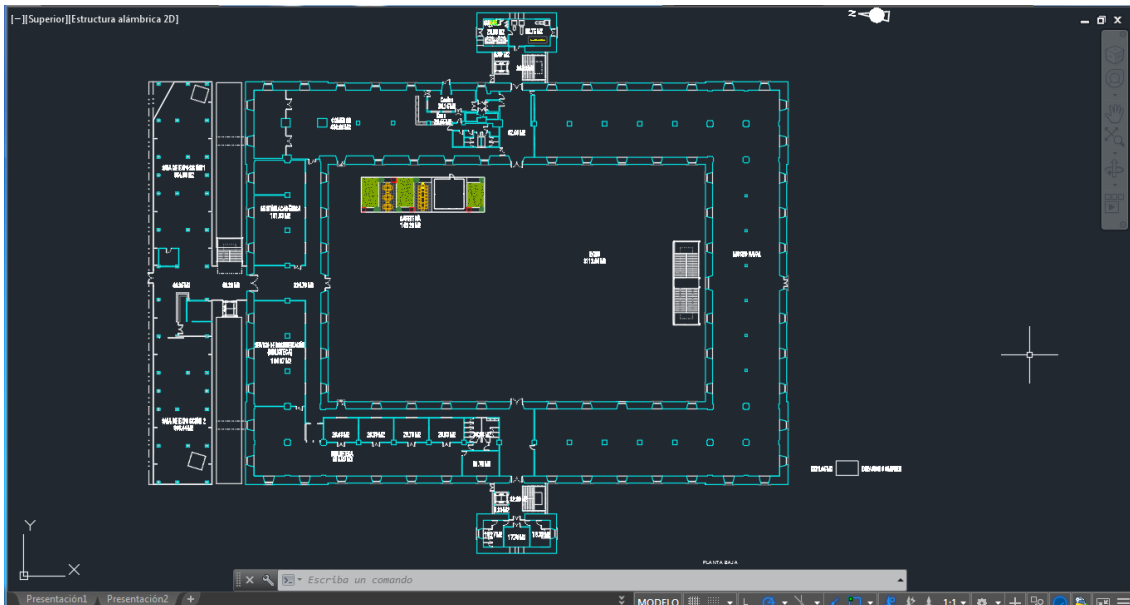


Figura 3. Plano Planta Baja mostrado en AutoCad

Aunque este programa es muy útil y me servirá de ayuda para un proceso más adelante comentado, se utilizará SketchUp para trabajar con los planos del edificio CIM y para ultimar los detalles del proyecto.

3.2 SketchUp

“SketchUp (anteriormente Google SketchUp) es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) basado en caras. Para entornos de arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico, GIS, videojuegos o películas.

Su principal característica es poder realizar diseños en 3D de forma sencilla. El programa incluye entre sus recursos un tutorial en vídeo para aprender paso a paso cómo se puede diseñar y modelar el propio ambiente. Permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante, además de que el programa incluye una galería de objetos, texturas e imágenes listas para descargar.

Sketchup publica el lenguaje en el que está escrito en Ruby los comandos para que los usuarios puedan escribir segmentos de programa para cambiar la funcionalidad. Estos pequeños o grandes programas se llaman plugins. Existe una gran variedad de estos con aplicaciones particulares como el dibujo automatizado de piezas de acerco, caballo, etc...” [11]

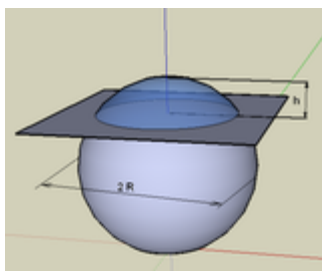


Figura 4. Esfera creada en SketchUp

Se puede observar en la siguiente figura como queda el plano de la planta baja del CIM en este programa.

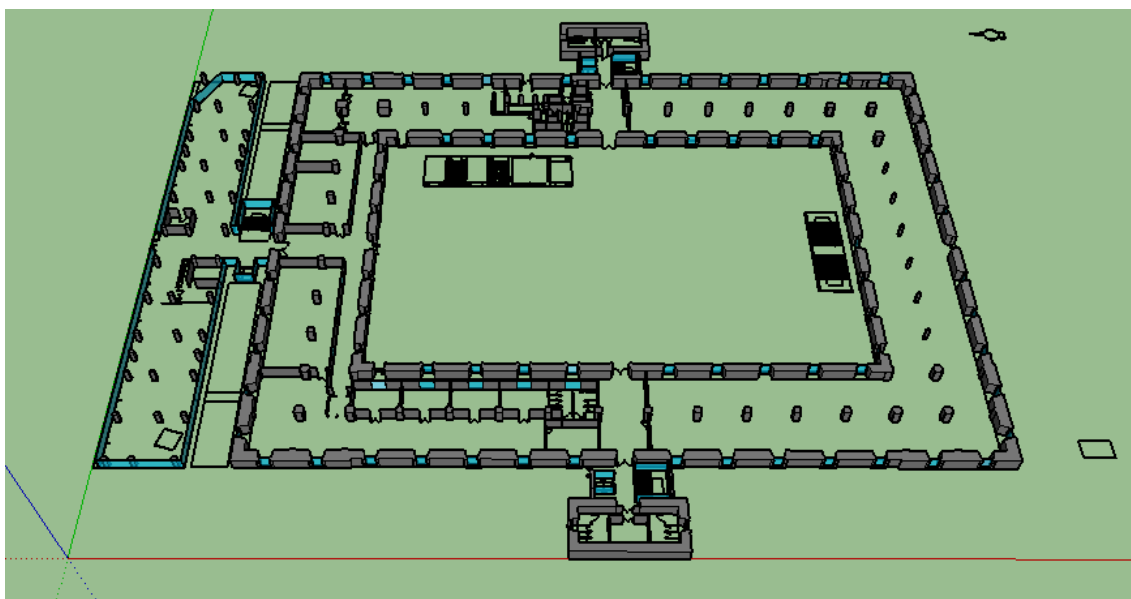


Figura 5. Plano Planta Baja del edificio CIM mostrado en SketchUp

Para realizar el renderizado de los planos del “CIM” se ha utilizado V-Ray.

“V-Ray es un motor de renderizado usado como extensión para algunas aplicaciones de gráficos computacionales, como 3ds max, maya, modo, SketchUp, Nuke, entre otros. Los principales desarrolladores de V-Ray son Vladimir Koylazov y Peter Mitev de Chaos Software Production Studio, establecidos en 1997 en Sofía, Bulgaria.

Es un motor de renderización que usa técnicas avanzadas, como por ejemplo algoritmos de Iluminación Global (GI) tales como Path Tracing, Mapeo de Fotones, Mapas de Irradiación y Fuerza bruta, siendo esta última la opción primaria establecida en sus versiones recientes (3.0) por su precisión y una mejor reducción de tiempos en la representación de la imagen (renders).

El uso de estas técnicas a menudo lo hacen preferibles a los motores de render convencionales que son proporcionados por defecto por las aplicaciones 3D, por lo general los renders generados con estas técnicas se ven más reales, como los efectos de iluminación que son emulados de manera más realista.

V-Ray es usado tanto en el cine (El último samurái, Avatar, Real steel, Oblivion, Tron Legacy, Iron man 3, Robocop) como en la industria de juegos de video, también es usado ampliamente para hacer renders Arquitectónicos muy realistas.” [12]

En la siguiente figura se muestra cómo quedaría el renderizado de la planta baja del CIM:

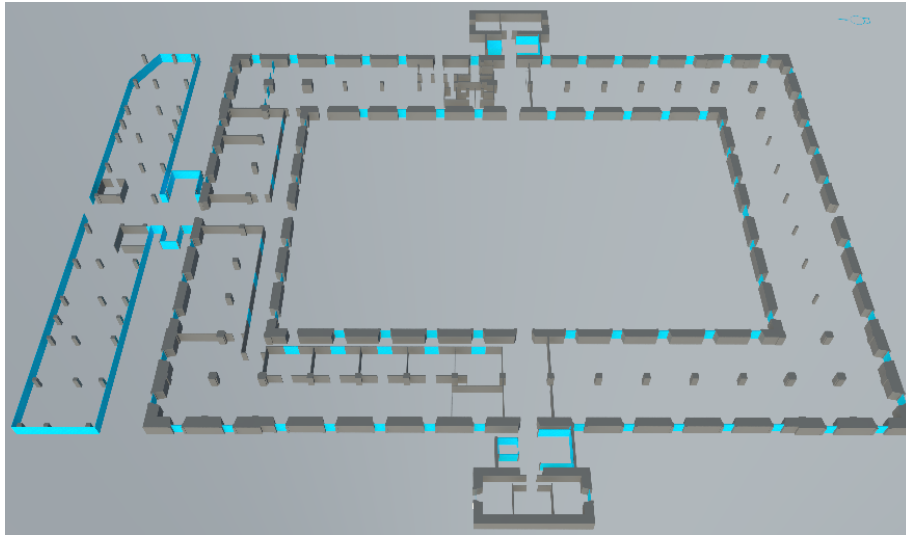


Figura 6. Plano Planta Baja del edificio CIM mostrado en SketchUp renderizado mediante V-Ray

Otra herramienta útil de este programa es que nos permite importar imágenes para combinarlas con nuestros diseños. Así combinamos los mapas de radiación con los planos del diseño.

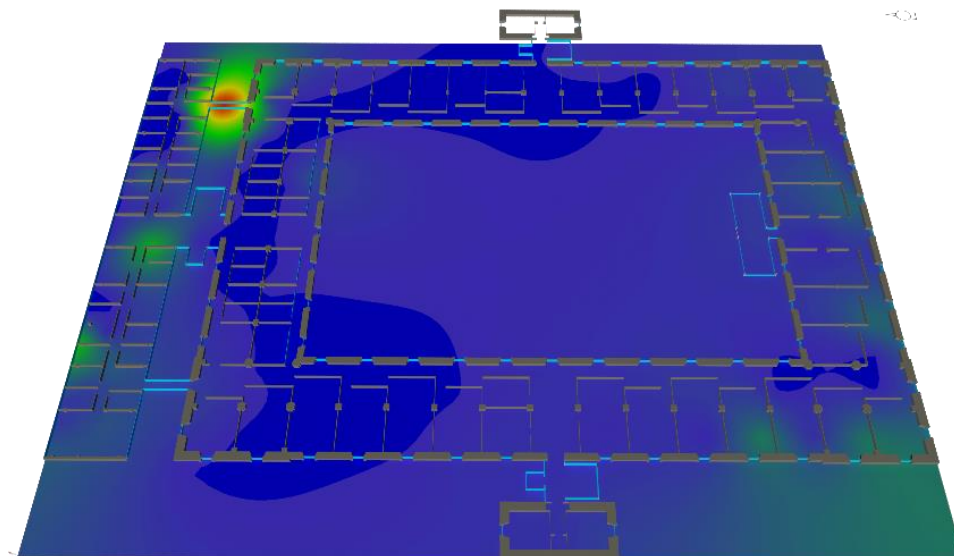


Figura 7. Plano Planta Primera edificio CIM modelado con imagen

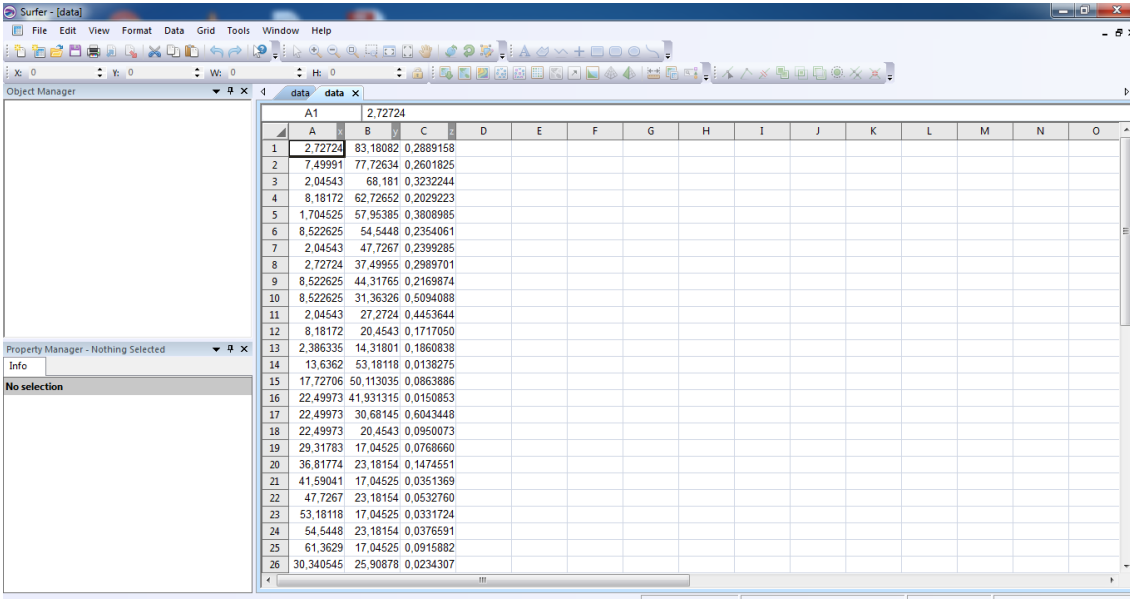
3.3 Golden Surfer

Golden Surfer es un potente software de mapeo de contornos, grids y superficies para uso científico, uso en ingeniería, educación o cualquier persona que necesite generar mapas rápidamente y de manera fácil. Produce mapas de calidad donde son mostrados y pueden ser mejorados. Permite agregar múltiples capas, personalizar la visualización de los mapas y anotar texto en los mapas. Prácticamente se pueden personalizar todos los aspectos para producir la presentación deseada.

Se ha elegido este programa para realizar la interpolación de las medidas y dibujar el mapa de cobertura, de la intensidad de campo electromagnético, para cada planta del edificio CIM.

Pasos que seguir para el desarrollo de los mapas:

1. Introducción de los datos (medidas): creamos una nueva hoja de datos, Worksheet, y en la cual la 1ª columna corresponde al eje X de cada medida, la 2ª columna corresponde al eje Y de cada medida y la tercera columna corresponde al eje Z que será el valor promedio de campo para cada medida. Guardamos la hoja de datos como .data para el segundo paso.



The screenshot shows the Golden Surfer software interface with a worksheet titled 'data' containing the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	2.72724	83,18082	0,2889158												
2	7,49991	77,72634	0,2601825												
3	2,04543	68,181	0,3232244												
4	8,18172	62,72652	0,2029223												
5	1,704525	57,95385	0,3808985												
6	8,522625	54,5448	0,2354061												
7	2,04543	47,7267	0,2399285												
8	2,72724	37,49955	0,2989701												
9	8,522625	44,31765	0,2169874												
10	8,522625	31,36326	0,5094088												
11	2,04543	27,2724	0,4453644												
12	8,18172	20,4543	0,1717050												
13	2,386335	14,31801	0,1860838												
14	13,6362	53,18118	0,0138275												
15	17,72706	50,113035	0,0863886												
16	22,49973	41,931315	0,0150853												
17	22,49973	30,68145	0,6043448												
18	22,49973	20,4543	0,0950073												
19	29,31783	17,04525	0,0768660												
20	36,81774	23,18154	0,1474551												
21	41,59041	17,04525	0,0351369												
22	47,7267	23,18154	0,0532760												
23	53,18118	17,04525	0,0331724												
24	54,5448	23,18154	0,0376591												
25	61,3629	17,04525	0,0915882												
26	30,340545	25,90878	0,0234307												

Figura 8. Worksheet Planta Baja

2. Creación del grid (rejilla): creamos una rejilla a través de la pestaña “Grid/data” y seleccionamos el archivo .data del primer paso. Se interpolarán los datos de los puntos de medida. El algoritmo de interpolación utilizado será el “Kriging” puesto que es el más robusto a la hora de interpolar.

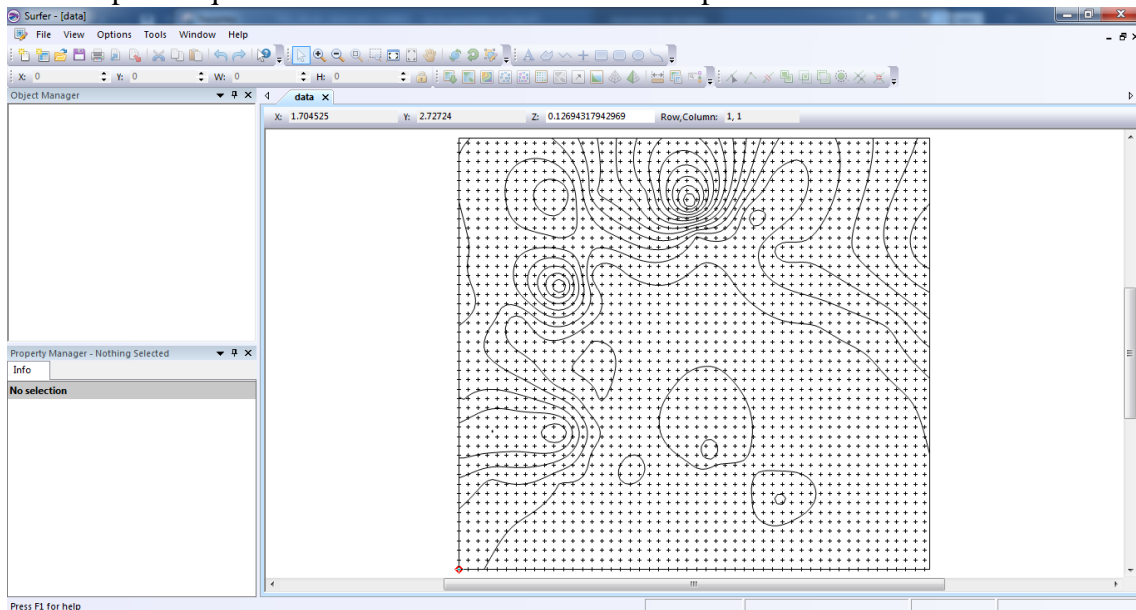


Figura 9. Grid PlantaBaja

3. Elaboración del mapa: a partir del grid se crea un nuevo “Contour Map” de las medidas seleccionadas y con la escala de colores correspondiente, mostrada en una de las figuras a continuación, se creará el mapa de cobertura deseado.

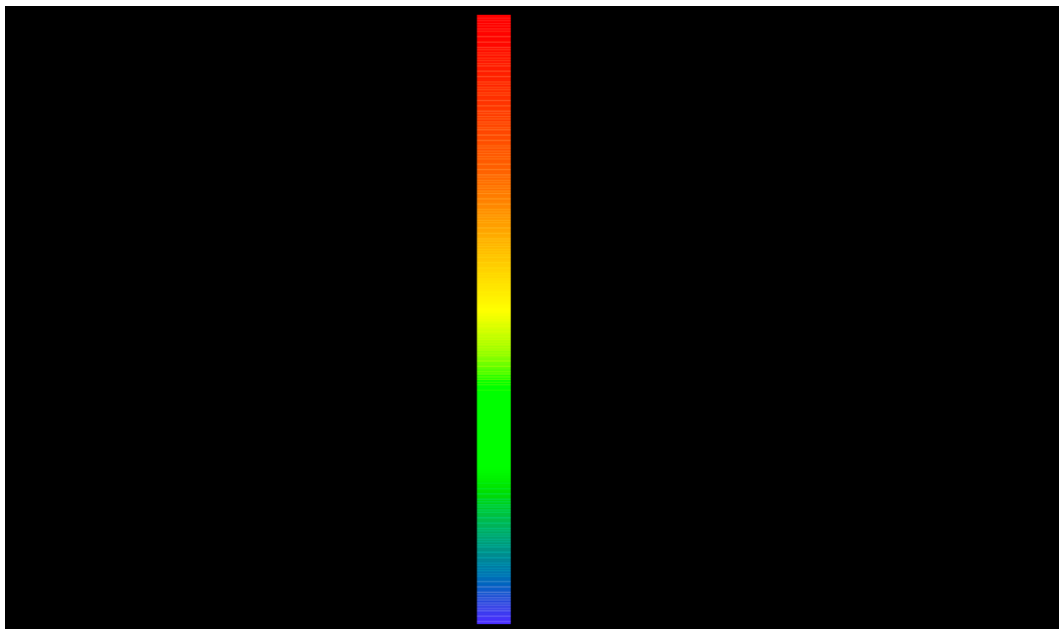


Figura 10. Escala de colores

El color azul de la escala corresponde a los niveles mínimos de intensidad de campos electromagnéticos, mientras que el color rojo corresponde a los máximos de intensidad. (Los valores se presentarán más adelante.)

En la siguiente ilustración se puede visualizar el mapa de color resultante:

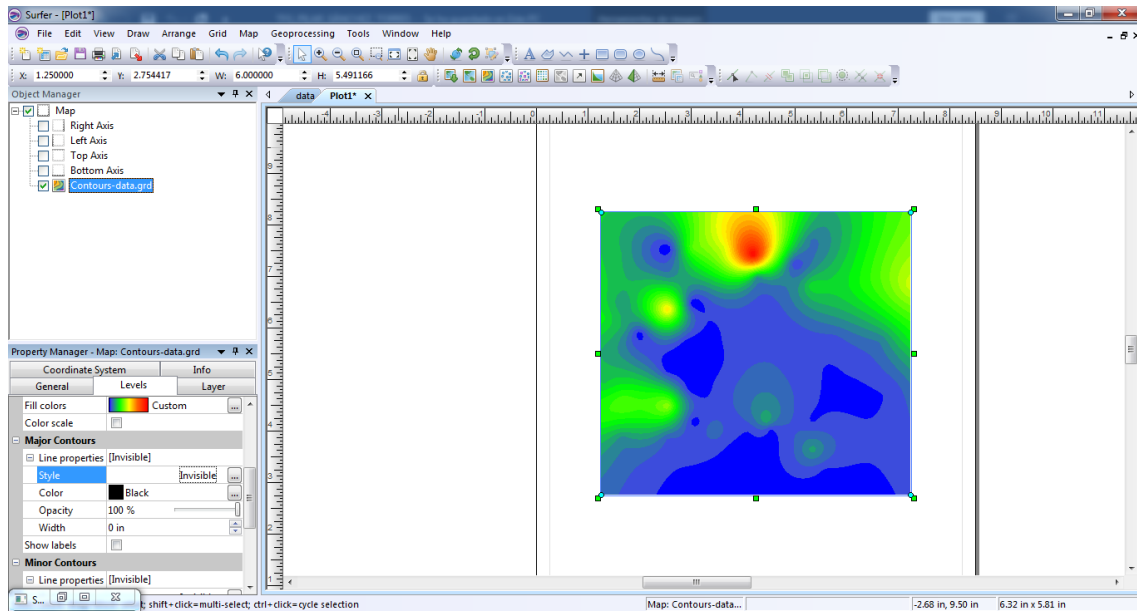


Figura 11. Contour Map

Capítulo 4

**PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS DE
MEDIDA**

4.1 Datos del emplazamiento

Se muestran los datos del emplazamiento a continuación:

Tipo de vía	Calle
Calle	Real
N.º Portal	3
Población	Cartagena
Término Municipal	Cartagena
Provincia	Región de Murcia
Ref. Catastral	7733601XG7673S 0001TX
Latitud	37.598238
Longitud	-0.987412

Tabla 10. Datos del emplazamiento

4.2 Localización de los puntos de medida

A continuación, se expondrán en las siguientes figuras los puntos de medida seleccionados representados en los planos correspondientes a cada planta del edificio.

4.2.1 Planta Baja

En esta planta, como vemos en la siguiente figura, se realizaron 59 mediciones.

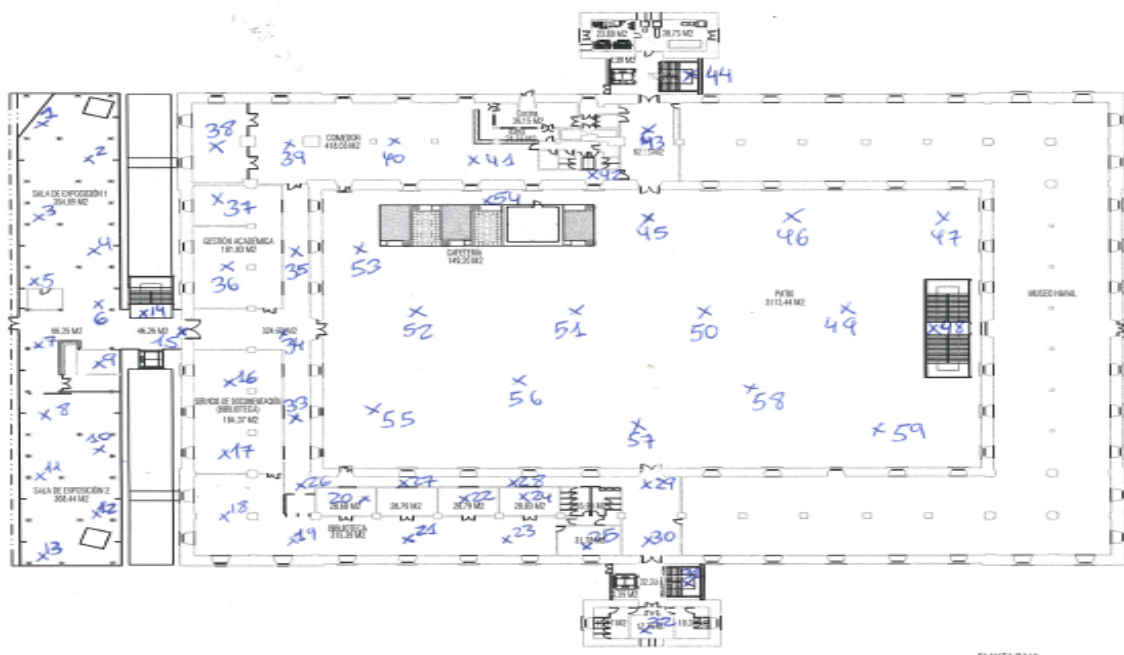


Figura 12. Plano de medidas Planta Baja edificio CIM

Como se puede observar, no se realizaron medidas en zona Este del plano debido a que ese espacio se trata del Museo Naval de Cartagena. (No pertenece a la universidad y por lo tanto no hubo autorización para realizar mediciones.)

4.2.2 Primera Planta

En la primera planta se llevaron a cabo 108 mediciones.

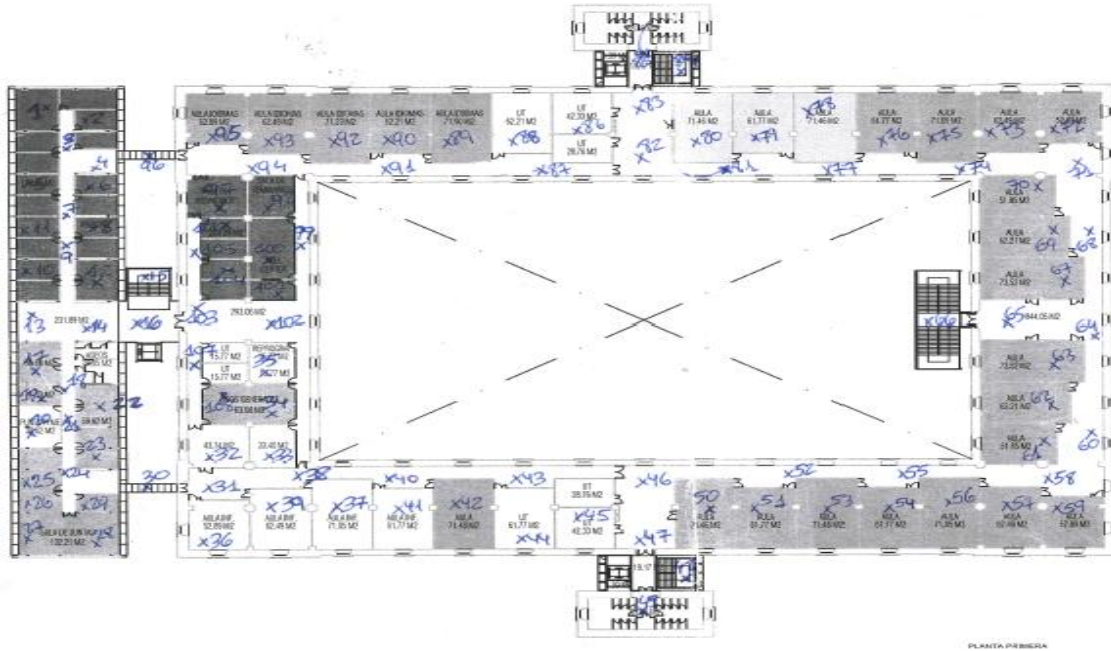


Figura 13. Plano de medidas Planta Primera edificio CIM

4.2.3 Segunda Planta

En la segunda planta se realizaron 50 mediciones.

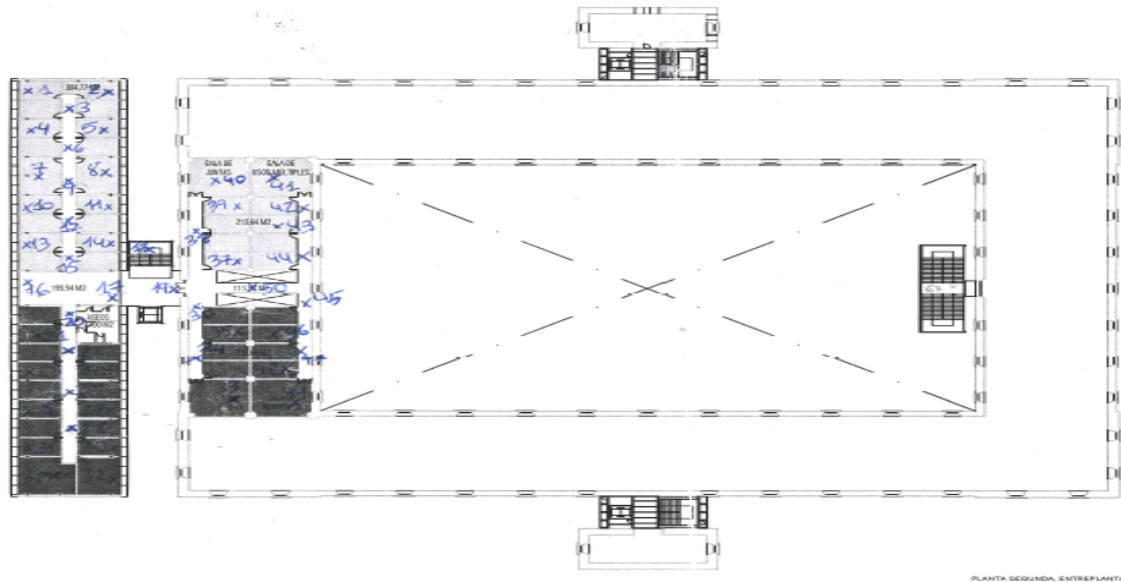


Figura 14. Plano de medidas Planta Segunda edificio CIM

Se destaca que en gran parte del plano no se realizaron medidas, pero esto fue debido a que eran zonas restringidas y sin posibilidad de acceso.

4.2.4 Tercera Planta

En la planta tercera se realizaron 84 mediciones.

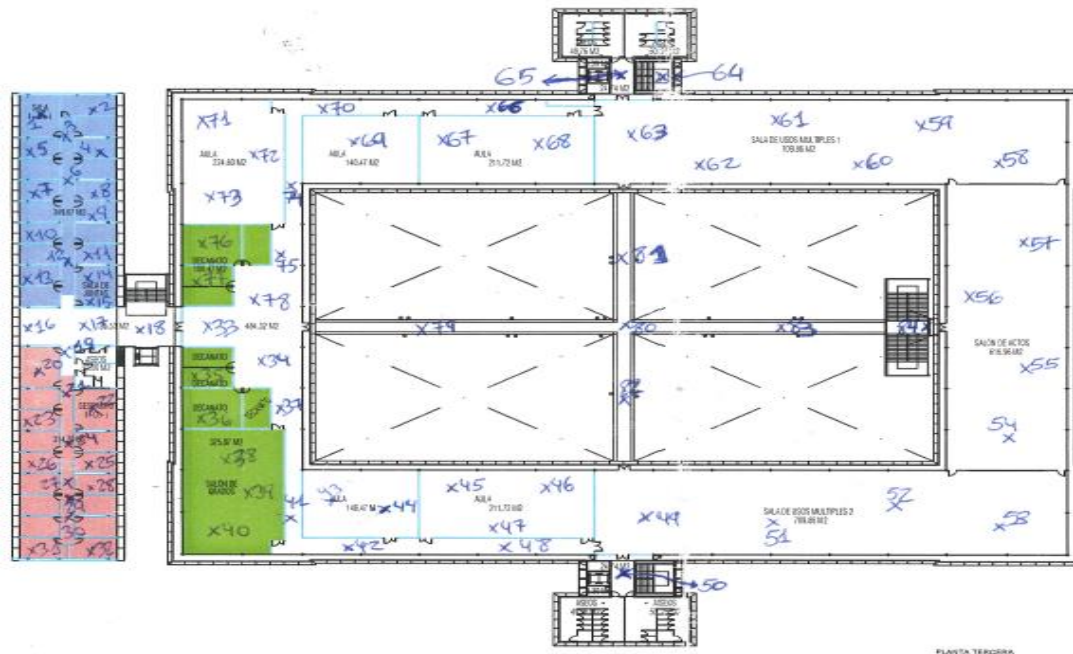


Figura 15. Plano de medidas Planta Tercera edificio CIM

4.3 Equipos de medida

Los equipos utilizados para realizar las mediciones pertenecientes al laboratorio GEM de la Universidad Politécnica de Cartagena se describirán a continuación.

4.3.1 Equipos para Alta Frecuencia (HF)

El equipo técnico utilizado para realizar las mediciones en HF se detalla a continuación:

- NBM-550 (Narda Broadband Field Meter): *“NBM-550 forma parte de la familia de instrumentos NBM-500. Proporciona resultados extremadamente precisos para mediciones de intensidad de campo electromagnético. NBM-550 maneja aplicaciones de unos pocos Hertz a través de ondas largas hasta la radiación de alta frecuencia de microondas utilizando una selección de sondas intercambiables para campos eléctricos y magnéticos. Las intensidades de campo se capturan con sondas de respuesta de frecuencia plana o sondas con respuesta de frecuencia variable, permitiendo que los valores de medición se evalúen en función de un estándar de seguridad ambiental o laboral. Los factores de calibración para cada sonda se almacenan en la propia sonda y se leen y toman en cuenta automáticamente por el conjunto de medición.”* [13]



Figura 16. Equipo de medida Narda STS NBM-550

- Sonda EF0691: utilizada para medir campo E en HF. Sonda isotrópica cuyo rango de frecuencia, visto en la siguiente figura, es de 100 kHz a 6 GHz

Probe Model No.	Probe Ordering No.	Frequency Range ^a	Measurement Range	Linearity	Frequency Sensitivity ^{c,d}
Probe EF 0691, E-Field, Flat	2402/148	100 kHz to 6 GHz	0.35 to 650 V/m	±0.5 dB (2 to 400 V/m)	±1.5 dB (1 MHz to 4 GHz)

Figura 17. Tabla de especificaciones de la Sonda EF0691

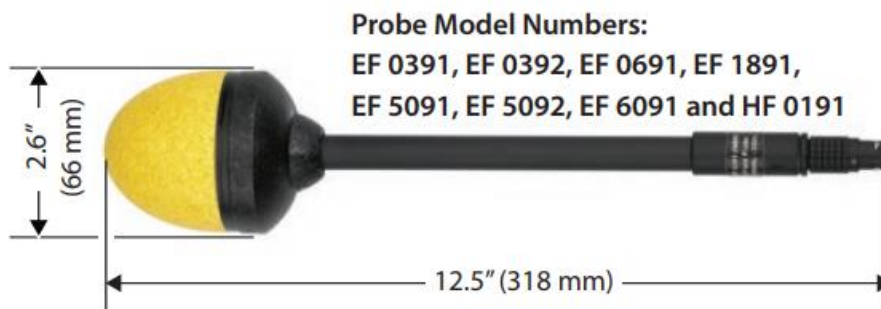


Figura 18. Equipo de medida Sonda Narda STS

- Trípode de fibra de carbono: trípode donde colocamos el aparato con la sonda.

4.3.2 Baja Frecuencia (LF)

Los equipos utilizados para realizar las mediciones en LF son los siguientes:

- PC con Software EHP200-TS: Software que permite la medición de los campos E y H simultáneamente. Permite exportar los datos en archivo “.text”.
- Sonda EHP-50F: sonda de medida para campos E y H en LF con un rango de frecuencias desde 1 Hz hasta 400 kHz.



Figura 19. Sonda Narda STS EHP-50F

- Fibra Óptica duplex Narda PMM 2260-90-21 DB: fibra óptica cuya utilidad es conectar la sonda EHP-50F al PC.



Figura 20. Fibra Óptica dúplex Narda

- Adaptador USB-Óptico: adaptador utilizado para la conexión PC-EHP50F



Figura 21. Adaptador USB-Fibra Óptica

- Trípode de fibra de carbono: trípode donde se coloca la sonda EHP-50F

4.4 Procedimientos de medida

Se describirá como se ha seguido un proceso para llevar a cabo las mediciones correspondientes en HF y LF. Consiguiendo así saber el nivel de intensidad de campo electromagnético en el edificio bajo estudio.

4.4.1 Alta frecuencia (HF)

Una vez conectada la sonda al equipo NBM-550 y éste colocado en el trípode el equipo necesario estaría listo para comenzar la medida en el punto de medida específico.

1. Acceder al menú de almacenamiento de datos. Para ello, se accede al menú principal pulsando el botón OK. A continuación, se encuentra el menú de almacenamiento de datos.
2. Seleccionar la duración de la medida en el campo “Duración Temporizador”. Elegimos 6 minutos (360 segundos).
3. Seleccionar el tiempo entre muestras consecutivas en el campo “Intervalo Temporizador” (1 segundo).
4. Pulsar la tecla “Timer Logging”.
5. Pulsar la tecla “Instante Inicio” para comenzar la medida.

Tras 6 minutos, las medidas se guardan automáticamente en la memoria del equipo.

Para descargar las medidas y tenerlas en formato Excel se conecta el equipo al PC, a través del cable de fibra óptica y del adaptador USB-Óptico, y ponerlo en **interfaz óptico**. En el PC se abre el software SW-NBM-TS. En la pestaña “Device Memory” se pulsa “connect” y aparecen todas las medidas. Por último, se exporta a Excel.

4.4.2 Baja Frecuencia (LF)

Primero se coloca la sonda encima del trípode. A continuación, el cable de fibra óptica se conecta desde la sonda hasta el PC mediante el adaptador. En el PC se abrirá el software EHP200-TS y se hace la siguiente configuración:

1. En la pestaña “Mode”, seleccionar “Dual (High Range)”. Muestra campo eléctrico y magnético cuyos rangos son 100 kV/m y 10mT, respectivamente.
2. Seleccionar “Span”. Marcar 400 kHz y que empiece en 4 kHz.
3. Seleccionar “Data”. Pulsar sobre “RMS over: 360”. De este modo, medirá tanto campo eléctrico como magnético en 6 minutos simultáneamente.
4. Una vez que se ha completado la medida, se guarda en “Save as text”.

Transcurridos 6 minutos se tiene la medida de campo eléctrico y magnético en LF.

Capítulo 5

RESULTADOS

En este capítulo se analizarán estadísticamente y de manera gráfica las medidas para alta frecuencia y para baja frecuencia. En alta frecuencia sólo se analizará el campo eléctrico puesto que el magnético es despreciable. En cambio, para baja frecuencia se analizarán los campos eléctrico y magnético.

5.1 Análisis Estadístico

5.1.1 Alta frecuencia (HF)

En HF sólo se mide el Campo E porque el campo magnético es despreciable.

5.1.1.1 Planta Baja

En esta planta se realizaron 59 medidas. Como muestra la figura el valor máximo de campo eléctrico en HF, de esta planta, se encuentra en la medida n°41 con un valor de 1,444268981 V/m y el valor mínimo se encuentra en la medida n°38 con un valor de 0,000176392 V/m.

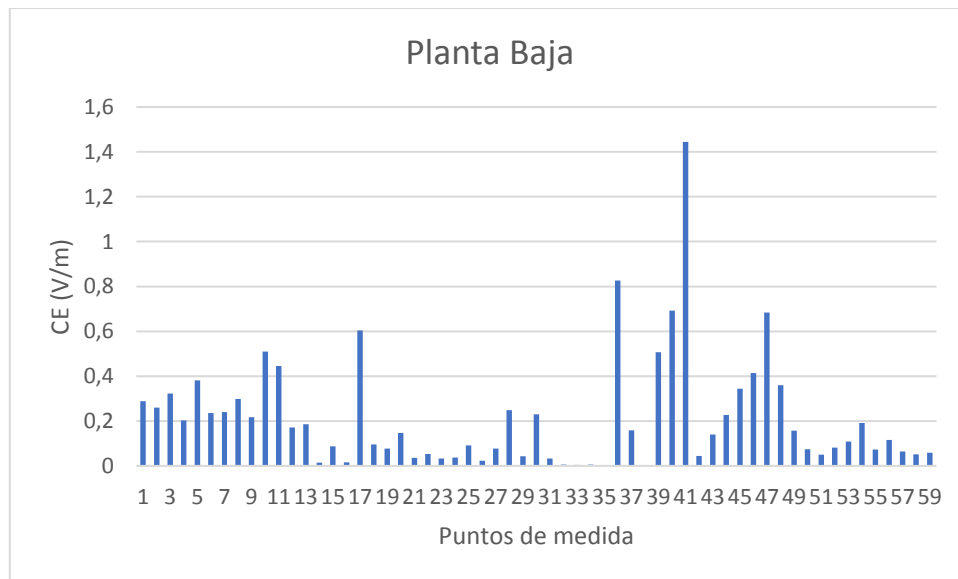


Figura 22. Campo eléctrico en los puntos de medida de la Planta Baja (HF)

5.1.1.2 Primera Planta

En esta planta se realizaron 108 medidas. Como muestra la figura el valor máximo de campo eléctrico en HF, de esta planta, se encuentra en la medida n°96 con un valor de 2,921373333 V/m y el valor mínimo se encuentra en la medida n°89 con un valor de 0,000349628 V/m. También se destaca que en esta planta se encuentra el nivel máximo de campo eléctrico respecto al edificio.

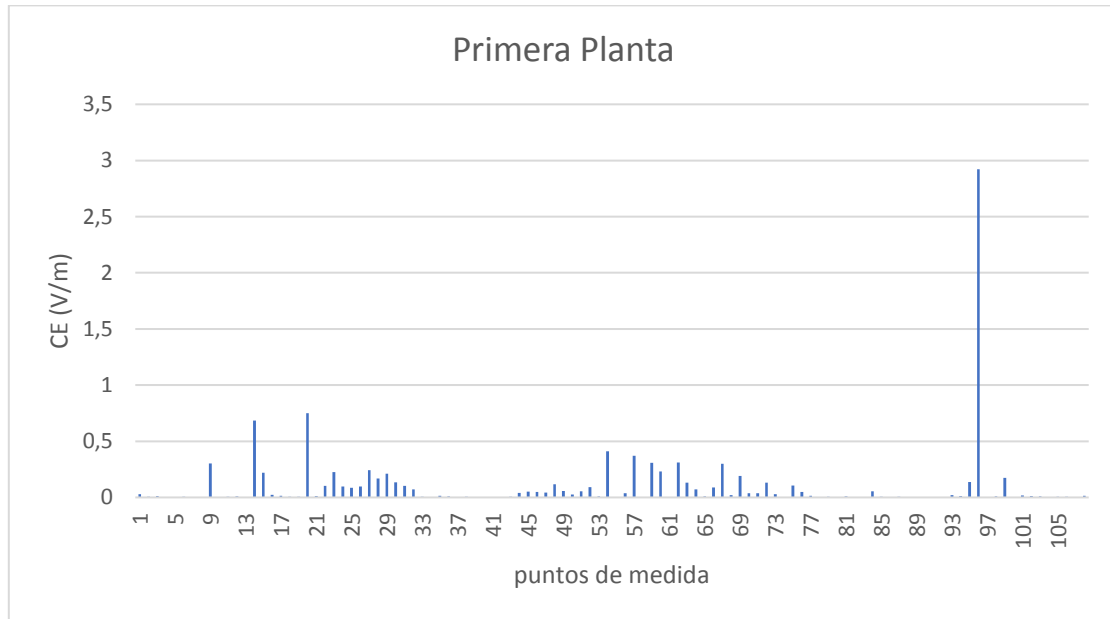


Figura 23. Campo eléctrico en los puntos de medida de la Primera Planta (HF)

5.1.1.3 Segunda Planta

En esta planta se realizaron 50 medidas. Como muestra la figura el valor máximo de campo eléctrico en HF, de esta planta, se encuentra en la medida n°25 con un valor de 0,189343 V/m y el valor mínimo se encuentra en la medida n°14 con un valor de 0,000520161 V/m.

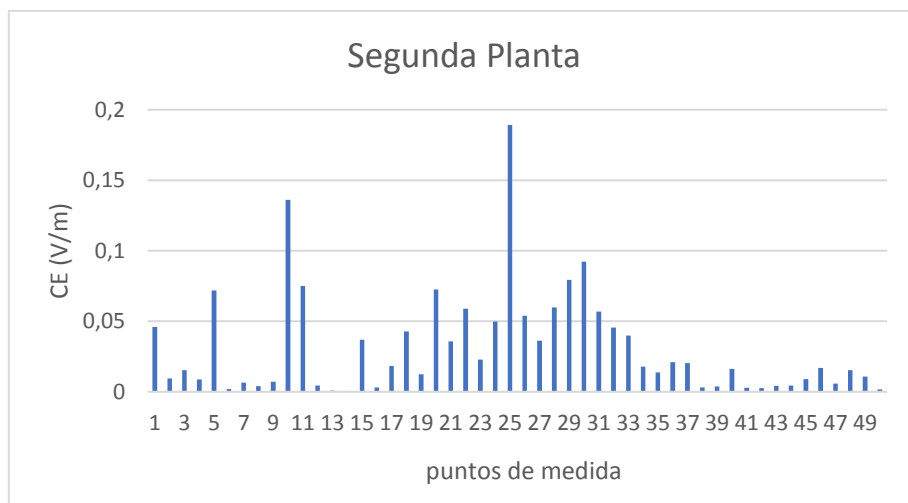


Figura 24. Campo eléctrico en los puntos de medida de la Segunda Planta (HF)

5.1.1.3 Tercera Planta

En esta planta se realizaron 84 medidas. Como muestra la figura el valor máximo de campo eléctrico en HF, de esta planta, se encuentra en la medida n°83 con un valor de 0,939134281 V/m y el valor mínimo se encuentra en la medida n°77 con un valor de 0,000402631 V/m.

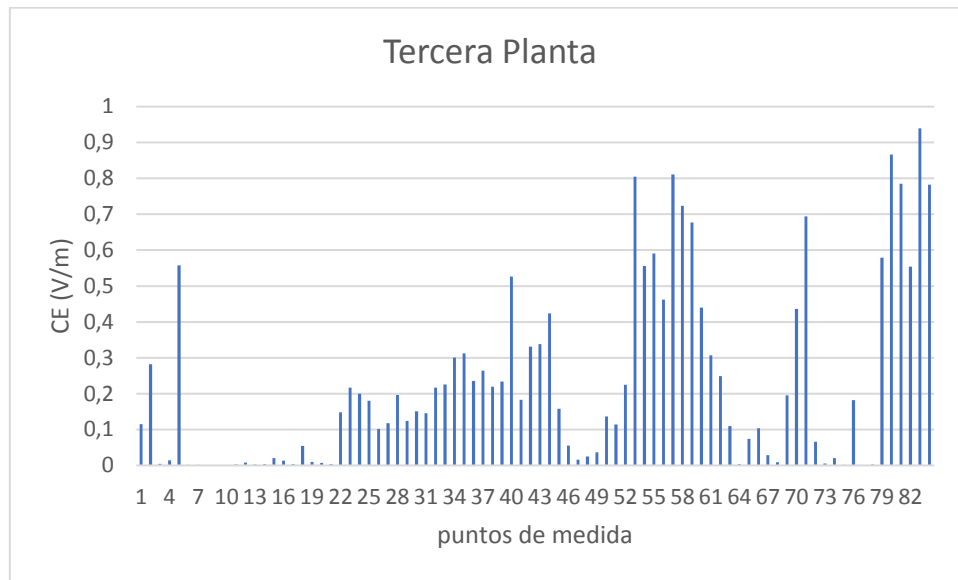


Figura 25. Campo eléctrico en los puntos de medida de la Tercera Planta (HF)

5.1.2 Baja Frecuencia (LF)

En LF se tiene en cuenta Campo E y Campo H en cada medida.

5.1.2.1 Planta Baja

Como se observa en la figura donde se mide campo eléctrico el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°57 y su valor es de 3,227272727 V/m. Y como se observa en la figura donde se mide campo magnético el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°40 y su valor es de 0,41537371 A/m.

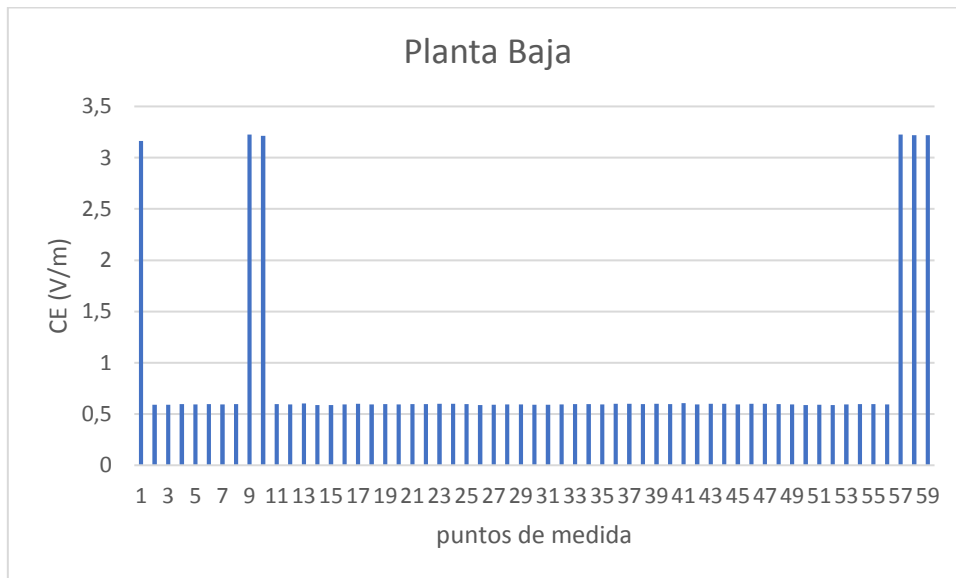


Figura 26. Campo eléctrico en los puntos de medida de la Planta Baja (LF)

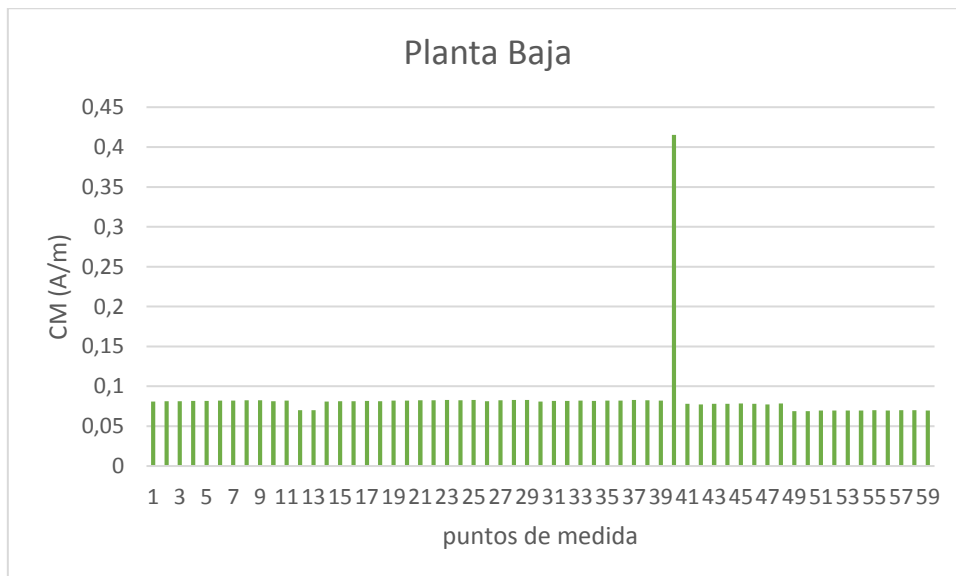


Figura 27. Campo magnético en los puntos de medida de la Planta Baja (LF)

5.1.2.2 Primera Planta

Como se observa en la figura donde se mide campo eléctrico el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°107 y su valor es de 8,90243309 V/m. Y como se observa en la figura donde se mide campo magnético el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°8 y su valor es de 0,443488206 A/m.

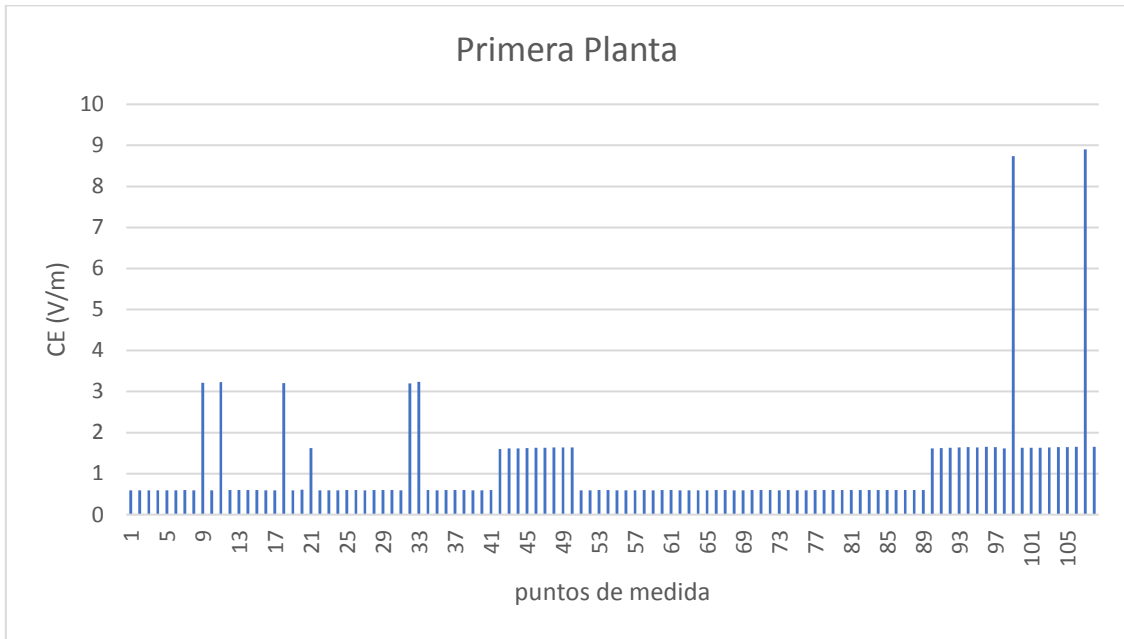


Figura 28. Campo magnético en los puntos de medida de la Primera Planta (LF)

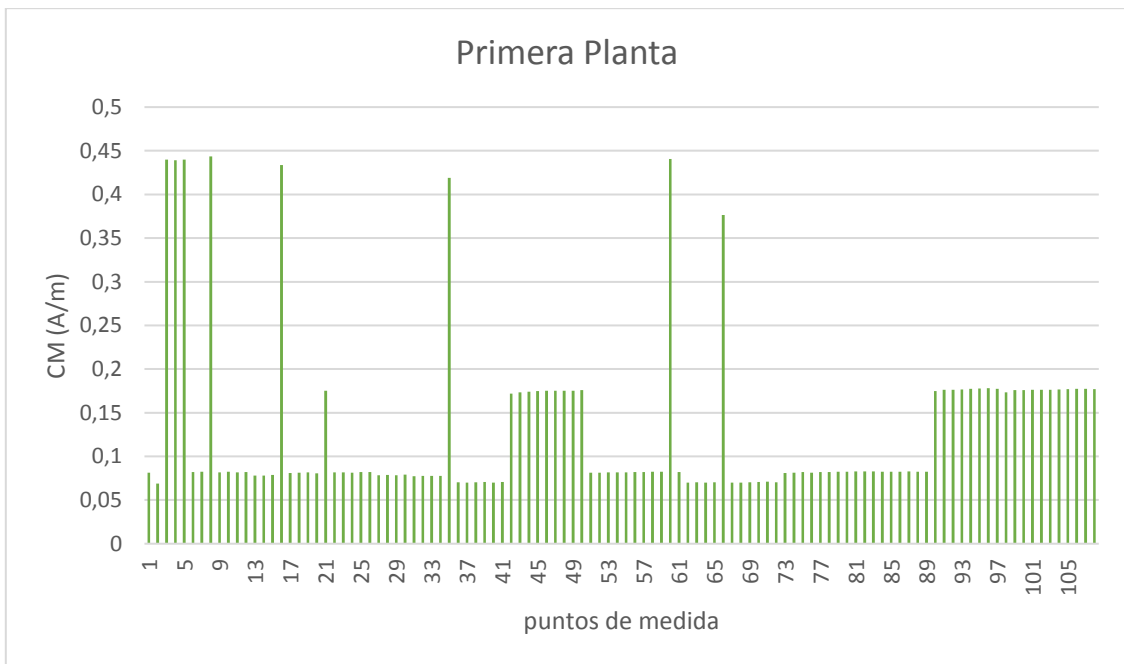


Figura 29. Campo magnético en los puntos de medida de la Primera Planta (LF)

5.1.2.3 Segunda Planta

Como se observa en la figura donde se mide campo eléctrico el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°23 y su valor es de 8,910462287 V/m. Y como se observa en la figura donde se mide campo magnético el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°36 y su valor es de 0,950758881 A/m. Pero en este caso se destaca que el máximo, respecto al edificio, tanto para Campo E y Campo H se encuentra en esta planta.

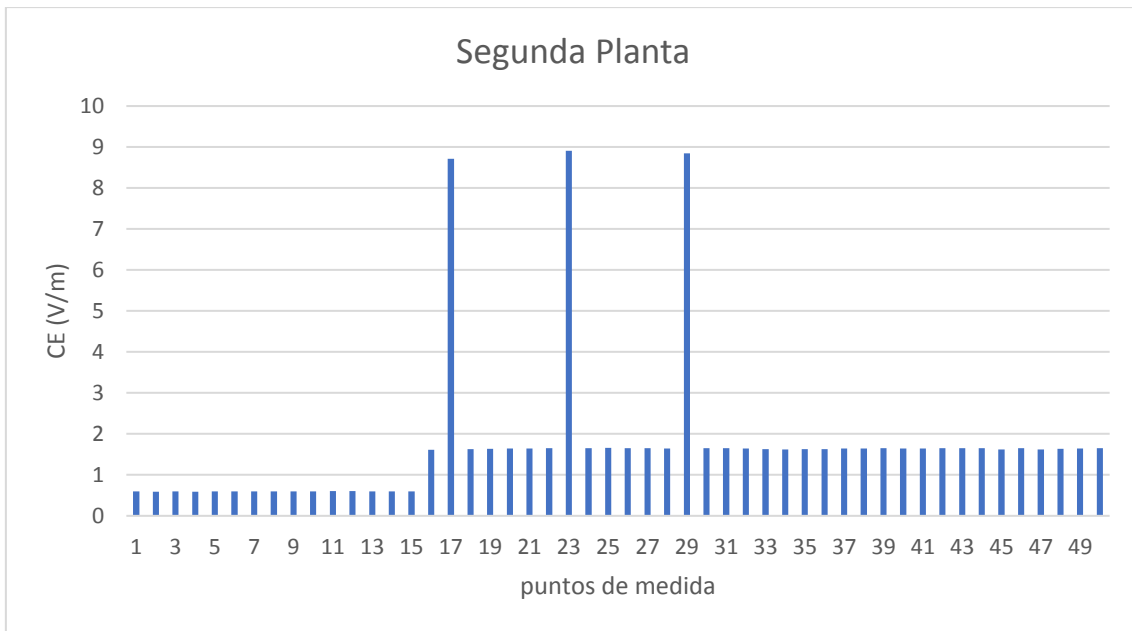


Figura 30. Campo eléctrico en los puntos de medida de la Segunda Planta (LF)

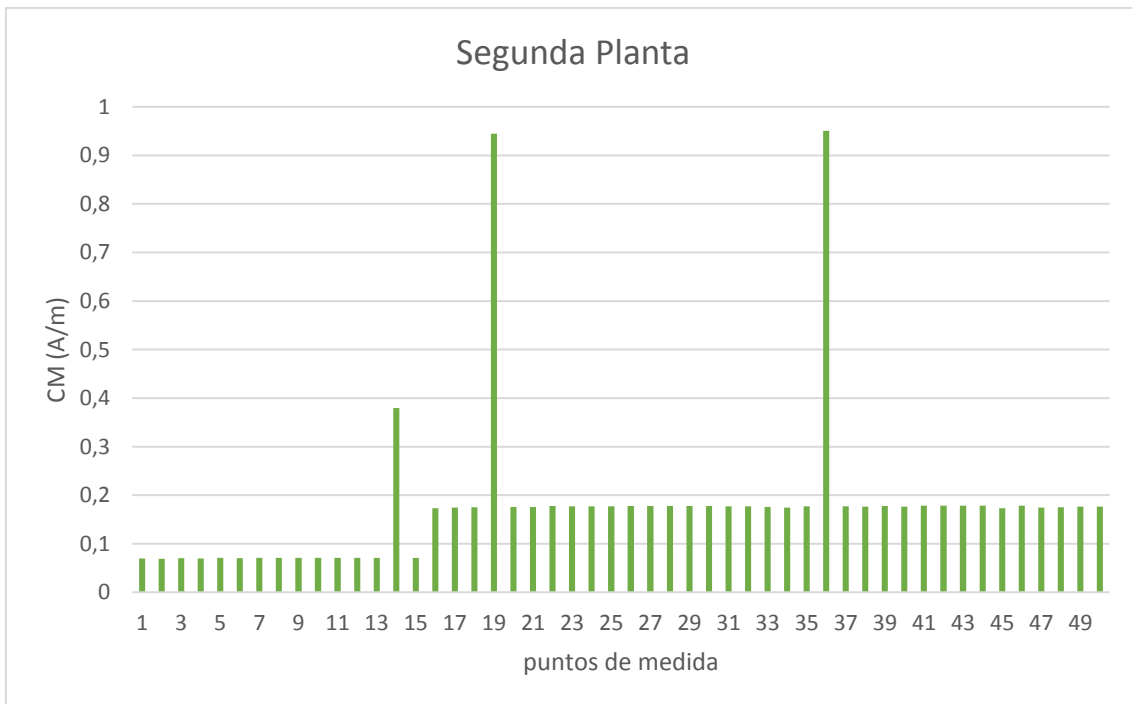


Figura 31. Campo magnético en los puntos de medida de la Segunda Planta (LF)

5.1.2.4 Tercera Planta

Como se observa en la figura donde se mide campo eléctrico el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°36 y su valor es de 8,755961071 V/m. Y como se observa en la figura donde se mide campo magnético el punto de medida cuyo valor es máximo, respecto a la planta, es la medida n°10 y su valor es de 0,939879562 A/m.

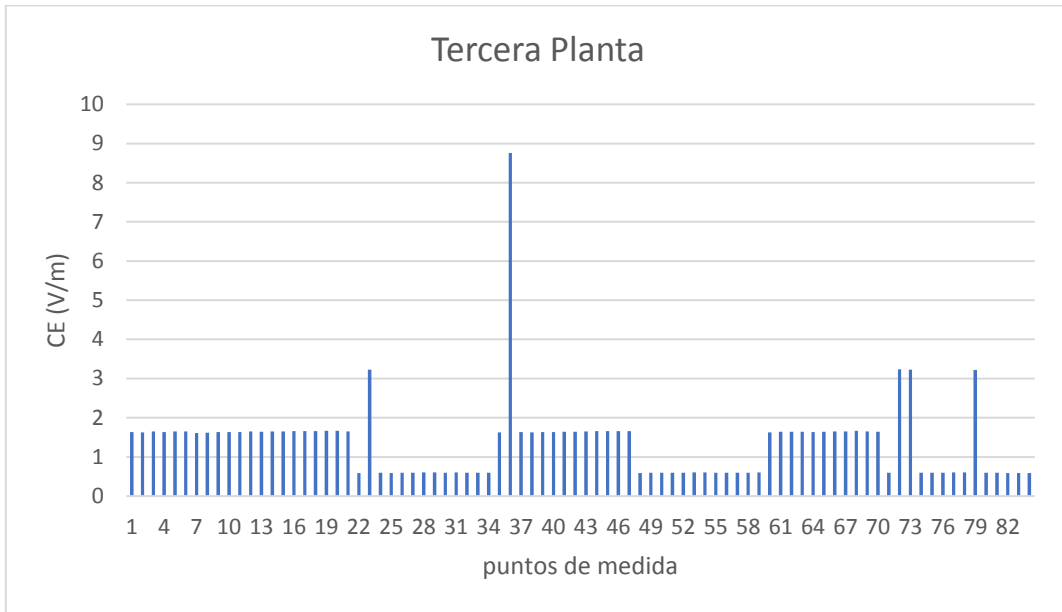


Figura 32. Campo eléctrico en los puntos de medida de la Tercera Planta (LF)

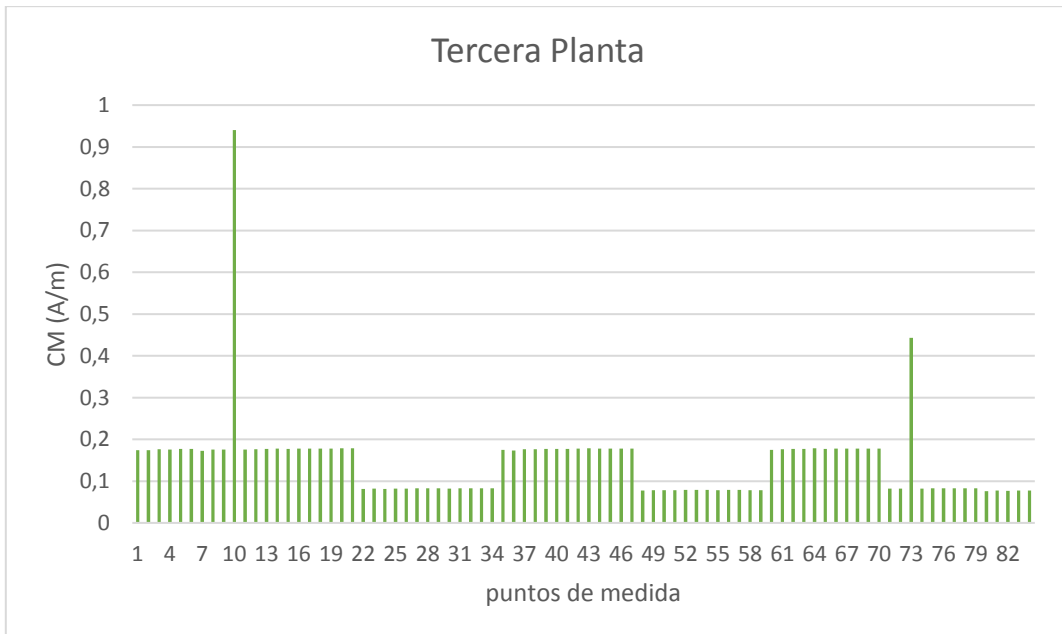


Figura 33. Campo magnético en los puntos de medida de la Tercera Planta (LF)

5.2 Análisis Gráfico

En este apartado se mostrarán los resultados de manera visual utilizando una implementación en 3D del edificio CIM y mapas de color para formar un mapa de radiación tanto eléctrica como magnética para cada planta. El color azul se corresponde con los niveles de intensidad más bajos y el rojo para los más altos respecto del edificio. También se mostrarán los mapas de radiación para niveles respecto a la normativa. Las zonas grises representan zonas de acceso restringido en las cuales no se realizaron mediciones.

5.2.1 Alta frecuencia (HF)

5.2.1.1 Planta Baja

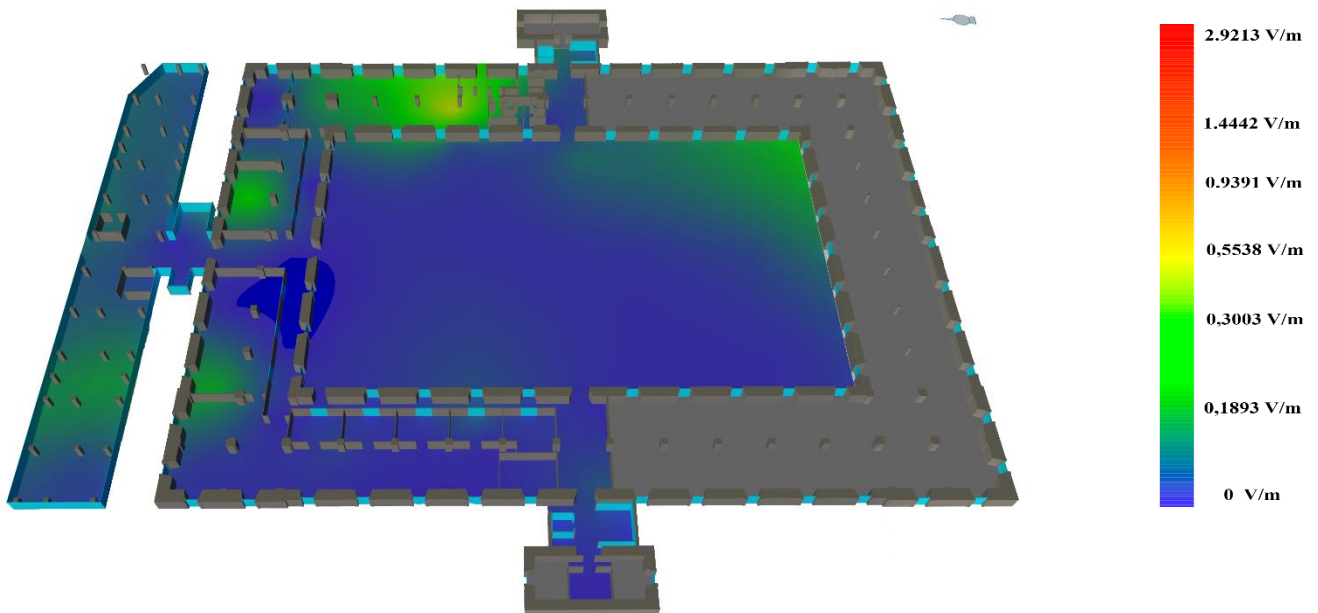


Figura 34. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Planta Baja (HF)

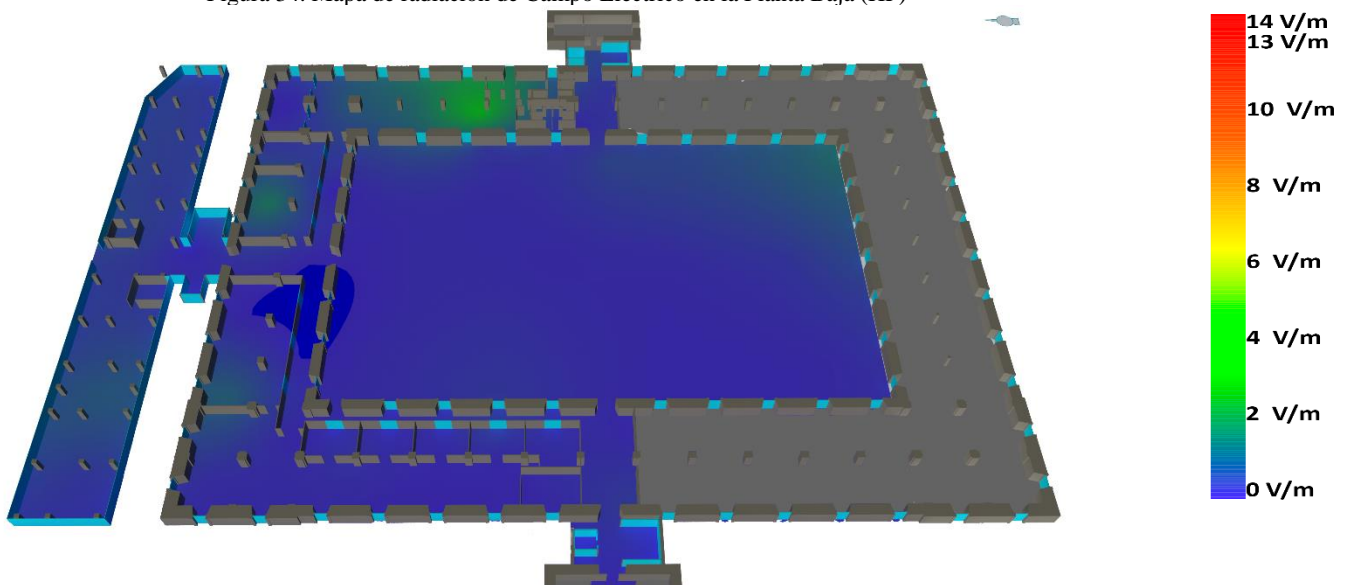


Figura 35. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Planta Baja. Niveles Normativa (HF)

5.2.1.2 Primera Planta

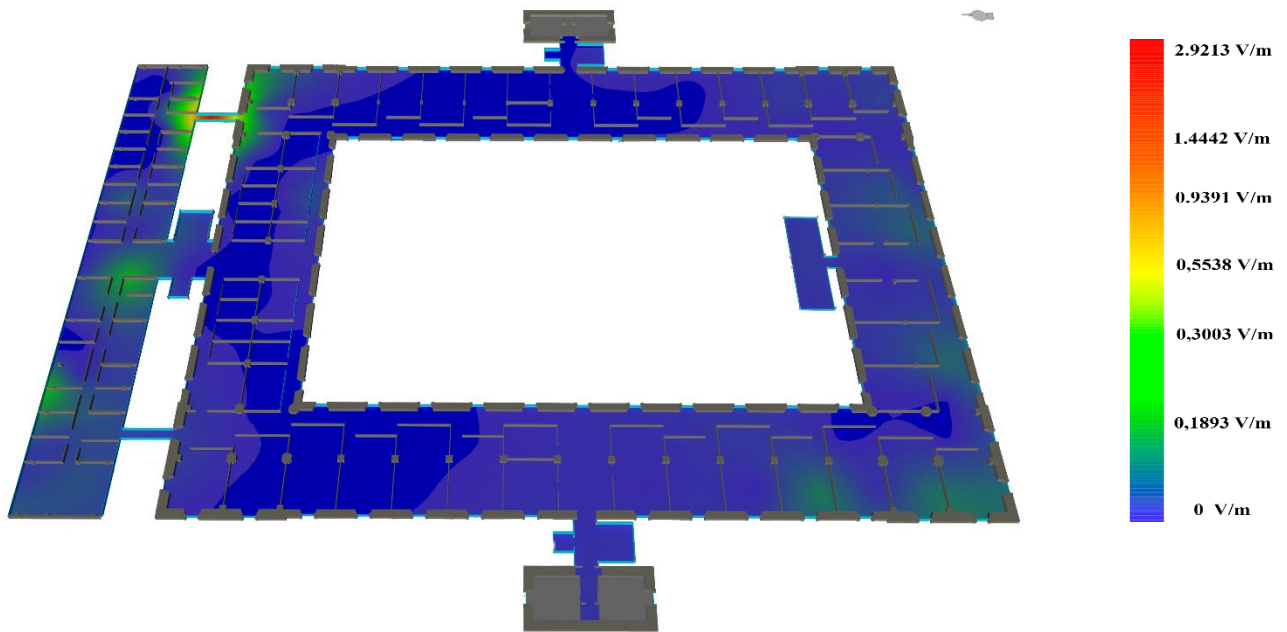


Figura 36. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Primera Planta (HF)

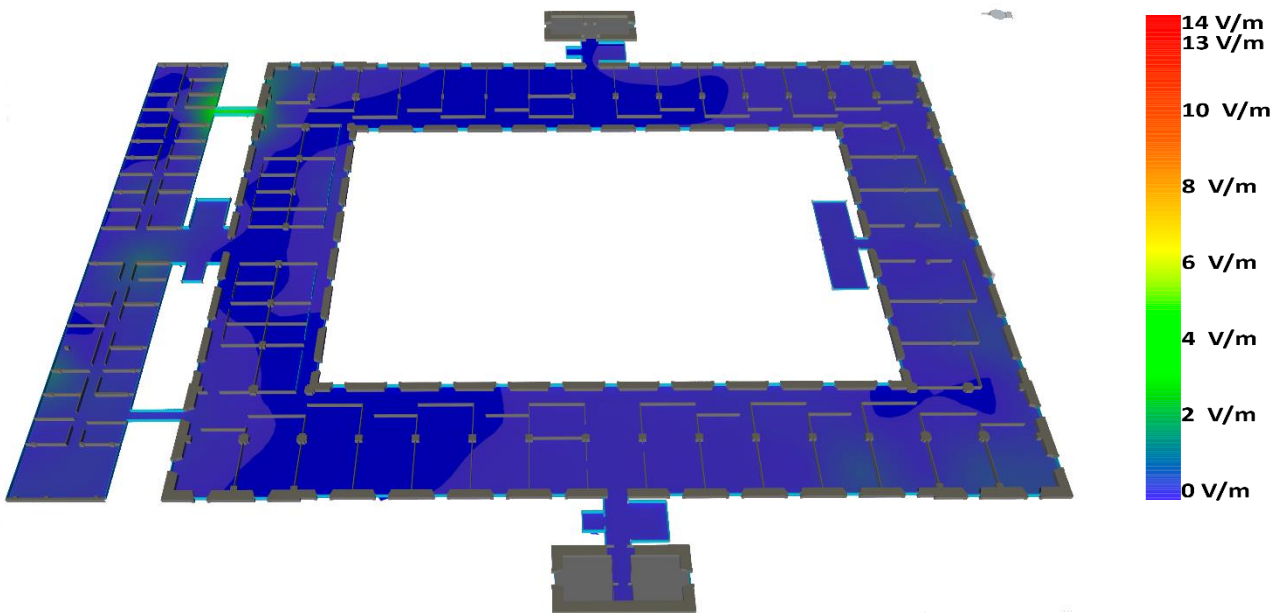


Figura 37. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Primera Planta. Niveles normativa (HF)

En la figura 36 se observa que aparece un máximo de intensidad, este corresponde al máximo global del edificio, cuyo valor es de 2,9213 V/m.

En cambio, respecto a los niveles establecidos por la normativa éste máximo se encuentra muy por debajo del límite establecido.

5.2.1.3 Segunda Planta

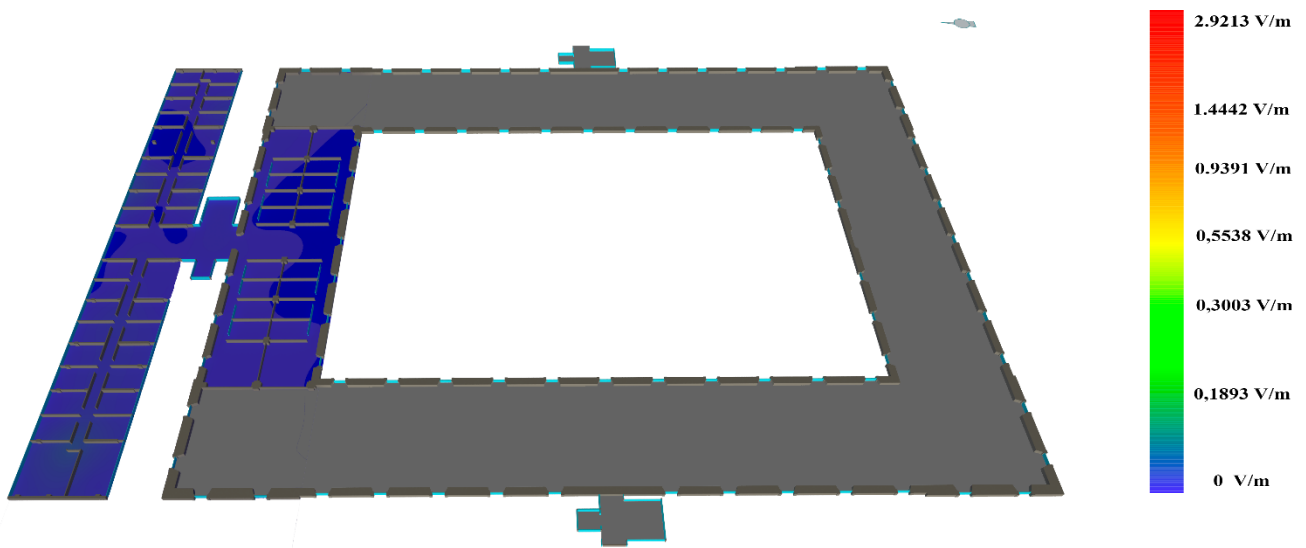


Figura 38. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Segunda Planta (HF)

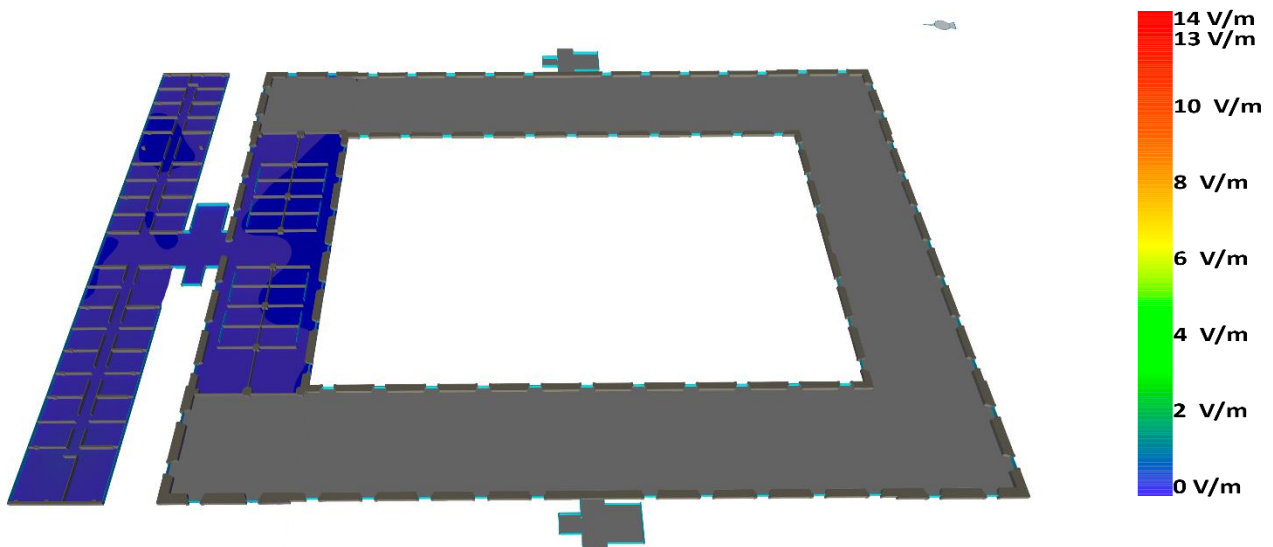


Figura 39. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Segunda Planta. Niveles normativa (HF)

5.2.1.4 Tercera Planta

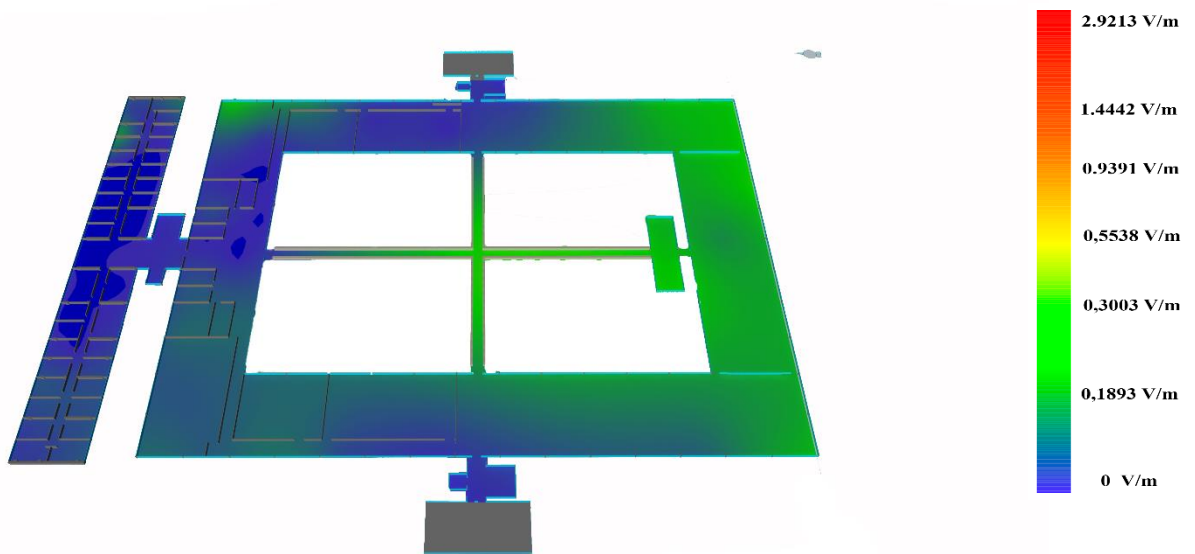


Figura 40. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Tercera Planta (HF)

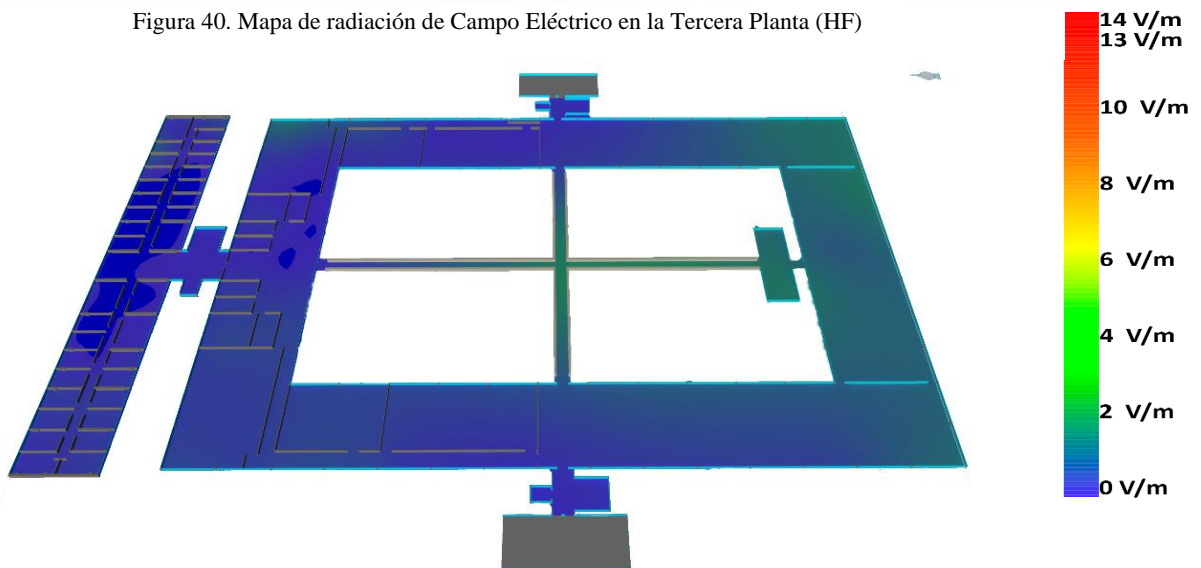


Figura 41. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Tercera Planta. Niveles normativa (HF)

5.2.2 Baja Frecuencia (LF)

En baja frecuencia se representarán los mapas de radiación para Campo Eléctrico y para Campo Magnético.

5.2.2.1 Planta Baja

Campo Eléctrico

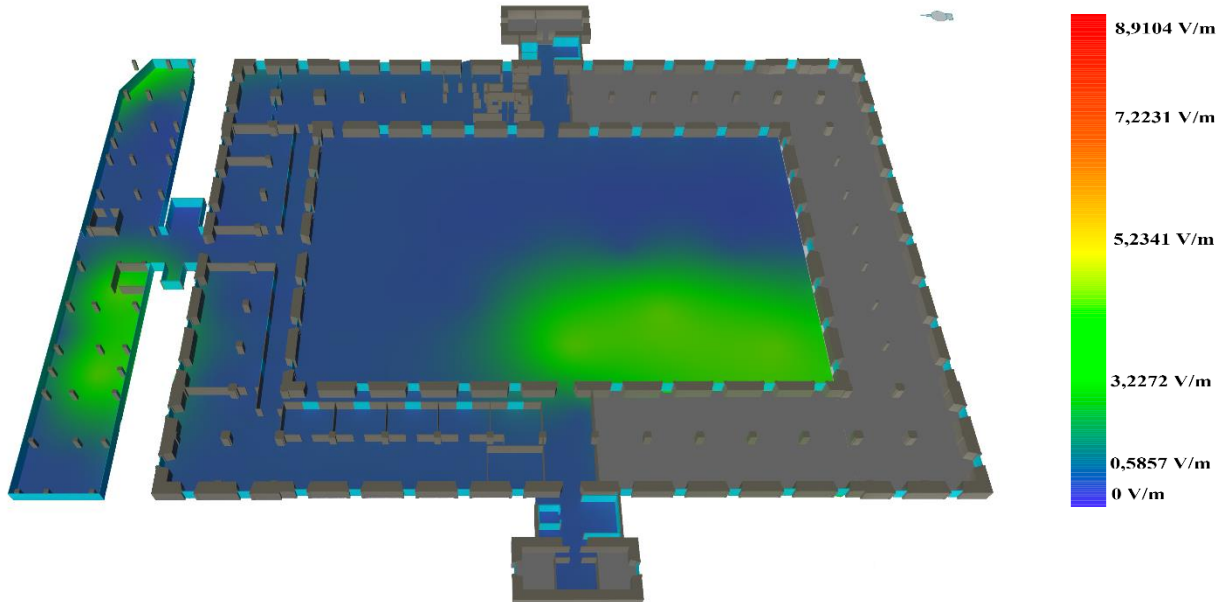


Figura 42. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Planta Baja (LF)

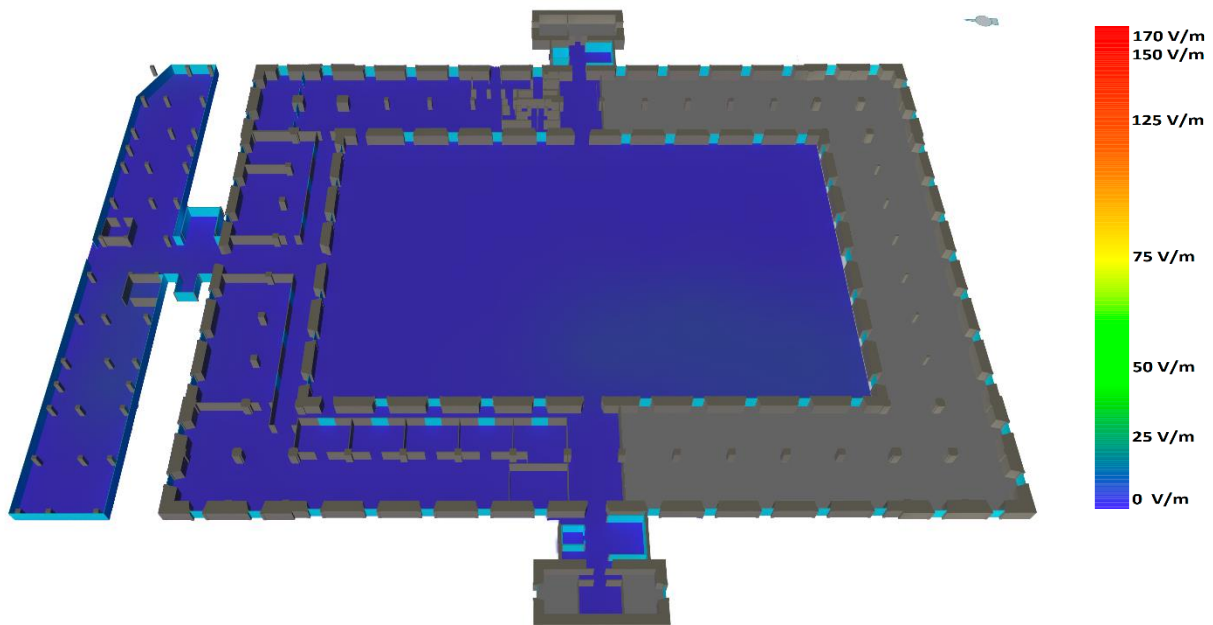


Figura 43. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Planta Baja. Niveles normativa (LF)

Campo Magnético

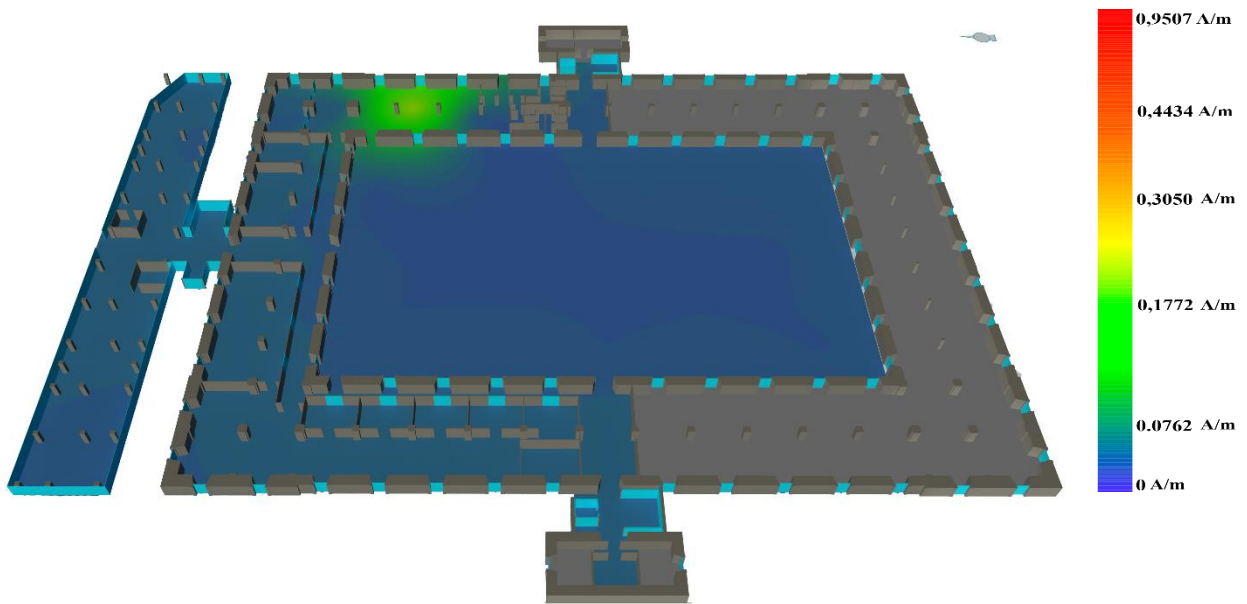


Figura 44. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Planta Baja (LF)

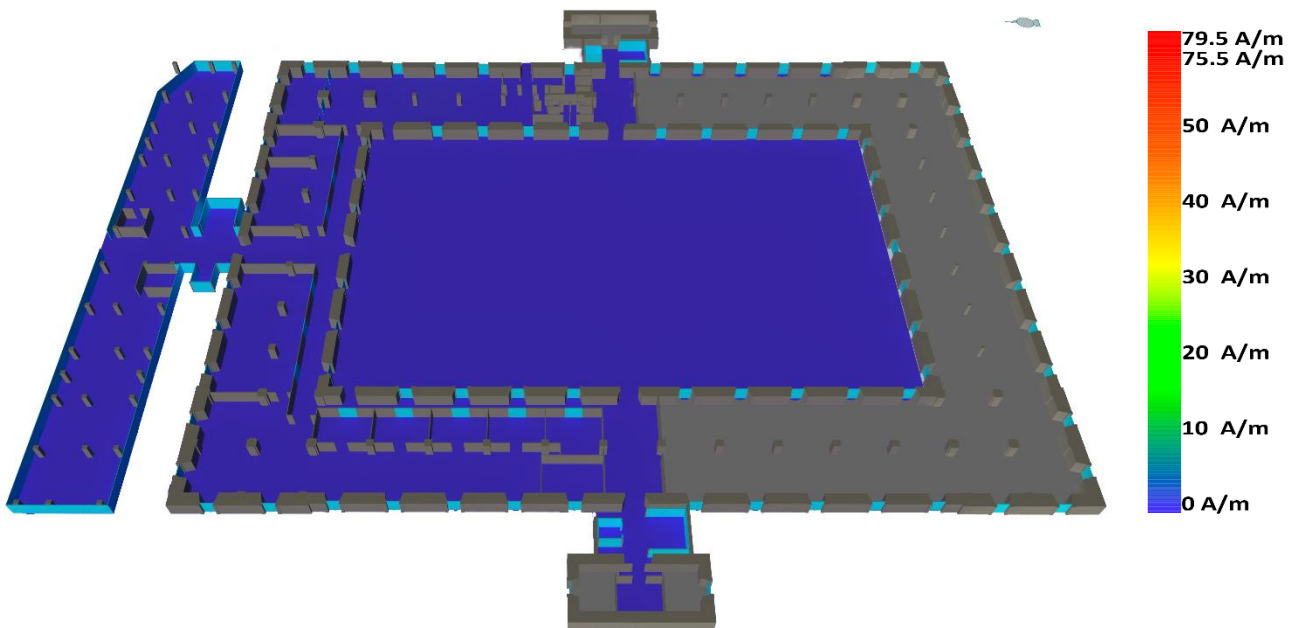


Figura 45. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Planta Baja. Niveles normativa (LF)

5.2.2.2 Primera Planta

Campo Eléctrico

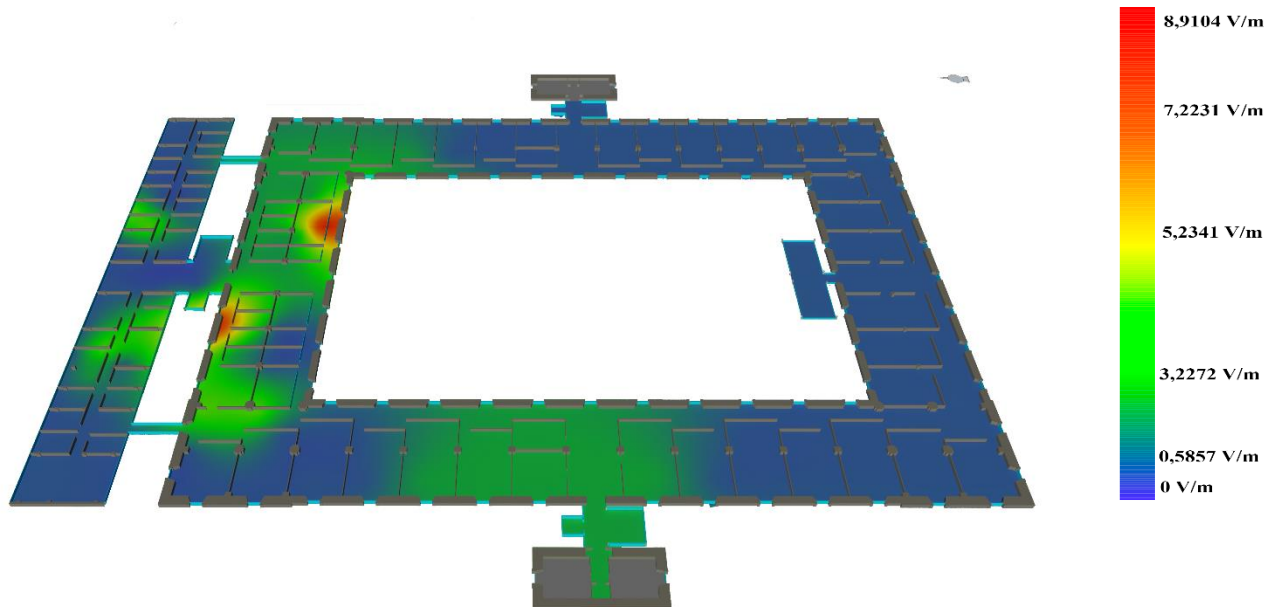


Figura 46. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Primera Planta (LF)

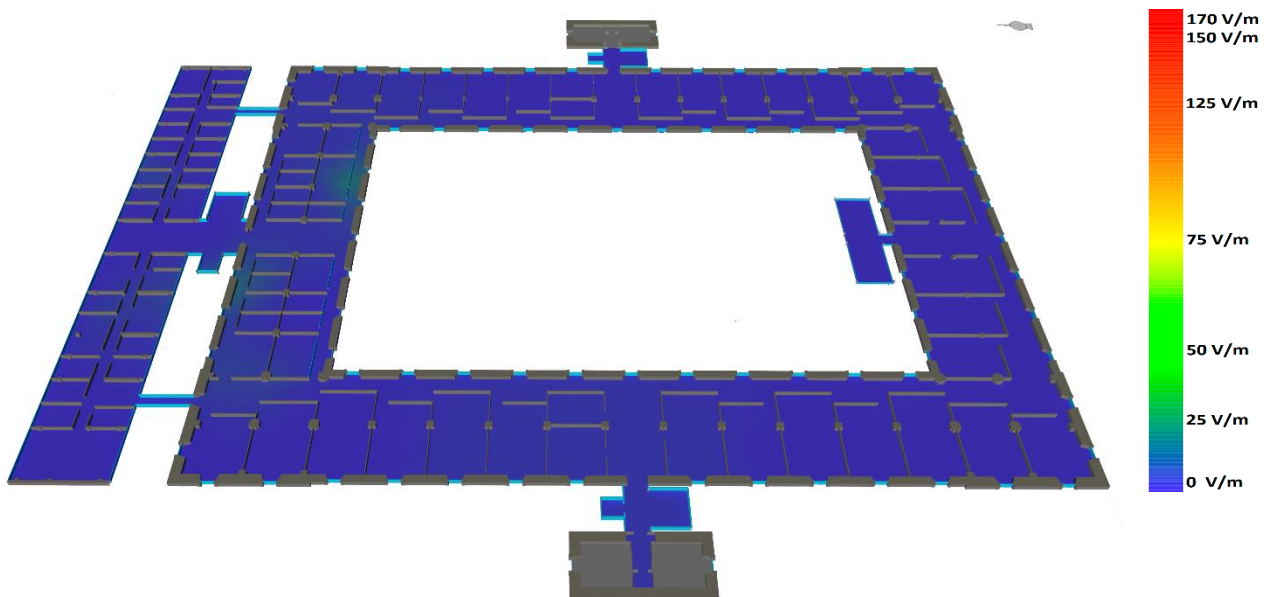


Figura 47. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Primera Planta. Niveles normativa (LF)

Campo Magnético

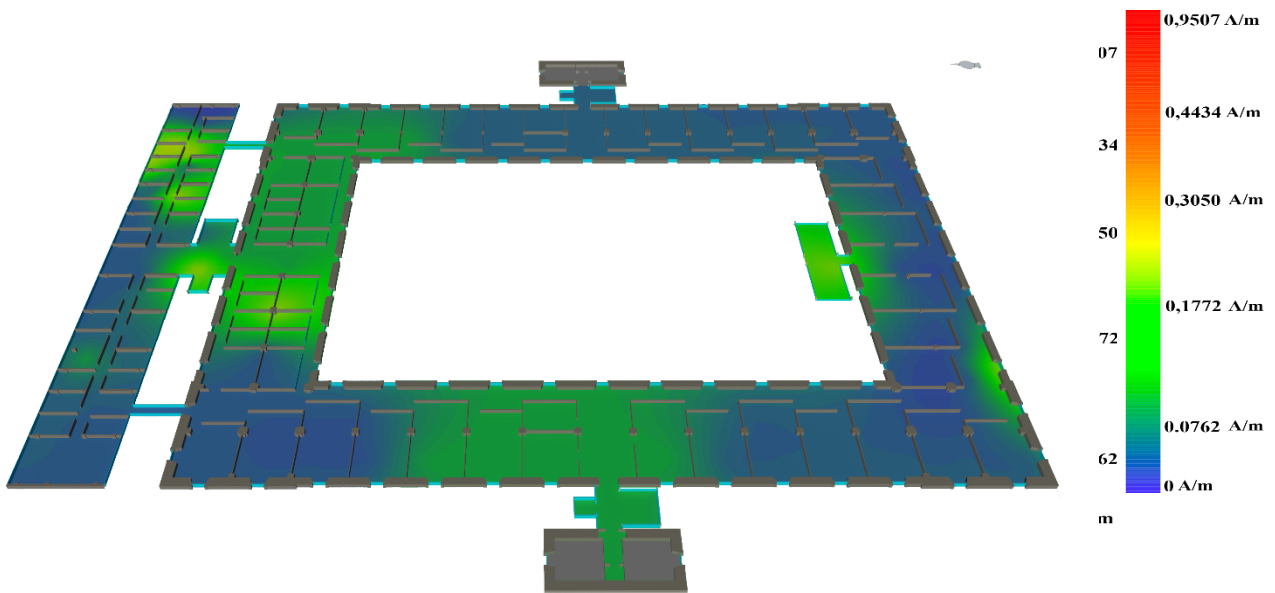


Figura 48. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Primera Planta (LF)

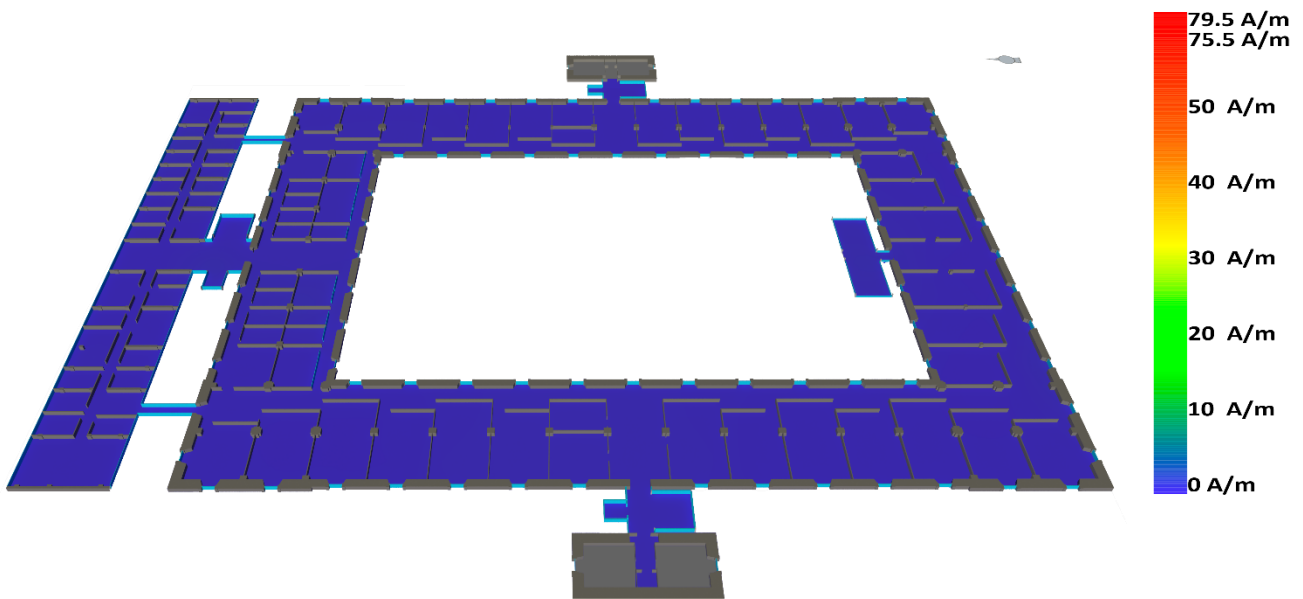


Figura 49. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Primera Planta. Niveles normativa (LF)

5.2.2.3 Segunda Planta

Campo Eléctrico

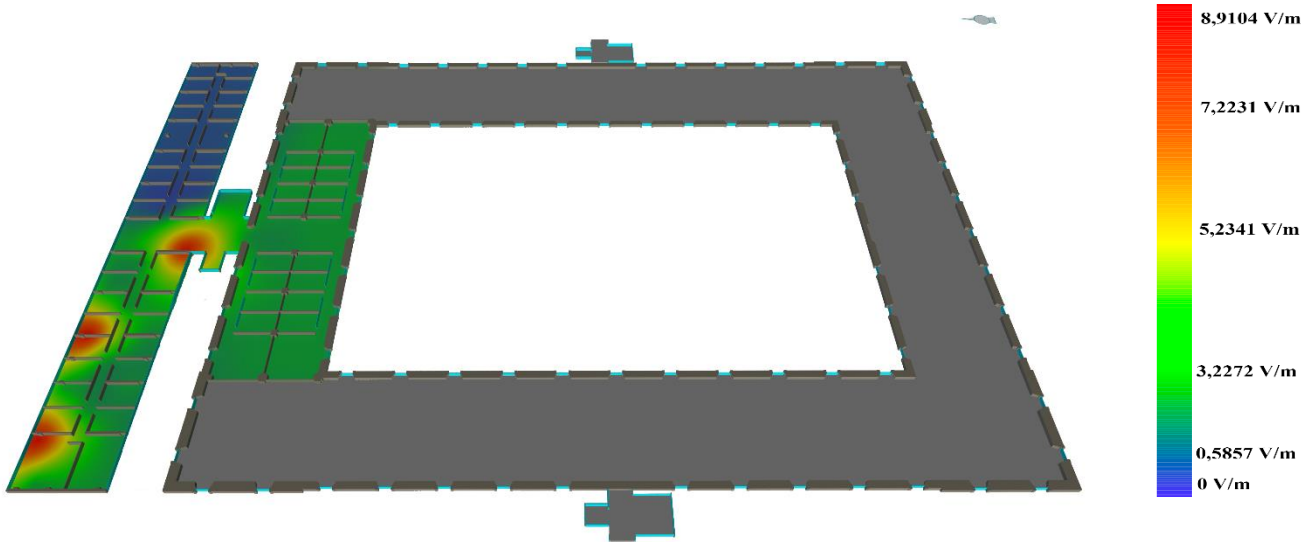


Figura 50. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Segunda Planta (LF)

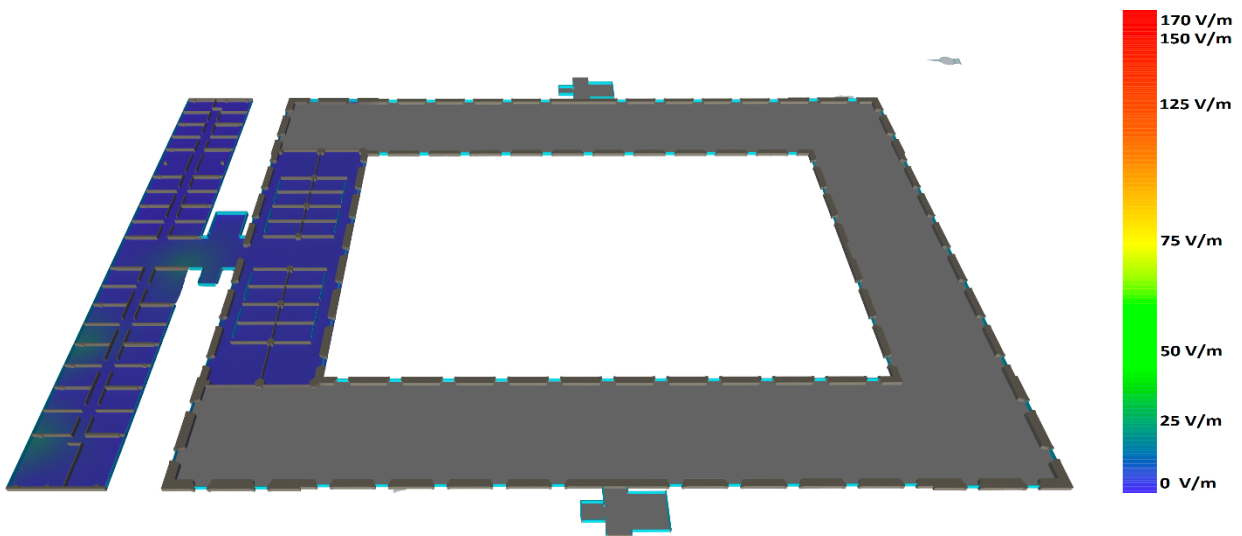


Figura 51. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Segunda Planta. Niveles normativa (LF)

En la figura 50 se representan varios puntos de medida en los cuales la intensidad de Campo E se acerca al máximo, representados en rojo, y uno de ellos establece el máximo global del edificio en LF, cuyo valor es 8,9104 V/m.

En cambio, la figura 51 representa los niveles de radiación respecto a los niveles establecidos por la normativa, nivel máximo de 170 V/m para LF, por lo tanto, se observa que toda la planta se representa en azul excepto esos puntos que antes eran cercanos al máximo como un nivel de intensidad bajo.

Campo Magnético

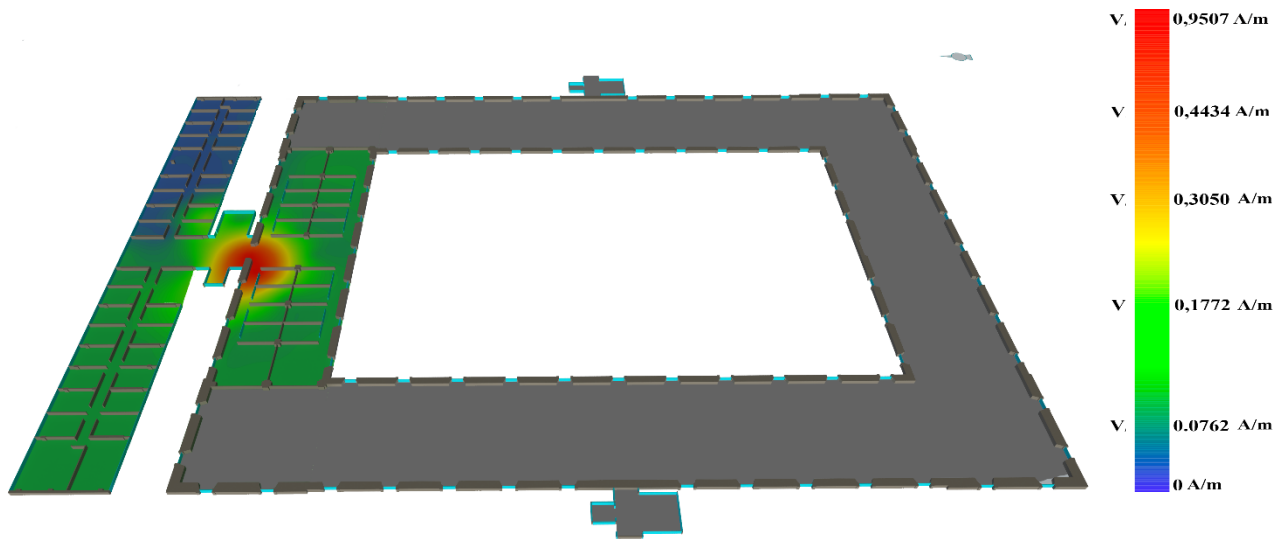


Figura 52. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Segunda Planta (LF)

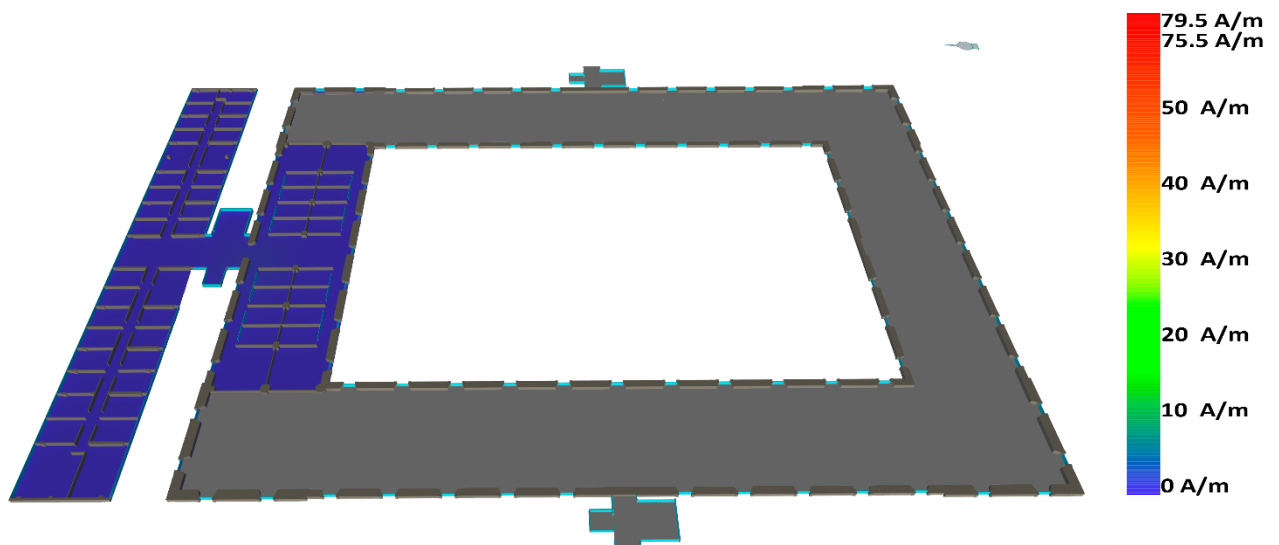


Figura 53. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Segunda Planta. Niveles normativa (LF)

En la figura 52 se representa un punto de medida en el cual la intensidad de Campo H corresponde con el máximo global de edificio en LF, cuyo valor es 0,9507 A/m.

5.2.2.4 Tercera Planta

Campo Eléctrico

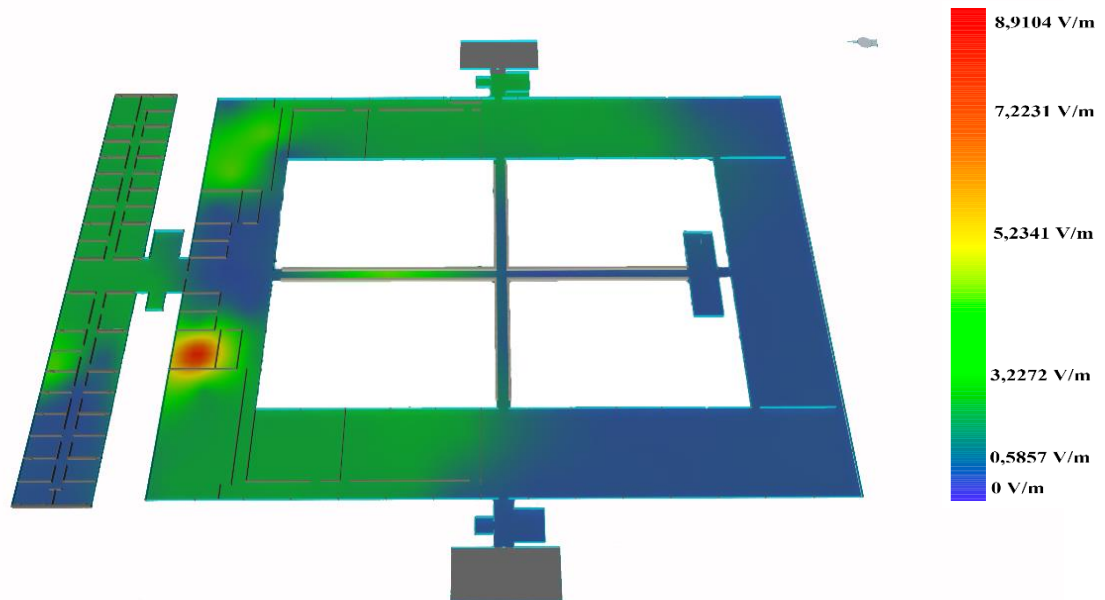


Figura 54. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Tercera Planta (LF)

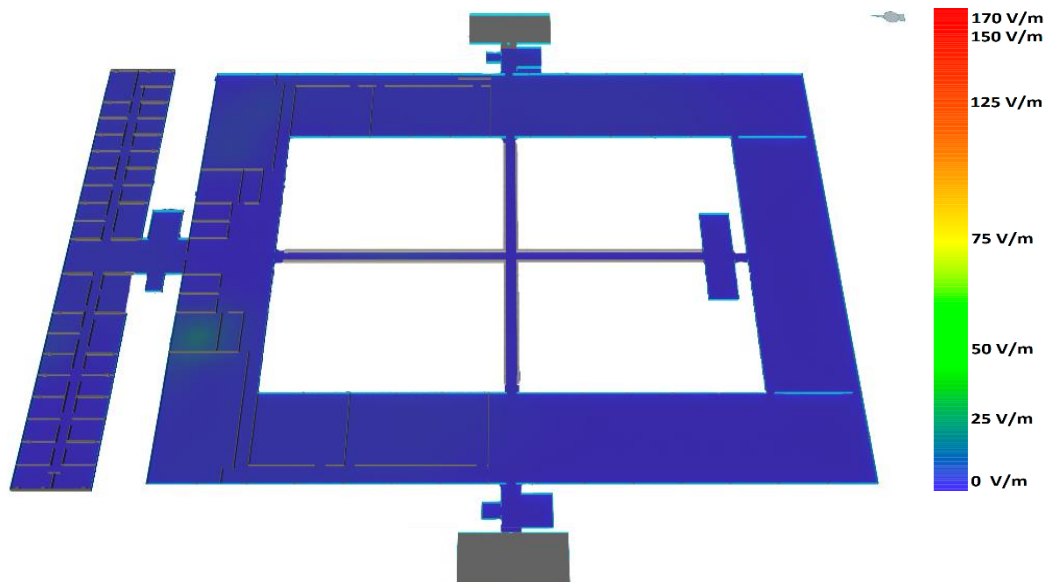


Figura 55. Mapa de radiación de Campo Eléctrico en la Tercera Planta. Niveles normativa (LF)

Campo Magnético

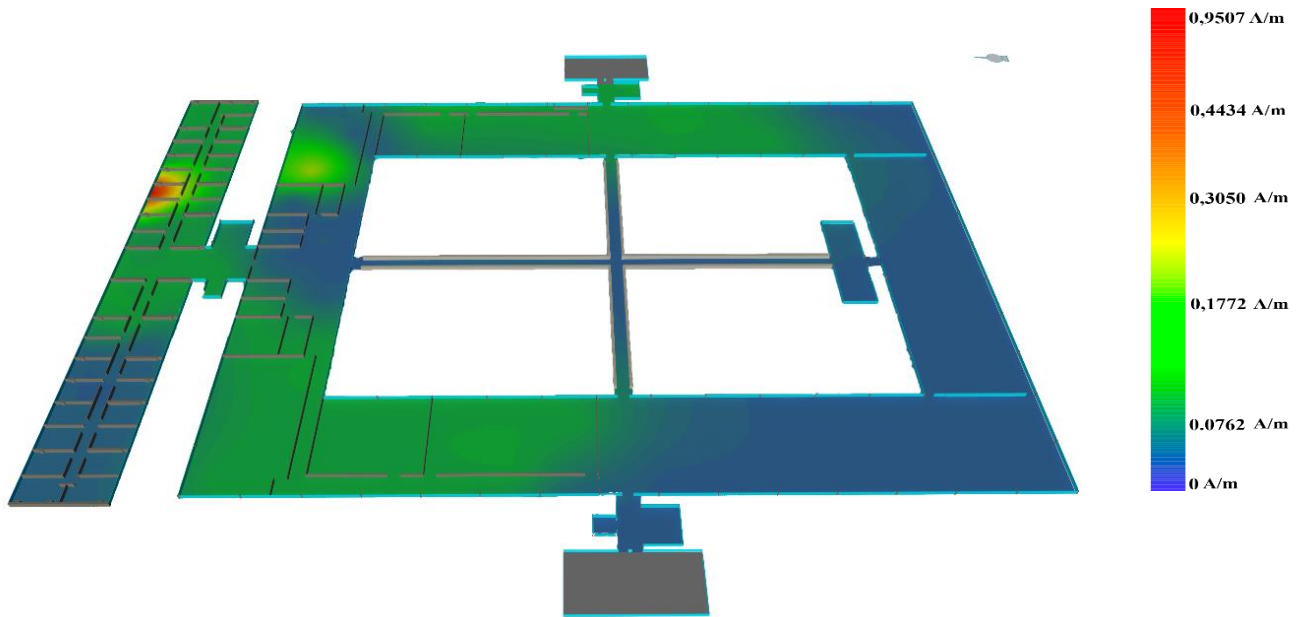


Figura 56. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Tercera Planta (LF)

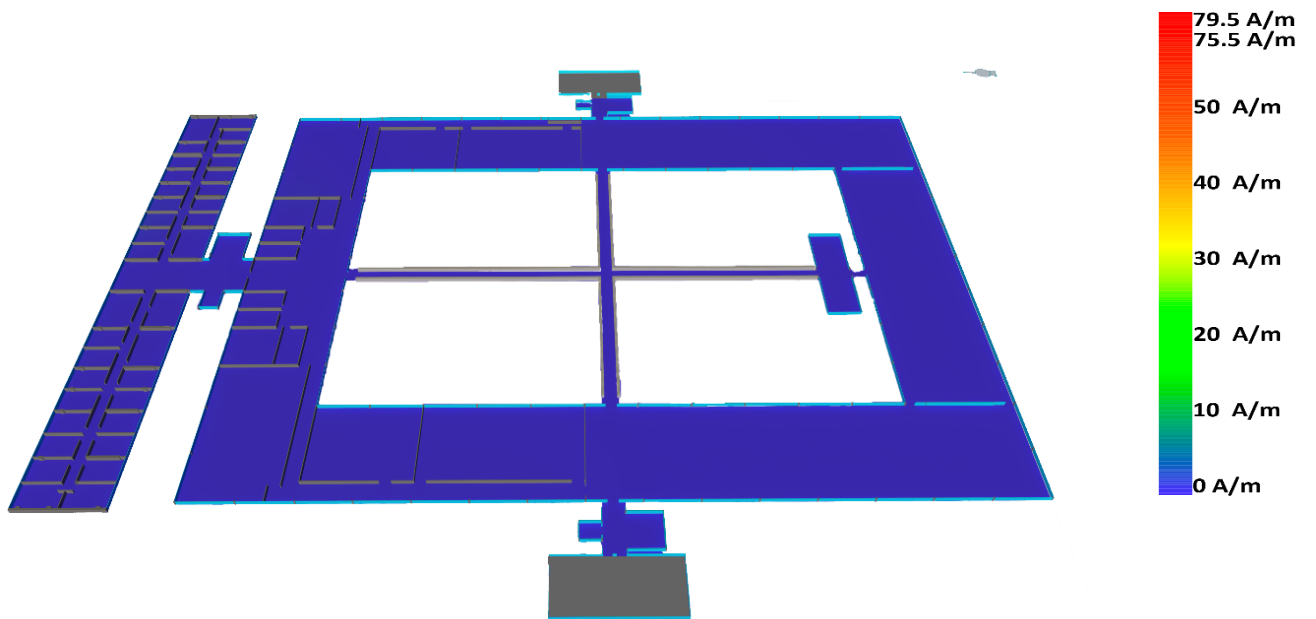


Figura 57. Mapa de radiación de Campo Magnético en la Tercera Planta. Niveles normativa (LF)

Capítulo 6

CONCLUSIONES

Este proyecto se ha basado en la lectura y demostración de las diferentes Normativas sobre la radiación electromagnética para la salud de los trabajadores, mediante unos conocimientos teóricos del espectro radioeléctrico, del uso de equipos y procedimientos de medida se han llevado a cabo ciertos métodos prácticos para corroborar que los niveles de radiación a los que están expuestos los trabajadores en el Edificio CIM (Cuartel de Infantería Marina) donde se alberga la Facultad de Ciencias de la Empresa de la Universidad Politécnica de Cartagena no superan los niveles máximos permitidos por Normativa, los cuáles serían nocivos para la salud.

Realizado el correspondiente estudio estadístico y gráfico se observan los diferentes niveles de radiación respecto al máximo de intensidad global del edificio bajo estudio y respecto a la Normativa. Sabiendo que según Normativa los valores máximos de Campo Eléctrico en HF, 14 V/m, y para LF, 170 V/m, se puede asegurar que los valores medidos de Campo Eléctrico en HF se encuentran dentro del límite establecido. Lo mismo ocurre para los valores medidos de Campo Magnético en LF ya que el valor máximo establecido según Normativa es de 79.5 A/m.

Observados los mapas de radiación de cada planta implementados gracias a las medidas realizadas y puestos como límite los niveles máximos de campos E y H medidos en el edificio, se observan zonas, puntos de medida, en las cuales los niveles están próximos o muy próximos a los máximos globales respecto a estos máximos. En cambio, si se observan los mapas de radiación respecto a los niveles especificados por la Normativa éstos muestran un nivel de intensidad mínimo.

En conclusión, se puede asegurar que en el Edificio CIM cumple con lo establecido en la Directiva 2013/35/UE relativa a la exposición de los trabajadores a Campos EM, y con el RD 1066/2001 relativo a la exposición a campos electromagnéticos del público en general, ya que en ninguna de las plantas y principalmente en ninguno de los puntos de medida, llevados a cabo, el nivel de intensidad de radiación de Campo E (para alta frecuencia) y el nivel de intensidad de radiación de Campo E y H (para baja frecuencia) no consiguen superar los valores máximos permitidos establecidos por las mencionadas normativas.

Capítulo 7
REFERENCIAS

- [1] Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. Boletín Oficial del Estado número 234. Sábado 29 de septiembre de 2001.
- [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 de 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. Diario Oficial de la Unión Europea. 29 de junio de 2013.
- [3] Orden CTE/23/2002, de 11 de enero, por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones. Boletín Oficial del Estado número 11. Sábado 12 de enero de 2002.
- [4] Surfer12. Full User's Guide. Golden Software, Inc.
- [5] Tutorial de Sketchup. Buenos Aires Ciudad. Ministerio de Educación.
- [6] Manual de V-Ray 2.0.
- [7] NBM-550. Narda Broadband Field Meter. Operating manual.
- [8] NBM-TS- Narda Transfer Software. Online help.
- [9] User's Manual EHP-50F. Electric and Magnetic Field Probe – Analyzer.
- [10] <https://es.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>
- [11] <https://es.wikipedia.org/wiki/SketchUp>
- [12] <https://es.wikipedia.org/wiki/V-Ray>
- [13] <http://www.tecnous.com/productos/radiacion-rni/altas-frecuencias/nbm-550/>