



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Título del proyecto:

Estudio de viabilidad y planificación de un sistema de localización interior basado en tecnología inalámbrica para un entorno sanitario

Iris Sesma Gracia  
Dr. Francisco Javier Falcone Lanas  
27 de Julio de 2012

## **Resumen**

Este proyecto se centra en el análisis de la propagación electromagnética de señales en un entorno interior complejo, como es el recinto estudiado el nuevo edificio de urgencias del Complejo Hospitalario de Navarra. Se van a comparar las medidas realizadas en el recinto con los valores obtenidos de la simulación por trazado de rayos. Se comprueba a lo largo de todo el proyecto que la simulación por trazado de rayos diverge para largas distancias, por lo que sus resultados son inexactos.

Previo al análisis del canal radioeléctrico en el escenario, se exponen de manera sencilla los conceptos necesarios para comprender los efectos que sufren las señales al propagarse.

El objetivo final del proyecto es dar una solución de localización en interiores para el recinto estudiado.

## **Abstract**

This project focuses on the analysis of the electromagnetic propagation of signals in a complex internal environment, as it is studied place the new emergency building of the Navarre Hospital Complex. They will compare the measurements made in the enclosure with the values obtained from the simulation by Ray-tracing. It is too a critique of the inaccuracy to the results of simulation, because the divergence of the rays in large enclosure.

Previously to the analysis of the radio channel on the stage, it is exposed in a simple way the concepts needed to understand the effects that suffer the signals to the spread.

The final objective of the project is to give a localization solution for the studied indoor area.

## **Agradecimientos**

Antes de empezar, me gustaría hacer un pequeño homenaje a todos aquellos que me han ayudado a llegar hasta aquí a lo largo de estos 6 años.

A mis padres por tener fe en mi incluso cuando yo la perdía.

A mi hermana porque su visión de la realidad siempre me hace replantearme todo.

A mi primo Fergus por haber sido un gran ejemplo a seguir desde siempre.

A mis amigos por aguantar mis largas explicaciones aunque no entendiesen nada.

A todos los profesores que se han esforzado en transmitirnos sus conocimientos.

A todos en los que en algún momento han pasado los largos días de biblioteca conmigo.

A todos los que me han ayudado a hacer posible este proyecto.

Y sobre todo a Elsa y Adri, porque sin ellos estos años hubiesen sido mucho más duros.

## Índice

Índice de figuras.....	4
Índice de tablas.....	8
1. Introducción.....	9
2. Objetivos.....	13
3. Estado del arte.....	15
3.1. Sistema de comunicaciones.....	15
3.2. Propagación radioeléctrica.....	18
3.2.1. Conceptos básicos sobre ondas electromagnéticas.....	18
3.2.2. Pérdidas de propagación.....	22
3.2.3. Penetración de la señal. Absorción.....	23
3.2.4. Reflexión, dispersión y difracción.....	25
3.2.5. Propagación multitrayecto.....	28
3.2.5.1. Canales multitrayecto.....	31
3.2.6. Resumen de los daños sufridos por propagación.....	33
3.3. Modelos de propagación en interiores.....	34
3.3.1. Modelos de propagación deterministas.....	34
3.3.2. Modelos de propagación empíricos.....	35
3.3.2.1. Modelo 1 .....	35
3.3.2.2. Modelo 2.....	35
3.3.2.3. Modelo UIT-R.....	36
3.3.3. Modelos de propagación basados en técnicas de trazado de rayos (Ray Tracing).....	36
3.4. Características técnicas.....	38
3.4.1. Wi-Fi.....	38
3.4.2. RFID.....	39
3.4.3. ZigBee.....	40
3.4.4. Comparativa.....	41
3.5. ¿Qué sistemas hay? .....	42
3.5.1. AeroScout .....	42
3.5.2. ekahau.....	43
3.5.3. treelogic.....	43
3.5.4. TSB.....	44
3.5.5. Universidad de Salamanca.....	44
3.5.6. indooratlas.....	46
4. Resultados.....	47
4.1. Descripción del escenario.....	47
4.2. Resultados de simulaciones y mediciones.....	56

4.2.1. Metodología empleada en las medidas .....	56
4.2.2. Primera aproximación.....	59
4.2.2.1. Radiales.....	65
4.2.2.2. Planos bidimensionales.....	69
4.2.2.3. Posibles soluciones.....	72
4.2.3. Segunda aproximación.....	73
4.2.3.1. Radiales.....	80
4.2.3.2. Planos bidimensionales.....	85
4.2.3.3. PDP (Perfiles retardo potencia).....	87
5. Discusión.....	91
5.1. Técnicas de Localización.....	91
5.1.1. AOA.....	92
5.1.2. TDOA.....	93
5.1.3. RSSI.....	95
5.1.3.1. Estimación de localización por triangulación.....	95
5.1.3.2. Estimación de localización por reconocimiento de patrones.....	95
5.1.3.2.1. Fase de calibración.....	96
5.1.3.2.2. Fase de operación.....	97
5.1.4. Comparativa.....	99
5.2. Potencia recibida y Perfiles de retardo Potencia.....	100
5.2.1. Perfiles de retardo potencia a lo largo de un pasillo.....	100
5.2.2. Potencia recibida a lo largo de un pasillo.....	103
5.3. Propuesta de solución del Sistema de localización.....	107
6. Conclusiones y líneas futuras.....	111
6.1. Conclusiones.....	111
6.2. líneas futuras.....	112
7. Bibliografía.....	113
8. Anexos .....	115
A. Material e instrumentación empleado.....	115
A.1. Hojas especificaciones de algunos componentes.....	116
B. Más resultados y planos.....	120
B.1. Radiales.....	120
B.2. Plano general.....	126
C. Código de matlab.....	127
C.1. Descripción del escenario .....	127
C.1.1. urgencias.m.....	127
C.1.2. zona1.m.....	129
C.1.3. zona2.m.....	134
C.1.4. zona3.m.....	137

C.1.5. zona4.m.....	142
C.1.6. zona5.m.....	147
C.1.7. zona6.m.....	155
C.1.8. zona7.m.....	161
C.1.9. zona8.m.....	166
C.2.Funciones para extraer la información.....	167
C.2.1. Ejemplo de obtener potencias: zonacamillas.m.....	167
C.2.1.1. sacarpotcam.m.....	169
C.2.2. Retardopotencia.m.....	169
C.2.3. Retardopotenciaquitandomenos100.m.....	171

## Índice de figuras

Figura 1.1: Vista aérea del Complejo Hospitalario de Navarra. (A) Hospital de Navarra, (B) Hospital Virgen del Camino, (C) Centro de consultas Príncipe de Viana.....	10
Figura 1.2: Dibujo del proyecto del edificio de Urgencias.....	11
Figura 1.3: Foto aérea del edificio de Urgencias terminado.....	11
Figura 3.1: Esquema de sistema general de comunicaciones.....	15
Figura 3.2: Espectro electromagnético.....	19
Figura 3.3: Representación gráfica de un tono puro.....	20
Figura 3.4: Modulación AM.....	20
Figura 3.5: Transformación de analógico a digital.....	21
Figura 3.6: Señal digital en el tiempo codificación de dos niveles.....	22
Figura 3.7: Atenuación por propagación en el caso del agua.....	22
Figura 3.8: Ley de Snell con rayo incidente y transmitido (o refractado).....	24
Figura 3.9: Ley de Snell en el caso de reflexión.....	25
Figura 3.10: Ángulo límite deducido según la Ley de Snell.....	26
Figura 3.11: Reflexión en un obstáculo rugoso.....	26
Figura 3.12: Efecto de difracción en una esquina.....	27
Figura 3.13: La señal llega del emisor al receptor por varios caminos: (1) Penetración, (2) difracción, (3) reflexión y (4) dispersión.....	27
Figura 3.14: Escenario multitrayecto con dos caminos directo y reflejado.....	29
Figura 3.15: Suma de fases, (a) en fase, (b) en contrafase.....	30
Figura 3.16: Onda electromagnética.....	30
Figura 3.17: Ejemplo de un impulso transmitido y cinco ecos de diferentes amplitudes [1].....	31
Figura 3.18: Ejemplo de perfil de retardo potencia.[2].....	32
Figura 3.19: Potencia de la señal recibida "típica" con el sistema en movimiento.[22].....	33
Figura 3.20: Método de "Ray Launching".....	37
Figura 3.21: Configuración con un solo punto de acceso. [5].....	38
Figura 3.22: Configuración de una red con varios puntos de acceso.[5].....	38
Figura 3.23: Funcionamiento de un par lector transpondedor RFID.[5].....	39
Figura 3.24: Esquema de una etiqueta RFID, una antena y un chip con la información. [5].....	39
Figura 3.25: Topologías de red: (a) estrella; (b) igual a igual.[4].....	41
Figura 3.26: Solución de control y localización de AeroScout® [12].....	42
Figura 3.27: Imagen de la pulsera de ekahau [10].....	43
Figura 3.28: Esquema básico de comunicaciones en ALZ-MAS.[9].....	45
Figura 3.29: Tiempo empleado por las enfermeras en la monitorización de pacientes, antes y después de la implementación de ALZ-MAS [9].....	45
Figura 3.30: Situaciones de riesgo detectadas antes y después de la implementación del sistema [9].....	45

Figura 3.31: Representación del campo magnético terrestre dentro de un edificio.[21].....	46
Figura 3.32: Bloques del sistema de localización de indooratlas [21].....	46
Figura 4.1: Plano de la planta baja del edificio (para más detalles acudir a la pag. 126).....	48
Figura 4.2: Plano planta baja con la separación por zonas.....	49
Figura 4.3: Zona 1 en tres dimensiones.....	50
Figura 4.4: Zona 2 en tres dimensiones.....	51
Figura 4.5: Zona 3 en tres dimensiones.....	51
Figura 4.6: Zona 4 en tres dimensiones.....	52
Figura 4.7: Zona 5 en tres dimensiones.....	53
Figura 4.8: Zona 6 en tres dimensiones.....	54
Figura 4.9: Zona 7 en tres dimensiones.....	55
Figura 4.10: Agilent CSASpectrum AnalyzerN1996A.....	56
Figura 4.11: Leica GST20-9 Wooden Telescopic Tripod.....	56
Figura 4.12: Analizador RF Field Fox N9912A [23].....	58
Figura 4.13: El montaje con todos los aparatos para tomar las medidas en uno de los boxes..	58
Figura 4.14: Foto del pasillo principal de Urgencias, foto tomada desde la posición de la antena transmisora.....	59
Figura 4.15: Pasillo principal de urgencias.....	60
Figura 4.16: Foto del pasillo de consultas, tomada desde el punto 26 del plano de la figura 4.17 .....	61
Figura 4.17: Plano del pasillo del circuito B.....	62
Figura 4.18: Imagen de una de las salas de boxes.....	63
Figura 4.19: Plano boxes.....	64
Figura 4.20: Comparación de potencia recibida en distintos puntos del pasillo principal, en medida y en simulación.....	65
Figura 4.21: Comparación de potencia recibida en los puntos del centro del pasillo principal, en medida y en simulación.....	66
Figura 4.22: Comparación de potencia recibida en distintos puntos del pasillo de consultas del circuito B, en medida y en simulación.....	67
Figura 4.23: Comparación de potencia recibida en los puntos del centro del pasillo de consultas del circuito B, en medida y en simulación.....	67
Figura 4.24: Comparación de potencia recibida en los puntos de la zona de boxes, en medida y en simulación.....	68
Figura 4.25: Plano bidimensional de potencia que llega a cada punto en el pasillo principal a 2,4 GHz.....	70
Figura 4.26: Plano bidimensional de potencia que llega a cada punto en el pasillo de consultas B a 2,4 GHz.....	71
Figura 4.27: Plano bidimensional de potencia que llega a cada punto en la zona de boxes a 2,4 GHz.....	72
Figura 4.28: Esquema del algoritmos de la red neuronal.....	73
Figura 4.29: Circulo de resolución en el pasillo principal para la primera aproximación.....	74



Figura 4.30: Circulo de resolución en el pasillo de consultas B para la primera aproximación. .	75
Figura 4.31: Circulo de resolución en la zona de boxes para la primera aproximación.....	76
Figura 4.32: Círculos de resolución en el pasillo principal para la segunda aproximación.....	77
Figura 4.33: Círculos de resolución en el pasillo de consultas B para la segunda aproximación .....	78
Figura 4.34: Comparación de potencia recibida en los puntos en el pasillo principal antena 3 (según figura 4.32 ) a la frecuencia de 2,4 GHz, en medida y en simulación.....	79
Figura 4.35: Comparación de potencia recibida en los puntos en el pasillo de consultas con la nueva antena (según figura 4.33) a la frecuencia de 430 MHz, en medida y en simulación .	80
Figura 4.36: Pasillo principal antena original error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias.....	81
Figura 4.37: Pasillo consultas antena original error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias.....	81
Figura 4.38: Zona boxes error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias .....	81
Figura 4.39: Pasillo principal antena nueva 1 error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias.....	82
Figura 4.40: Pasillo principal antena nueva 2 error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias.....	82
Figura 4.41: Pasillo principal antena nueva 3 error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias.....	82
Figura 4.42: Pasillo consultas antena nueva error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias.....	82
Figura 4.43: Ajuste de los datos de error y la distribución gaussiana.....	83
Figura 4.44: Distribución de los errores obtenidos y después de calibrar la simulación.....	83
Figura 4.45: Plano bidimensional de distribución de potencias antena original del pasillo principal a 868 MHz.....	84
Figura 4.46: Plano bidimensional de distribución de potencias antena nueva 3 del pasillo principal a 430MHz.....	85
Figura 4.47: Ejemplo de comportamiento fuertemente multitrayecto.....	86
Figura 4.48: Sólo las componentes multitrayecto que pueden afectar al sistema.....	87
Figura 4.49: Ejemplo de punto con pocas componentes de multitrayecto.....	88
Figura 5.1: Diagrama de bloques de las funciones de localización.[17].....	90
Figura 5.2: Triangulación en dos dimensiones.[3].....	91
Figura 5.3: Incertidumbre en la medida [3].....	92
Figura 5.4: Geometría del método de localización TDOA.[3].....	93
Figura 5.5: Calibración de los patrones para localización [19].....	95
Figura 5.6: Pasillo principal con los PDP de la línea central.....	100
Figura 5.7: Pasillo de consultas del circuito B con los PDP de la línea central.....	101
Figura 5.8: Puntos del valor de perdidas frente a distancia pasillo principal.....	102
Figura 5.9: Lineas de propagación en el pasillo principal.....	103
Figura 5.10: Perdidas frente a distancia como líneas de propagación en el pasillo de consultas	

.....	105
Figura 5.11: Perdidas frente a distancia mostrado como puntos en la zona de los boxes.....	105
Figura 5.12: Mapa cobertura para las zonas no plomadas.....	108
Figura 5.13: Mapa cobertura para las zonas plomadas.....	109
Figura 8.1: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la primera aproximación 430 MHz, en medida y simulación.....	120
Figura 8.2: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la primera aproximación 868 MHz, en medida y simulación.....	120
Figura 8.3: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo consultas en la primera aproximación 430 MHz, en medida y simulación.....	121
Figura 8.4: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo consultas en la primera aproximación 868 MHz, en medida y simulación.....	121
Figura 8.5: Comparación de potencia recibida en los puntos de la zona de boxes en la primera aproximación 430 MHz, en medida y simulación.....	121
Figura 8.6: Comparación de potencia recibida en los puntos de la zona de boxes en la primera aproximación 868 MHz, en medida y simulación.....	122
Figura 8.7: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 1 a 2,4GHz, en medida y simulación.....	122
Figura 8.8: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 1 a 430MHz, en medida y simulación.....	123
Figura 8.9: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 1 a 868MHz, en medida y simulación.....	123
Figura 8.10: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 2 a 2,4GHz, en medida y simulación.....	123
Figura 8.11: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 2 a 430MHz, en medida y simulación.....	124
Figura 8.12: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 2 a 868MHz, en medida y simulación.....	124
Figura 8.13: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 3 a 430MHz, en medida y simulación.....	124
Figura 8.14: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 3 a 868MHz, en medida y simulación.....	125
Figura 8.15: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo de consultas en la segunda aproximación para la antena nueva a 2,4GHz, en medida y simulación.....	125
Figura 8.16: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo de consultas en la segunda aproximación para la antena nueva a 868MHz, en medida y simulación.....	125
Figura 8.17: Plano de urgencias del CHN en grande.....	126

## Índice de tablas

Tabla 3.1: Comparativa de tecnologías inalámbricas.....	41
Tabla 4.1: Resumen de antenas empleadas en las medidas.....	57
Tabla 4.2: Resumen de errores entre medida simulación.....	84
Tabla 5.1: Comparativa de los métodos de localización.....	101

## 1. INTRODUCCIÓN

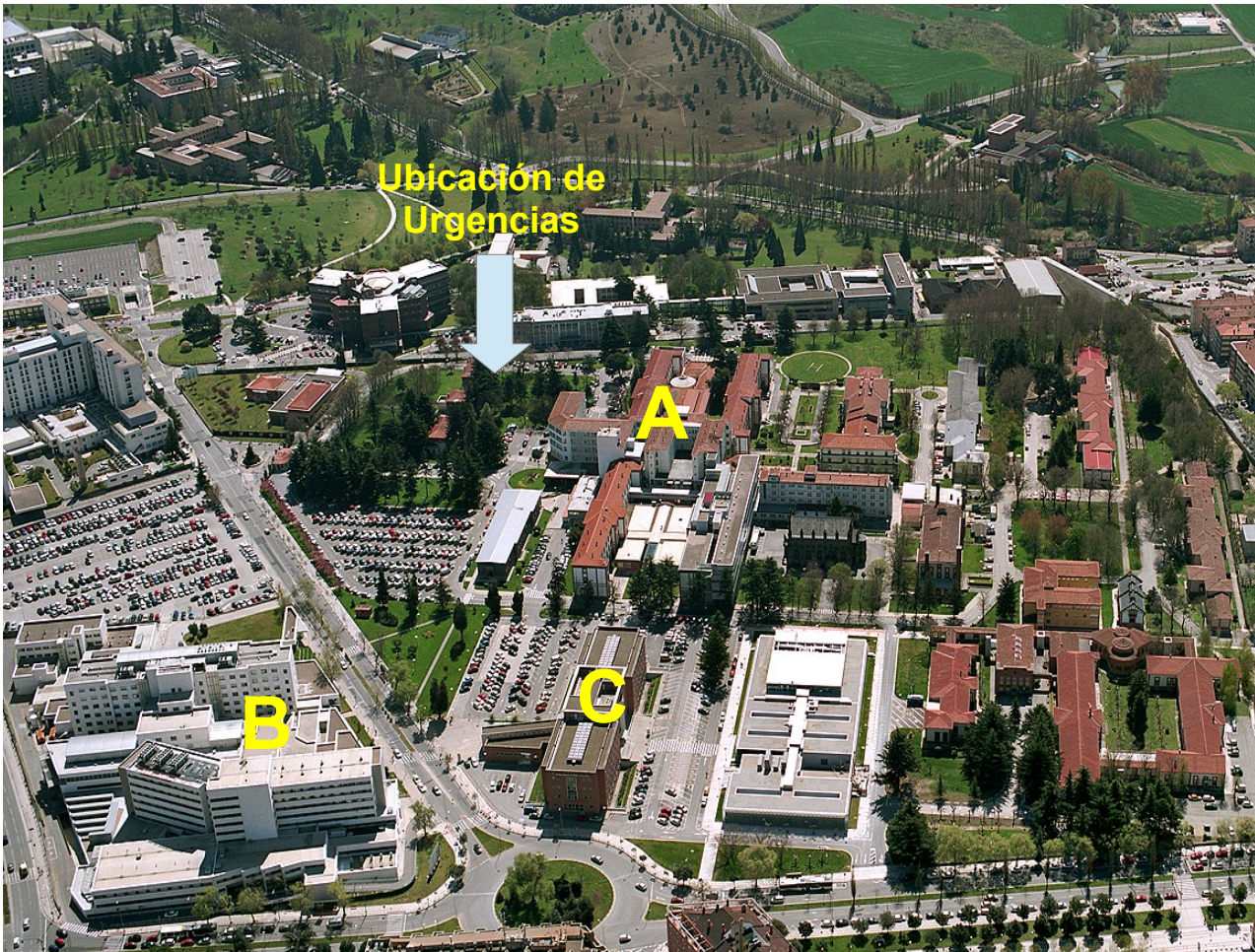
Según avanza la tecnología cada vez surgen más aplicaciones de localización, las cuales están teniendo un gran éxito en control y organización de recursos. Las flotas de camiones de transporte de mercancías podrían ser un ejemplo. Aunque este es un ejemplo de localización en exteriores, lo cual trata una problemática completamente distinta a la que ocupa este proyecto. Uno de los motivos es que basa la localización en la flota de satélites GPS que orbitan alrededor de la tierra, es decir, no es necesario hacer la instalación de las referencias de la localización, puesto que eso ya está hecho.

Otra de las diferencias es que la localización en interiores necesita una precisión mayor, porque dentro de un edificio cinco metros pueden suponer un error considerable. Esto puede conllevar que este en una habitación o en otra. Sin embargo, hablando en ambientes exteriores los mismos cinco metros se consideran de alta precisión, porque con respecto a toda la superficie de la Tierra nos aporta gran información.

Otra de las preguntas que pueden surgir es ¿para qué localizar dentro de un hospital? El motivo es sencillo, llegar a tiempo a atender a los pacientes graves puede suponer la supervivencia, por lo tanto, saber donde están supone una ventaja para el paciente. La ventaja para el hospital también es sencilla de ver, saber donde están los pacientes, y por lo cual qué recursos se están utilizando ayuda con los problemas de gestión de recursos.

La problemática que abarca este proyecto es más concreta, pues trata de la localización sólo en uno de los recintos del hospital, el área de urgencias. Es la zona del hospital donde más crítica puede ser la localización, puesto que en el resto del hospital los pacientes ya tienen asignada una habitación con su correspondiente cama y encontrarlo allí es lo más habitual. Las salas de urgencias son las zonas donde la localización puede ser más crítica, entre otras razones para atender apropiadamente a los pacientes, para gestionar los recursos escasos (por ejemplo, el escaner, las salas de rayos, etc.) o para tener informados a los familiares que están esperando

respuestas de dónde y cómo se encuentra el paciente. Puede parecer que esto último es menos importante, pero sin ningún sistema de localización instalado, el personal dedica tiempo a buscar a los pacientes por petición de los familiares. Empleando un sistema de localización se podría contestar a esa pregunta de forma más rápida, ahorrando tiempo y dejando a los usuarios más satisfechos con el funcionamiento.



*Figura 1.1: Vista aérea del Complejo Hospitalario de Navarra. (A) Hospital de Navarra, (B) Hospital Virgen del Camino, (C) Centro de consultas Príncipe de Viana*

Entrando ya con el objetivo concreto de localización de este proyecto, se trata de localizar a los pacientes del nuevo edificio de urgencias del Complejo Hospitalario de Navarra (CHN). El cual tiene como objetivo unificar los servicios de urgencias actuales del CHN edificio A (antiguo Hospital de Navarra) y CHN edificio B (antiguo Hospital Virgen del Camino). Este nuevo servicio está ubicado en un nuevo edificio construido junto al CHN edificio A, cuenta con 3000 metros cuadrados de planta y tiene capacidad para atender a 350 pacientes por día. Cada uno de estos pacientes está una media de 4 horas en urgencias y puede estar hasta en 7 u 8 ubicaciones distintas, eso suponen 3500 movimientos/día. Todo ello hace inviable tener a los trabajadores buscando a los pacientes por todo el recinto, lo cual hace necesario instalar un sistema de

localización.



*Figura 1.2: Dibujo del proyecto del edificio de Urgencias.*



*Figura 1.3: Foto aérea del edificio de Urgencias terminado.*

El diseño del sistema de localización en este recinto no es trivial, se trata de un recinto muy amplio y con una gran variedad de materiales. Todo contribuye a que el comportamiento radioeléctrico sea difícil de prever, y dificulta enormemente la localización.

Por lo tanto, gran parte de este proyecto fin de carrera se va a centrar en analizar el comportamiento electromagnético dentro del recinto, a las distintas frecuencias que pueden ser de interés para un sistema de localización.



## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto fin de carrera (PFC) es analizar los posibles diseños de un sistema de localización interior para el nuevo edificio de urgencias del CHN.

Este objetivo se puede desglosar en objetivos más específicos, el primero de los cuales es analizar la problemática de propagación radioeléctrica en el edificio. Usando distintos métodos complementarios entre sí. Por un lado, se usará un simulador de trazado de rayos, al que habrá que introducirle la información sobre el recinto y una posible configuración de antenas para que analice la propagación. Por otro lado, se situarán realmente esas antenas y se medirán en algunos puntos para poder comparar el parecido de los datos estimados con los reales.

Después de asegurar que el recinto se puede caracterizar correctamente, comienza la fase de decidir dónde situar las antenas y cuantas para que se pueda localizar con un margen de error elegido.

El objetivo de este PFC es proponer una solución de un problema real planteado desde la dirección de Urgencias de CHN, por lo que uno de los objetivos de la memoria es que sea accesible a personas sin conocimientos previos sobre la materia. Por tanto, están expuestos los conceptos de la forma más didáctica posible.





## 3. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se introduce la complejidad del canal radioeléctrico y cómo tratarlo, también se plantearán distintas tecnologías de localización existentes y qué se tendrán en cuenta para las posibles soluciones.

### 3.1. Sistema De Comunicaciones

Un sistema de comunicaciones puede ser cualquiera en el cual una información vaya desde el emisor al receptor. Así que se pueden encontrar los mismos elementos de un sistema de comunicación en una conversación en un bar, en el envío de un mensaje desde el móvil o de un correo electrónico desde casa.

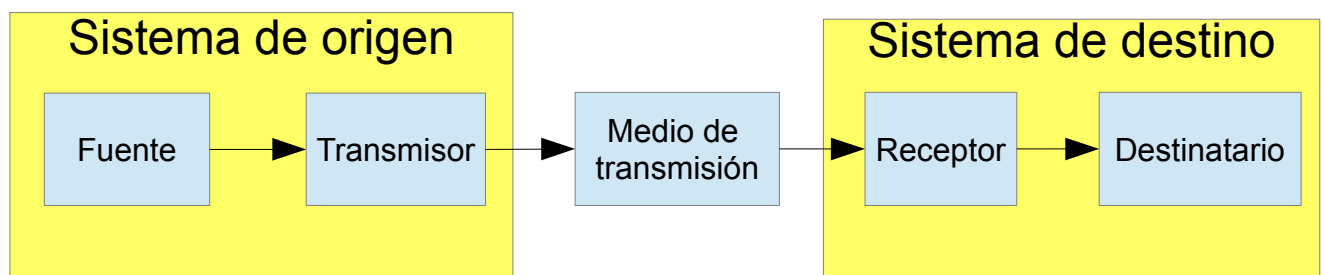


Figura 3.1: Esquema de sistema general de comunicaciones.

Los elementos del sistema de comunicaciones son los que aparecen en la figura 3.1. Donde el medio de transmisión puede ser el aire, el espacio o un cable de cualquier tipo. El sistema de origen se encarga de crear y transmitir el mensaje y el sistema de destino de recibirlo e interpretarlo.

Usando dos ejemplos simultáneamente, por un lado el del sistema que se plantea en este PFC de una estación base y un terminal, y por otro lado una conversación en un bar. En el primer

caso el sistema de origen es la estación base<sup>1</sup> y en el segundo, una persona hablando. En ambos casos el medio de transmisión es el aire y el sistema de destino es el terminal<sup>2</sup> o la persona que está escuchando.

Concretando más, la fuente va a ser la encargada de crear la información, ya sea un mensaje para pedir la posición o la idea que quieres transmitir a un amigo, creada por el cerebro. Pero esa información no puede llegar directamente hasta el destinatario, porque no está en el mismo espacio físico para entenderlo y, por desgracia, la telepatía no existe, por lo que el amigo no puede entender la idea surgida en la cabeza.

La función del transmisor es adecuar la información para que pueda llegar hasta el sistema receptor. Para ello es necesaria una codificación que puedan interpretar los dos extremos, equivalente a que hablen el mismo idioma. También es necesario modular la señal, a una frecuencia y sobre una variable concreta en el caso del electrónico (explicado con más detalles en el apartado 3.2) y con el sonido y movimiento de la boca en el caso humano.

Una vez hecho esto, la señal entra en el medio de transmisión. Mientras viaja por el medio de transmisión la señal se distorsiona por diversas razones que se estudiarán más adelante (en el apartado 3.2), pero la principal distorsión sufrida es la atenuación. La idea principal que hay que obtener es que los medios inalámbricos atacan seriamente a la integridad de la señal transmitida, lo que dificulta la interpretación por parte del receptor.

El receptor tiene que desenterrar la información de en medio de todos esos ataques, que pueden ser ruido ambiente, porque la música esta muy alta dentro del bar o interferencias porque otra persona habla simultáneamente. En radiofrecuencias el canal más ruidoso es el de 2,4GHz ya que la mayoría de las aplicaciones funcionan a esa frecuencia, por lo que hay que entenderse por encima de todos ellos.

Para poder interpretar la información a pesar de las dificultades, decimos que es necesaria una relación señal a ruido (SNR) mínima, que es lo mismo que decir que hay que hablar más alto para que te entiendan en una discoteca y que se puede susurrar para que te entiendan en una biblioteca. Es una relación entre la potencia de la información útil y la potencia del ruido de fondo. La potencia se mide en vatios ( $W$ ) según la nomenclatura internacional, pero para los valores que se manejan habitualmente en telecomunicaciones resulta muy poco práctico porque llegan potencias muy bajas. Por tanto, se termina expresando la potencia en  $dBm$ , calculado de forma:

$$P(dBm) = 10 \cdot \log \frac{P(W)}{1 mW} \quad (3.1)$$

1 Estación base: se trata como la parte fija del sistema.

2 Terminales: se trata de la parte móvil del sistema, la pulsera de los pacientes por ejemplo.

La SNR se obtiene como:

$$SNR = \frac{P_{señal}(W)}{P_{ruido}(W)} \quad (3.2)$$

o equivalentemente como

$$SNR(dB) = P_{señal}(dBm) - P_{ruido}(dBm) \quad (3.3)$$

donde  $dB$  se lee como decibelio.

Si la SNR que recibimos supera el mínimo necesario para que el receptor la entienda, pasa a demodularla y decodificarla, es decir, los oídos la reciben, interpretan las ondas de presión. Finalmente la información llega hasta el destinatario.

## **3.2. Propagación Radioeléctrica**

Toda comunicación inalámbrica acarrea consigo poca fiabilidad debido a que el canal por donde se transmiten los mensajes, la atmósfera, carece de las fronteras físicas que aportan las comunicaciones por cable.

Existen varios factores que afectan a las comunicaciones inalámbricas, como el ruido de radiofrecuencia que producen las máquinas, cambios físicos en el entorno, las personas, los metales, cambios en la atmósfera, etc. De todas las frecuencias planteadas en este PFC la banda de 2,4GHz es la que más interferencias sufre, porque es la que más aplicaciones utilizan, y además, cómo se verá más adelante, las pérdidas de propagación son mayores cuando subimos en frecuencia.

Los sistemas de telecomunicaciones se diseñan para que la señal que llega al receptor cumpla una mínima relación señal a ruido que garantice la correcta recepción del mensaje transmitido. En el caso de las comunicaciones inalámbricas, las ondas electromagnéticas que llevan la información están expuestas a ciertos fenómenos que pueden alterar su propagación, influyendo en la potencia recibida, y por tanto, en la relación señal a ruido.

Por todo ello, para la correcta planificación de un sistema de comunicación inalámbrico, como puede ser un sistema de localización, resulta esencial conocer los factores que pueden alterar la propagación electromagnética en la banda de frecuencia correspondiente. Por lo que entender las características de propagación de un entorno es importante para evitar problemas y para una correcta implementación del sistema.

En este apartado se van a explicar cuáles son estos efectos que se dan en la transmisión inalámbrica. Pero antes de eso, se aclararán algunos conceptos como el espectro electromagnético, la forma de la onda o modulaciones.

### **3.2.1. Conceptos básicos sobre ondas electromagnéticas**

Como se van a mencionar a lo largo del PFC en numerosas ocasiones los conceptos de espectro electromagnético y sus diversas bandas frecuenciales, se va a explicar brevemente qué son.

Las ondas electromagnéticas se propagan sin necesidad de un medio físico, una de sus características más relevantes es la frecuencia de la onda, ya que varía considerablemente la interacción que tiene al entrar en contacto con la materia. La frecuencia medida en Hz<sup>3</sup> no es otra cosa que la inversa del periodo en segundos ( $f=1/T$ ), el tiempo que tarda en completar un

---

<sup>3</sup> Hz se lee como Hercio y 1 Hercio = 1/segundo

ciclo.

En la figura 3.2 se muestra el espectro electromagnético con diversas aplicaciones. En el margen izquierdo están señaladas las frecuencias en Hz de las mismas. En el margen derecho está el valor equivalente en longitudes de onda ( $\lambda$ ). Ambas están relacionadas a través de la velocidad de la luz en el vacío ( $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ) de forma que:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.4)$$

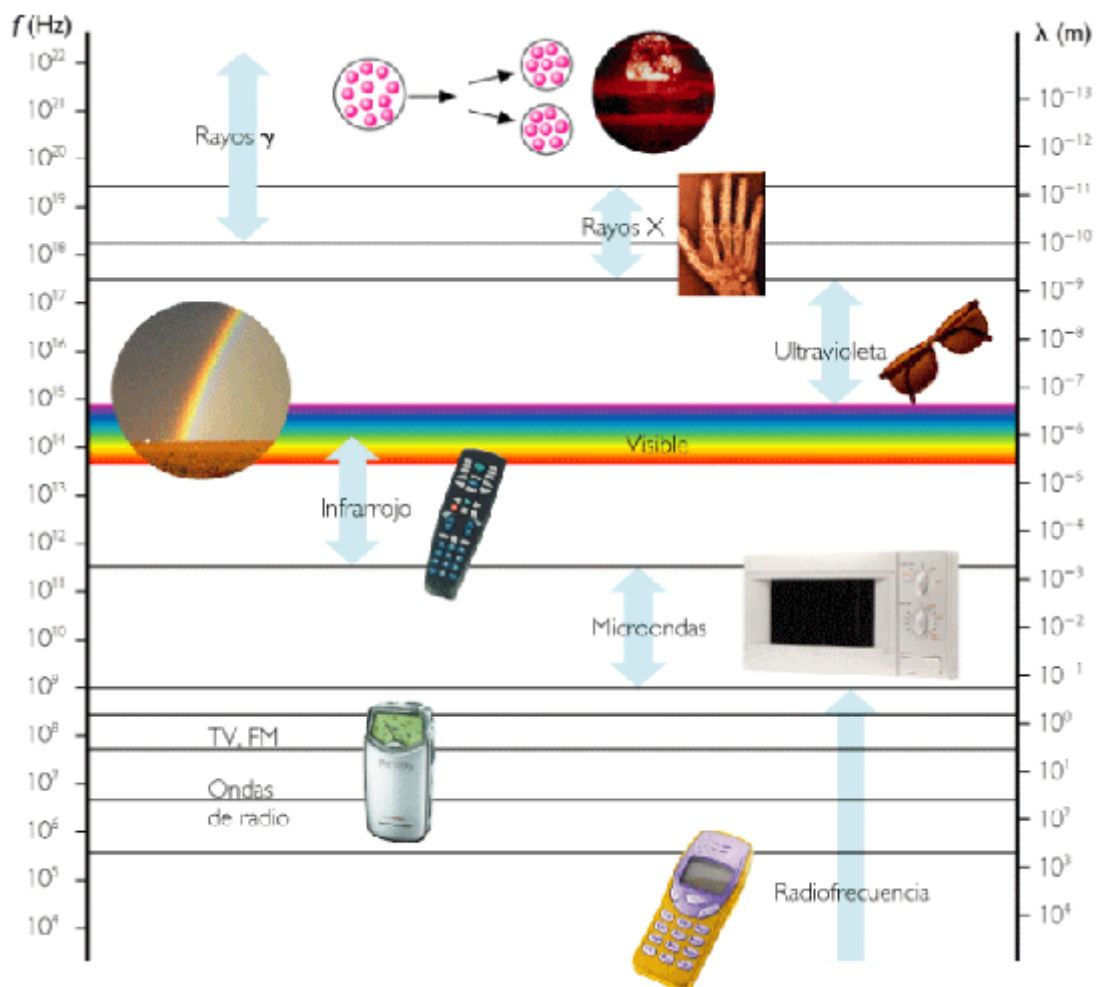


Figura 3.2: Espectro electromagnético.

Uno de los datos de frecuencia más conocidos es que la corriente alterna que llega a los enchufes es de 50 Hz. Volviendo a la figura 3.2, podemos obtener más información de aplicaciones según bandas frecuenciales. Por ejemplo, hasta 1 GHz separadas se ofrecen todos los servicios de difusión de radio y televisión, además de los servicios de telefonía móvil. Todas estas aplicaciones crean una gran competencia por el uso del espectro, así que está legislado en el cuadro nacional de atribución de frecuencias. Subiendo más en frecuencia entramos en el

rango de las microondas, con aplicaciones como los hornos microondas o Wi-Fi. Subiendo aún más en frecuencia, es decir, bajando en longitud de onda hasta los micrometros, tenemos la luz visible. Las comunicaciones por fibra óptica utilizan luz de frecuencias de nanometros viajando por las mismas.

Volviendo a hablar de transmisión inalámbrica de la información, siempre se trata de información modulada sobre una cierta frecuencia. Hay infinidad de formas de lograrlo, pero se va a intentar dar una explicación sencilla para la mejor comprensión del PFC.

Si se habla de tener una sola frecuencia, que es equivalente a decir un tono puro, se expresa matemáticamente como  $A \cdot \cos(2\pi f t + \theta)$ , siendo  $f$  la frecuencia,  $A$  la amplitud y  $\theta$  a fase entre 0 y  $2\pi$  radianes (0 a  $360^\circ$ ). En la figura 3.3 hay una representación gráfica de un tono puro de amplitud  $A$  y fase  $-90^\circ$ , es decir,  $A \cdot \sin(2\pi f t)$ .

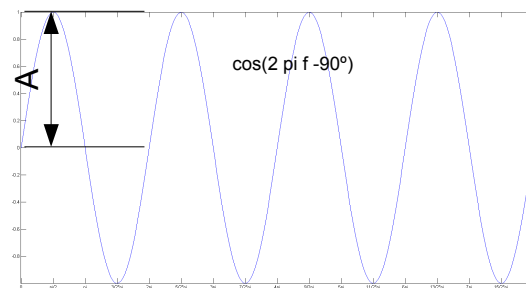


Figura 3.3: Representación gráfica de un tono puro.

Cuando se habla de modulación, se está hablando de introducir una información variando en el tiempo sobre una de las tres variables vistas del tono puro. El ejemplo más sencillo es el de la modulación en amplitud (AM), que consiste en introducir la información en  $A$ .

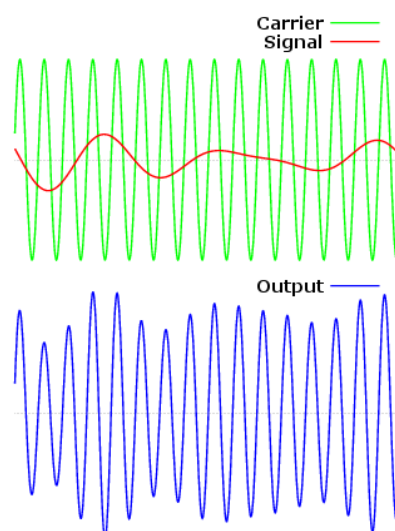


Figura 3.4: Modulación AM.

En la figura 3.4 se muestra en verde el tono puro que tiene la función de portadora (“carrier” en ingles), en rojo la señal (“signal”) que se quiere transmitir, y en la parte inferior de la figura en azul la señal modulada que sale. La señal transmitida sigue la forma de amplitud de la información y la frecuencia de la portadora.

La modulación también puede ser haciendo variar la frecuencia (FM) o la fase de la portadora. En el caso que ocupa a este PFC la información va a ser digital, y va a usar esquemas de codificación y modulación más complejos que los expuestos, porque son los que marcan los estándares de las tecnologías utilizadas.

Para ultimar la explicación, la información analógica puede tomar cualquier valor entre  $-\infty$  y  $+\infty$ , y tener tantos decimales como quiera, por ejemplo, la temperatura en una habitación a lo largo del tiempo puede ser como la que se muestra en la figura 3.5 en gris, pero esta tiene infinitos puntos porque es una línea continua. La línea roja es como quedaría la señal al digitalizarla con 8 niveles. En el eje vertical están escritos los 8 niveles en representación binaria.

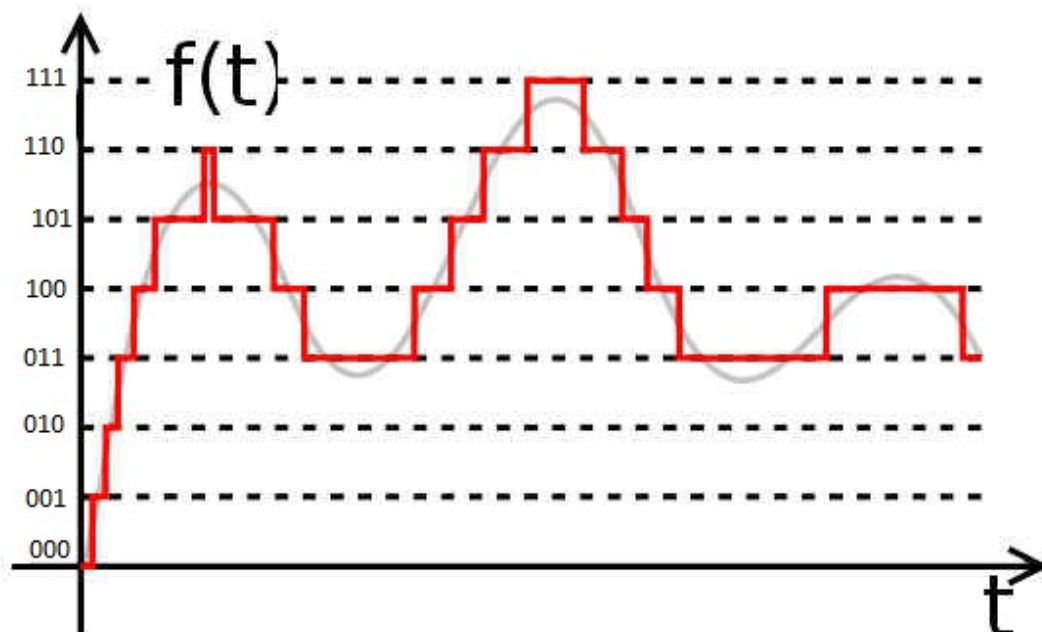


Figura 3.5: Transformación de analógico a digital.

En resumen, cualquier información la podemos expresar de forma digital como un conjunto de 0's y 1's. A la unidad básica de información digital (un 0 o un 1) se le llama bit.

La información digital enviada va a tener una forma como la de la figura inferior, pero se pueden agrupar los 0's y 1's en grupos usando 4 niveles, por ejemplo, eso consistiría en agrupar la información que es una cadena 100110001 en cuatro códigos:  $a=00$ ,  $b=01$ ,  $c=10$  y  $d=11$ , así la figura 3.5 quedaría codificada como: 10 01 10 00 11 =  $c b c a d$ .



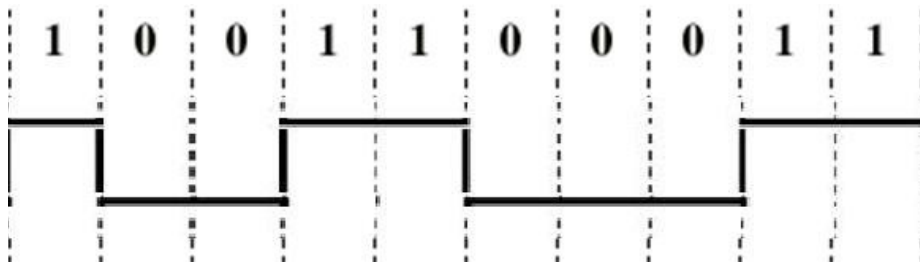


Figura 3.6: Señal digital en el tiempo codificación de dos niveles.

Las codificaciones se pueden modular igual que en caso analógico, en amplitud, frecuencia o fase, visto previamente.

### **3.2.2. Pérdidas de propagación**

En este apartado se va a hablar de la atenuación que sufre la onda por el hecho de propagarse en todas direcciones. El ejemplo para visualizar este fenómeno puede ser, el de la figura 3.7 que muestra como se propagan las ondas por el agua cada vez más lejos del origen, pero al tener que cubrir más distancia con la misma potencia por lo que a cada punto llega menos. La caracterización cuantitativa de este fenómeno se hace a través de (3.5), expresándolo en unidades lineales, vatios ( $W$ ) o mili-vatios ( $mW$ ). En (3.7) se expresa de forma logarítmica.



Figura 3.7: Atenuación por propagación en el caso del agua.

La atenuación variará en función de la frecuencia de transmisión y de la distancia física existente entre emisor y receptor. La potencia que le llega al receptor ( $P_{rx}$ ) es función de la potencia enviada por el transmisor ( $P_{tx}$ ), la directividad<sup>4</sup> de la antena transmisora ( $D_{tx}$ ), el área

4 La directividad es una propiedad de las antenas relacionada con su forma que es distinta para cada dirección, en este caso se está sobreentendiendo que se trata de la máxima directividad. Su significado está relacionado con hacia donde apunta la antena.

efectiva<sup>5</sup> de la antena receptora ( $A_{ef,rx}$ ) y la distancia recorrida desde el origen ( $r$ ).

$$P_{rx}(r) = P_{tx} \frac{1}{4\pi r^2} D_{tx} A_{ef,rx} = P_{tx} \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 D_{tx} D_{rx} \quad (3.5)$$

La directividad y el área efectiva están relacionados por:

$$A_{ef} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D \quad (3.6)$$

De forma que:

$$P_{rx}(r)(dBm) = P_{tx}(dBm) + 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right) (dB) + D_{tx}(dB) + D_{rx}(dB) \quad (3.7)$$

Las antenas que se van a utilizar en la solución final son desconocidas, de cualquier manera, deberían ser omnidireccionales en todos los casos (estaciones base y terminales) y ambas no muy grandes, por lo que podemos suponer, en una primera aproximación, que ambas antenas tienen la misma directividad o área efectiva. Por tanto, la deducción más importante que se saca de esta fórmula es que la potencia transmitida va a ir disminuyendo con el cuadrado de la distancia  $r$ .

En conclusión, la distancia va a ser un factor clave para saber si recibimos más o menos potencia.

### **3.2.3. Penetración de la señal. Absorción**

Las ondas electromagnéticas tienen una velocidad al propagarse por un medio que es  $v = c/n$ , donde  $c = 3 \cdot 10^8 m/s$ , la velocidad de la luz en el vacío y  $n$  es el índice de refracción del medio (material). El índice de refracción es la relación entre la velocidad de propagación de la onda en un medio de referencia, que en el caso de las ondas electromagnéticas es el vacío, y la velocidad de propagación de la misma onda en el medio que corresponda.

Cuando una onda propagándose llega a la frontera entre dos medios, con distinto índice de refracción, su velocidad cambia. La relación entre la onda incidente y la onda refractada nos la da la Ley de Snell, cuya fórmula (3.8) y esquema se muestran a continuación, el esquema muestra el caso de que  $n_2 > n_1$ :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.8)$$

Se debe tener en cuenta que estas señales, y las ondas de radio en general, al pasar de un medio a otro, sufren una desviación en su trayectoria. Este fenómeno se llama refracción, y aparece cuando una onda electromagnética pasa de un medio físico con un índice de refracción a

<sup>5</sup> Área efectiva: propiedad de la antena relacionada con cuanta potencia es capaz de captar.

otro con distinto índice (en el apartado 3.2.4 se estudia el caso de que no exista). En la vida cotidiana esto se aprecia al observar un objeto semi-sumergido en el agua, que por efecto del cambio del índice de refracción parece doblado.

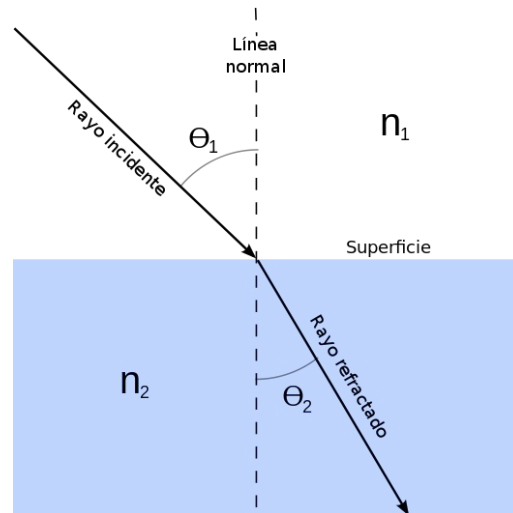


Figura 3.8: Ley de Snell con rayo incidente y transmitido (o refractado)

No todos los medios propagan las ondas en las mismas condiciones, el vacío no absorbe la energía que llevan las ondas electromagnéticas, pero en el caso de una pared de ladrillos si que va a ocurrir. Mientras la onda se propague por la pared ira disminuyendo su potencia más que si se propagase por el vacío. A la formula de Friis (3.5) vista en el apartado anterior, hay que añadirle efectos atenuadores.

Así el rayo refractado en este caso quedará:

$$P_{rx}(r) = P_{tx} \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 D_{tx} D_{rx} e^{-\alpha r} \quad (3.9)$$

Donde  $\alpha$  son las perdidas asociadas a la propagación por un material.

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\mu \epsilon} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{C}{2\pi f \epsilon} \right)^2} \right)} \quad (3.10)$$

Donde  $\mu$  es la permeabilidad magnética,  $\epsilon$  la permitividad eléctrica y  $C$  la conductividad del material. Todas estas propiedades son intrínsecas al material, por lo que no variaran a menos que lo haga el material. La otra variable de las perdidas de propagación es la frecuencia ( $f$ ), que hará que haya más perdidas según aumenta.

Existen más efectos que atenúan, como las perdidas introducidas por las antenas, la polarización y los efectos que se van a ver a continuación también terminan degradando la señal.

### 3.2.4. Reflexión, dispersión y difracción

Los fenómenos de la reflexión, dispersión y difracción son muy importantes en las comunicaciones inalámbricas, sobre todo en entornos como los que se van a estudiar en este PFC, puesto que la presencia masiva de objetos, paredes y suelos van a producir estos efectos en gran cantidad.

Esta presencia de objetos y elementos en nuestros escenarios producen principalmente reflexiones en las superficies en las que inciden las ondas electromagnéticas transmitidas. Si estos elementos fueran conductores perfectos, el 100% de la onda sería reflejada. Pero ni siquiera los elementos metálicos van a ser conductores perfectos, y al igual que en los elementos dieléctricos, se generará una onda transmitida (refractada) y una onda reflejada, como muestra la figura 3.9. A diferencia de la onda transmitida, el ángulo que forma la onda reflejada con la normal y el ángulo que forman la onda incidente y la normal, son iguales.

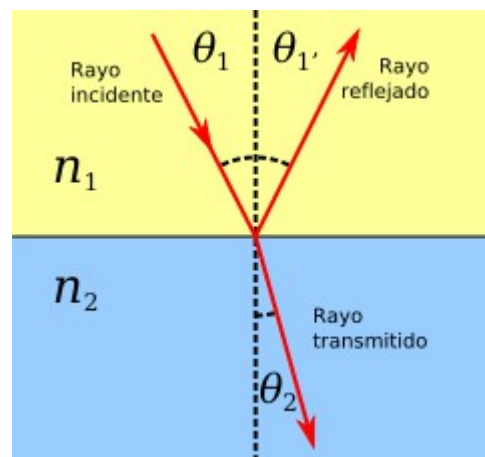


Figura 3.9: Ley de Snell en el caso de reflexión.

Siempre se cumple que  $\theta_1 = \theta_1'$  porque los ángulos dependen de las propiedades del medio de transmisión. Por otro lado, para que sólo exista rayo reflejado debe cumplirse que

$$\theta_1 = \theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (3.11)$$

como se muestra en la figura 3.10, en ese rayo refractado dejará de existir.

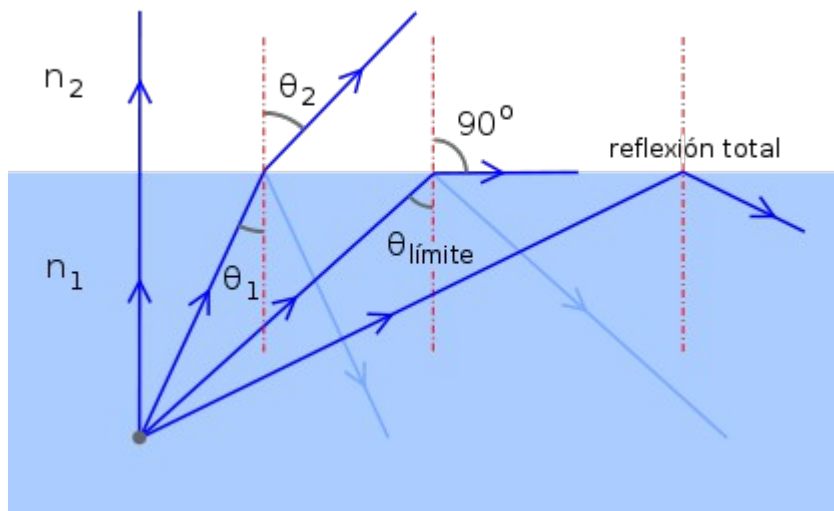


Figura 3.10: Ángulo límite deducido según la Ley de Snell

La dispersión, o scattering, ocurre cuando las ondas electromagnéticas inciden sobre una superficie rugosa. La rugosidad de la superficie es diferente para cada onda, ya que depende de la longitud de onda de la señal incidente. Generalmente, si la variación en una superficie es mayor que  $\lambda/8$ , la superficie se considera rugosa y dispersará la señal en varias direcciones (figura 3.11).

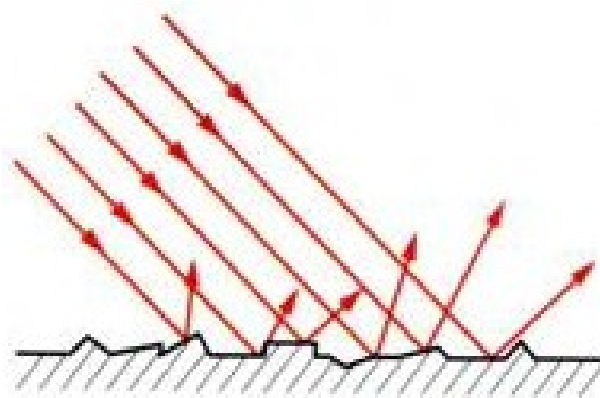


Figura 3.11: Reflexión en un obstáculo rugoso.

Por último, el fenómeno de la difracción ocurre cuando una onda electromagnética incide en una arista, una esquina, o en un objeto muy fino o estrecho. Al incidir una onda sobre un obstáculo con estas características, el obstáculo se comporta como una nueva fuente para esta onda, rerradiando parte de la energía recibida, posibilitando así la recepción en lugares que antes no era posible por falta de visión directa (figura 3.12).

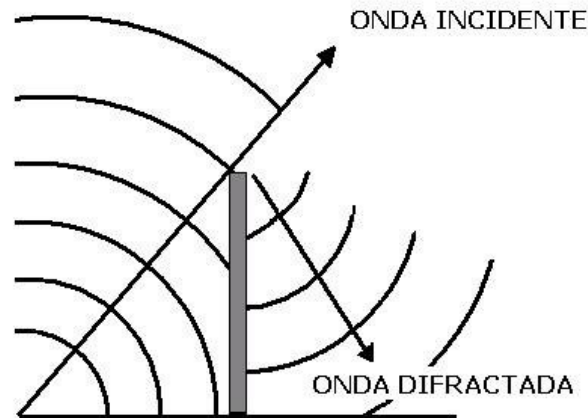


Figura 3.12: Efecto de difracción en una esquina.

En la figura 3.13 se muestra un ejemplo de los cuatro fenómenos descritos hasta ahora. El transmisor (tx en la figura) podría ser una estación base preguntándole a un terminal (rx en la figura) por su posición. La señal en la figura llega por cuatro caminos distintos hasta el receptor:

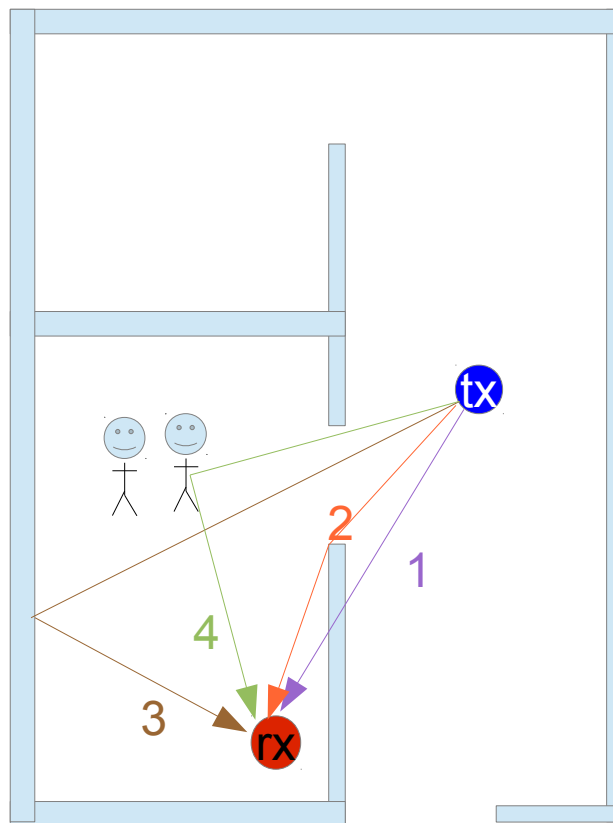


Figura 3.13: La señal llega del emisor al receptor por varios caminos: (1) Penetración, (2) difracción, (3) reflexión y (4) dispersión.

- Camino 1: representa a la señal que llega hasta la pared se transmite a través de ella (con ciertas pérdidas) y termina llegando hasta el receptor.

- Camino 2: ilustra la señal que llega después de haberse difractado en la esquina de una puerta, por ejemplo.
- Camino 3: representa a la señal reflejada en otra pared que llega hasta el receptor, no sera un conductor perfecto, por lo tanto, tendrá pérdidas.
- Camino 4: ilustra la señal que llega por la dispersión en algún objeto rugoso, que se define como rugoso aquellos objetos con irregularidades mayores de  $\lambda/8$  de la señal. Para las frecuencias que se van a considerar en este PFC,  $2,4\text{ GHz}$  ,  $433\text{ MHz}$  y  $868\text{ MHz}$  . Sabiendo que  $\lambda=c/f$  , el más sensible a las rugosidades es la frecuencia mayor porque tiene longitud de onda menor, de valor  $12,5\text{ cm}$  . Usando ese dato, consideramos rugoso cualquier objeto con irregularidades mayores de  $1,56\text{ cm}$  . El caso que menos irregularidades ve es  $433\text{ MHz}$  , ya que deben ser de  $86,6\text{ cm}$  . En cualquier caso, se pueden encontrar muchos objetos que vayan a crear este efecto.

La señal que llega por todos esos caminos se suma, pero en realidad se suman las componentes de los campos electromagnéticos. Se explica con más detalles en el siguiente apartado que habla de la propagación multitrayecto.

Otro aspecto que se puede resaltar de esa figura, es que el hecho de que los escenarios que se van a estudiar van a ser dinámicos, va a haber movimiento de personas y objetos de un lugar a otro, que dependiendo de su tamaño producirán unos u otros efectos en la propagación. El estudio se hará sobre un caso estático, pero habrá que tener en cuenta los posibles efectos del movimiento en el sistema.

### **3.2.5. Propagación multitrayecto**

A menudo, el entorno en el que se da la comunicación es un entorno complejo, y como se ha visto en el apartado anterior (figura 3.13), la señal transmitida puede llegar al receptor por diferentes caminos. Los escenarios que se van a estudiar en este PFC son un claro ejemplo de entornos complejos, puesto que existen numerosos elementos que van a interferir en la comunicación, provocando reflexiones, difracciones, dispersión y absorciones de energía. Por lo tanto, los receptores recibirán una señal que se va a componer de la suma de las señales recibidas por diferentes caminos. Cuando la comunicación se da en estas condiciones, se habla de propagación multitrayecto.

Cada camino de propagación diferente hará que la onda recibida llegue con un nivel de potencia y un retraso o adelanto diferentes con respecto a las demás, debido a que las distancias de cada camino serán diferentes. O lo que es lo mismo, cada onda recibida tendrá una fase propia, que al sumarse con las demás, podría crear problemas para una recepción correcta.

En los escenarios estudiados se va a trabajar con situaciones estáticas, es decir, una vez que los transmisores y receptores se coloquen en su lugar, no se van a mover. El caso más simple de propagación multitrayecto será el ilustrado en la figura 3.14.

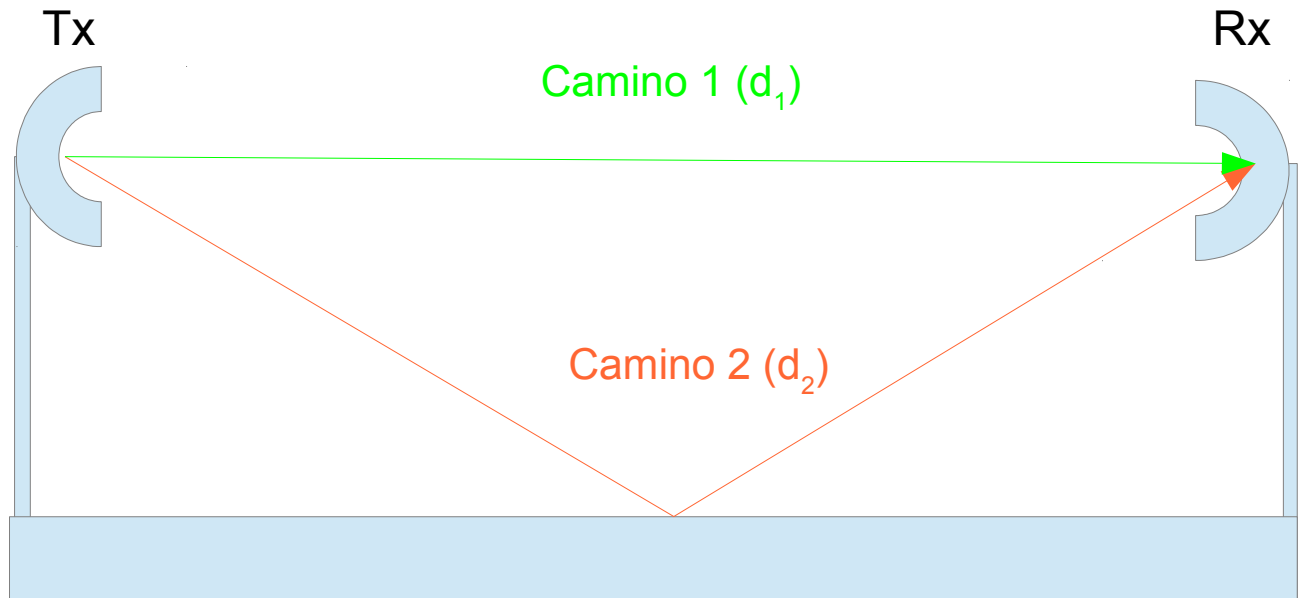


Figura 3.14: Escenario multitrayecto con dos caminos directo y reflejado.

La diferencia de fase (en radianes) entre las dos señales recibidas en el escenario de la figura 3.14 se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\Delta\theta = \frac{2\pi f}{c}(d_1 - d_2) = \frac{2\pi f}{c} \Delta d \quad (3.12)$$

Donde  $f$  es la frecuencia de la señal en Hz,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $d_1$  y  $d_2$  son las distancias en metros que recorre la señal en cada uno de los caminos.

En un entorno multitrayecto, varias versiones de la misma señal con diferentes fases y atenuaciones llegarán y se sumarán en el receptor debido principalmente a múltiples reflexiones y difracciones. Esta suma dará lugar a una señal distorsionada, que dependerá de las fases de cada una de las señales recibidas. Esta suma de fases puede tomar un valor entre  $-\pi$  ( $-180^\circ$ ) y  $+\pi$  ( $+180^\circ$ ), pudiendo incrementar la potencia de la señal original, pero pudiendo también empobrecer la calidad de esta, llegando a impedir una correcta comunicación. Los dos casos extremos se muestran en la figura 3.15, y son los siguientes:

- Las señales llegan en fase, es decir, diferencia de fase = 0 ( $0^\circ$ ), por lo que las señales se sumarán constructivamente.
- Las señales llegan en contrafase, con una diferencia de fase =  $\pm\pi$  ( $\pm 180^\circ$ ), y las



señales se sumarán destructivamente.

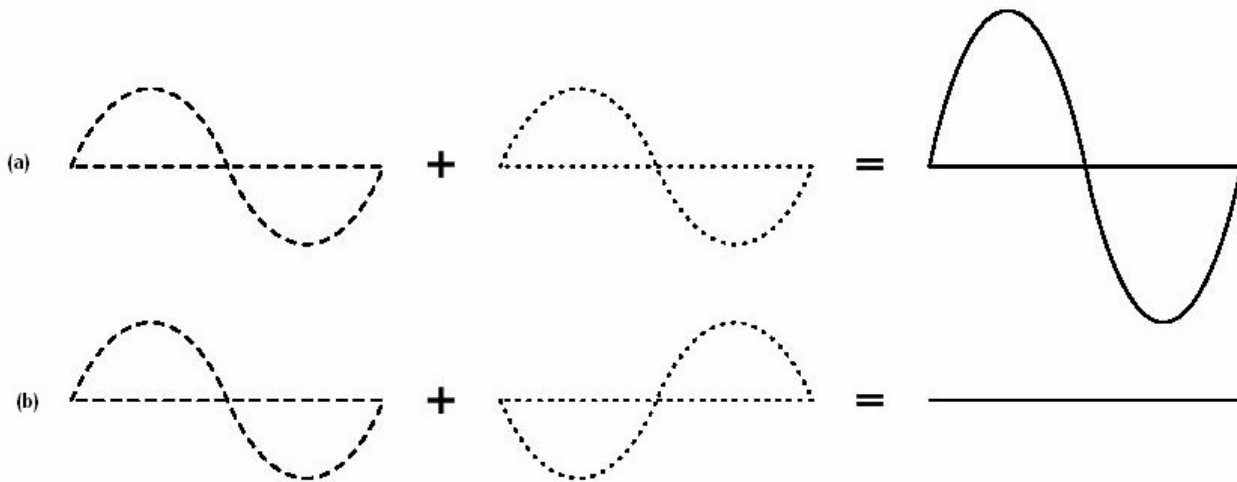


Figura 3.15: Suma de fases, (a) en fase, (b) en contrafase.

Por tanto, siempre existe la posibilidad de que en algunos lugares las señales que llegan se cancelen parcial o totalmente, impidiendo la transmisión de datos.

En los escenarios estudiados en este PFC se va a trabajar el caso estático, dado que en el simulador los objetos no se van a mover, y se procurara que en las medidas tampoco haya movimiento, a pesar de que es imposible. Que el escenario sea dinámico implica que el multitrayecto es aleatorio y no se puede saber a como se va a comportar. Se puede tratar de cualquier aportación entre fase y contrafase.

En general, se suman las componentes de la onda electromagnética que llegan con distintas fases, tiempos, etc. Las ondas electromagnéticas tienen dos componentes una correspondiente al campo eléctrico y otra correspondiente al campo magnético. Estos campos siempre son perpendiculares entre si, y ambos también son perpendiculares a la dirección en la que se propagan.

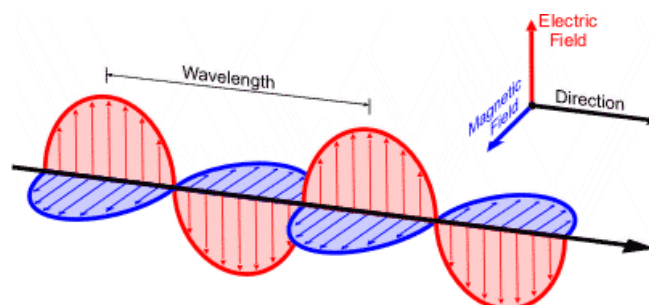


Figura 3.16: Onda electromagnética

Las componentes de una onda electromagnética se pueden expresar como:

$$\vec{E}(x, y, z, t) = \vec{E}(x, y) \cdot e^{-(\alpha + j\beta)z} \cdot e^{-2\pi f t} \quad (3.13)$$

$$\vec{H}(x, y, z, t) = \vec{H}(x, y) \cdot e^{-(\alpha + j\beta)z} \cdot e^{-2\pi f t} \quad (3.14)$$

Se suele hablar de potencia recibida, no del campo recibido, aunque las componentes de los campos son las que se suman físicamente. La relación entre los campos y la potencia es:

$$P = \frac{1}{2} \Re(\vec{E} \times \vec{H}^*) \quad (W/m^2) \quad (3.15)$$

Para obtener la potencia es necesario obtener la energía de una superficie.

### 3.2.5.1. Canales multitrayecto

Como ya se ha comentado, la propagación de las señales radioeléctricas a través de un medio depende de las características físicas del entorno. Estas características físicas suelen ser variables, por lo que la pérdida de la propagación es una variable aleatoria. Aunque la potencia media transmitida se mantenga constante, la variabilidad de la pérdida de la propagación hace que la potencia recibida sea también variable [2].

Los términos que se usan para el cálculo y caracterización de este multitrayecto son:

- *Delay excess*: se refiere a la diferencia de tiempo entre el primer y el i-ésimo eco que llega al receptor.

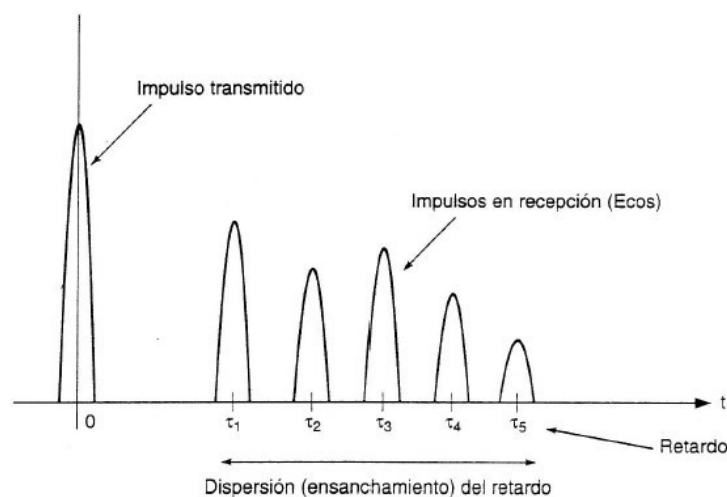


Figura 3.17: Ejemplo de un impulso transmitido y cinco ecos de diferentes amplitudes [1].

- *Delay spread* (DS): la dispersión del retardo que se obtiene a partir del *delay excess*.
- $B_C$ : es el ancho de banda de coherencia del canal, que mide el grado de correlación de

dos componentes de la señal transmitida separadas  $B_C$ .

- $B_T$  : es el ancho de banda de la señal transmitida.
- FSF (*Frequency Selective Fading*): Se refiere al desvanecimiento selectivo en frecuencia producido por los ecos, esto ocurre cuando  $B_T > B_C$  porque habrá componentes que se desvanezcan y otras que no. El otro caso es el desvanecimiento plano que ocurre cuando  $B_T \ll B_C$ , cuando las componentes espectrales de la señal están muy correladas entre si.
- *Doppler Shift*: desplazamiento Doppler se trata de la variación de frecuencia producida por el movimiento del terminal con respecto a la estación base.
- *Doppler Spread*: parámetro que se obtiene para caracterizar el conjunto de los *Doppler shift*.
- $T_C$  : tiempo de coherencia del canal, que es el tiempo en los que la señal ve el mismo canal antes de que el desplazamiento de la frecuencia lo haga cambiar.
- TSF (*Time Selective Fading*): es el desvanecimiento selectivo en tiempo producido por las variaciones de frecuencia.
- PDP (*Power Delay Profile*): se trata del perfil de retardo potencia que muestra la potencia de las distintas componentes multitrayecto que llegan a un mismo punto del espacio. Sólo se tienen en cuenta las componentes que están por encima del umbral de ruido NF (*Noise Floor*).

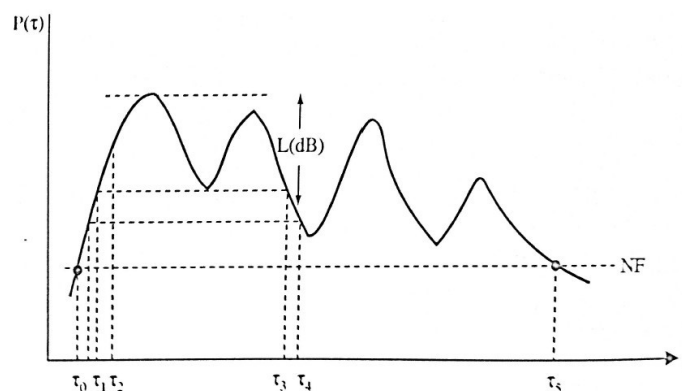


Figura 3.18: Ejemplo de perfil de retardo potencia.[2]

### 3.2.6. Resumen de los daños sufridos por propagación

Hasta ahora se han visto las distintas formas de propagación pero no como se comportan en conjunto al afectar a las señal a la señal recibida. Se pueden separar los efectos en “gran escala” y “pequeña escala”, el primero se ocupa de las largas distancias y el segundo de aquellos efectos que son notables a cortas distancias, considerando pequeñas distancias de  $5\lambda$  a  $40\lambda$  (a la frecuencia de  $2,4\text{ GHz}$  eso suponen de  $0,625\text{ m}$  a  $5\text{ m}$ ).

Los efectos incluidos en gran escala son las perdidas por propagación, modeladas por la ecuación de Friis (3.5), y el *shadowing* que son efectos creados por obstáculos en el camino. Por otra parte, en pequeña escala se refiere a los desvanecimientos o *fading*, producidos por el multitrayecto.

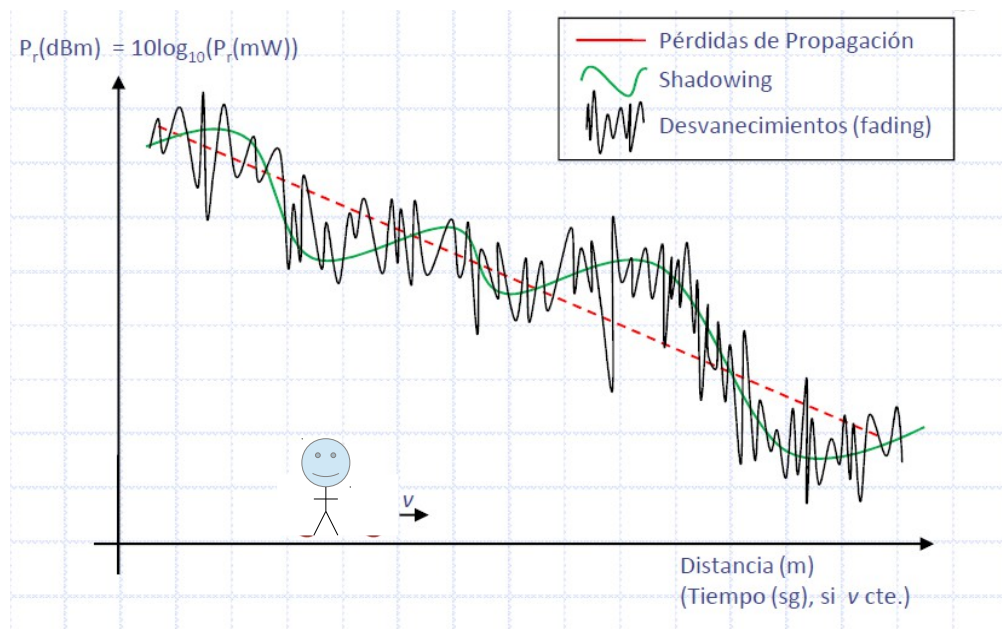


Figura 3.19: Potencia de la señal recibida "típica" con el sistema en movimiento.[22]

En la figura de la parte superior, se puede observar el desglose de los tres efectos mencionados. Donde el efecto real que se encuentra en un punto viene representado por la línea negra de los desvanecimientos.

### **3.3. Modelos De Propagación En Interiores**

Debido a que durante el estudio habrá escenarios en los que se requiera el uso de modelos de radiopropagación, concretamente el de trazado de rayos, en este apartado se hará una breve descripción sobre este tipo de modelos.

Un modelo de radiopropagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar y predecir las características radio de un entorno determinado. Este tipo de modelos se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o deterministas o una combinación de estos dos (semi-empíricos).

Los modelos empíricos o estadísticos basan sus predicciones en conjuntos de mediciones realizadas previamente. Los modelos teóricos lo hacen en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio. Por último, los modelos deterministas hacen uso de las ecuaciones de Maxwell para el cálculo computacional de las características de la propagación que se quieran estudiar. De este último tipo es el modelo de trazado de rayos.

#### **3.3.1. Modelos de propagación deterministas**

Estos modelos se basan en los principios fundamentales de la física relacionados con la propagación de ondas de radio. Toda la base teórica que gobierna estos fenómenos electromagnéticos está desarrollada a partir de las ecuaciones de Maxwell, que se pueden representar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\delta \vec{B}}{\delta t} \\ \nabla \cdot \vec{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0\end{aligned}\tag{3.16}$$

Usando (3.16) las cuatro Ecuaciones de Maxwell y las condiciones de contorno de cada uno de los elementos del escenario se pueden resolver todos los problemas electromagnéticos, obteniendo una solución concreta para cada punto del espacio. Las técnicas deterministas consiguen sus resultados resolviendo alguna aproximación a estas ecuaciones. Cabe destacar que a pesar de que parezcan ecuaciones sencillas, las expresiones que se derivan de ellas son muy complejas, y requieren gran carga computacional para poder resolverlas, ya que además deben ser aplicadas en todos los puntos del espacio, teniendo en cuenta todas las condiciones de contorno para cada punto.

### **3.3.2. Modelos de propagación empíricos**

Los modelos empíricos se basan en la extrapolación estadística de resultados a partir de medidas realizadas sobre el terreno. La influencia del entorno se tiene en cuenta de manera implícita en su conjunto, sin ser reconocidas cada una de ellas de manera aislada, siendo ésta la principal ventaja de estos modelos.

Existen una gran variedad de modelos para entornos exteriores, pero para los casos interiores no hay tanta variedad. En el foro de Acción Europea COST 231 se han propuesto 2 modelos. [2]

#### **3.3.2.1. Modelo 1**

Este modelo es el más sencillo y equivalente a la ecuación de Friis (3.5), pero ajustando la pendiente de caída. Es decir, aplicando la ecuación de Friis en espacio libre perdemos la mitad de la potencia cuando duplicamos la distancia, con el ajuste del modelo 1 perdemos más potencia con la misma distancia. La mayor parte de los datos para este modelo empírico se han obtenido en la banda de 1,7 a 1,9 GHz. [2]

#### **3.3.2.2. Modelo 2**

Este modelo es un poco más completo, tiene en cuenta explícitamente las atenuaciones producidas al atravesar paredes de distintos materiales. Según este modelo la expresión general de la atenuación para interiores es:

$$L(dB) = L_0 + 10 n \log d + \sum_{i=1}^I k_{fi} L_{fi} \sum_{j=1}^J k_{wj} L_{wj} \quad (3.17)$$

Donde:

- $d$  = Distancia (  $m$  ).
- $n$  = Índice de variación de la potencia con la distancia.
- $L_0$  = Pérdidas en un punto de referencia (  $1 m$  de distancia).
- $L_{fi}$  = Factor de pérdidas para el suelo de tipo  $i$  .
- $L_{wj}$  = Factor de pérdidas para una pared de tipo  $j$
- $k_{fi}$  = Número de suelos de tipo  $i$  atravesados.
- $k_{wj}$  = Número de paredes de tipo  $j$  atravesadas.

- $I$  = Número de tipos de suelos.
- $J$  = Número de tipos de paredes.

En este modelo  $n$  y  $L_0$  suelen tomar valores correspondientes al espacio libre  $n=2$   
 $L_0=37$ . [2]

### **3.3.2.3. Modelo UIT-R<sup>6</sup>**

Modelo que pretende ser una síntesis de los dos anteriores. En este modelo, la atenuación de propagación en interiores viene dada por:

$$L(dB)=38+30 \log d + L_f(n) \quad (3.18)$$

$L_f$  es un factor que recoge las pérdidas de penetración de paredes o suelos y se expresa como: [2]

$$L_f(n)=15+4(n-1) \quad (3.19)$$

### **3.3.3. Modelos de propagación basados en técnicas de trazado de rayos (Ray Tracing)**

Existen numerosas técnicas de modelado deterministas. Una de las más utilizadas en entornos interiores es la basada en Óptica Geométrica (*Geometrical Optics*). Las técnicas basadas en trazado de rayos se fundamentan en la aplicación de esta Óptica Geométrica.

Este método es uno de los más antiguos que se utilizan para alta frecuencia, ya que se desarrolló originalmente para analizar la propagación de la luz. En esta teoría se considera el transporte de energía en rayos, sin precisar si la energía se propaga en forma de ondas o de partículas. La teoría de la Óptica Geométrica se basa en los siguientes conceptos:

- Las líneas de flujo de energía o rayos son rectas en un medio homogéneo. En medios heterogéneos, siguen el camino de longitud mínima (principio de Fermat).
- Los rayos son reflejados por la superficie conductora según la ley de Snell. Por tanto, a un punto determinado llegarán únicamente los rayos provenientes de unos puntos de reflexión concretos, y no del resto de la superficie de los objetos.
- La variación de la amplitud del campo a lo largo del recorrido de los rayos está determinada por la ley de conservación de la energía.

<sup>6</sup> UIT-R: Unión Internacional de Telecomunicaciones sector de Radiocomunicaciones.

En estos algoritmos, la señal se propaga al igual que si fuesen rayos ópticos (aproximación del frente de onda), lo que hace que el análisis sea más sencillo. Los fenómenos que se contemplan en la propagación son principalmente la reflexión, refracción y difracción. Aunque también existen otros fenómenos como el *Scattering* (Dispersión) que algunos algoritmos también contemplan.

Uno de los principales modos de trazar los rayos es el método de lanzado de rayos. Este es el modo que se usa en el programa con el que se va a trabajar en este estudio [7]. Esta técnica, también conocida como *Ray Launching*, consiste en lanzar un número finito de rayos desde el transmisor. La distribución de los rayos en el ángulo sólido deseado debe ser uniforme, cubriéndolo en su totalidad.

Para cada rayo se consideran múltiples reflexiones y refracciones hasta alcanzar el receptor. El número de estas reflexiones y refracciones dependerá de la naturaleza de los obstáculos que encuentre en el camino y del nivel de la señal transmitida. La figura 3.20 se muestra un esquema de esta técnica.

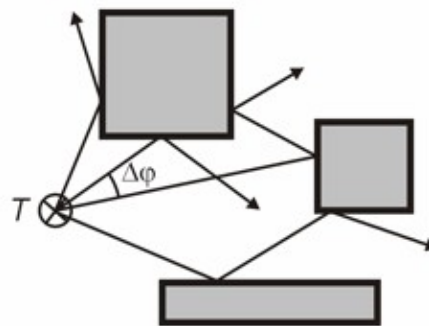


Figura 3.20: Método de “Ray Launching”.

Las soluciones que se obtienen con los modelos basados en Óptica Geométrica son relativamente simples, aunque la calidad de estos resultados depende del tamaño eléctrico de los objetos. Si son grandes, los resultados serán mejores.



### 3.4. Características Técnicas

En este apartado se va a hablar de tecnologías que nos pueden proporcionar resultados de localización. Se van a ver las características principales de tres tecnologías, Wi-Fi, RFID y por último ZigBee. Esta tecnología, a pesar de que no se va a tener en cuenta para la solución de localización de este PFC, ya que la tecnología no está suficientemente madura, se estudiará brevemente como línea futura.

#### 3.4.1. Wi-Fi

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) es equivalente a decir estándar del IEEE 802.11, aunque a lo largo de los años el estándar 802.11 ha ido mejorando para dar mayores velocidades y mejores servicios, fue introducido por primera vez en 1997.

Los más extendidos en la actualidad son IEEE 802.11b y 802.11g trabajando en la banda de 2,4 GHz en Europa y el protocolo 802.11a en EEUU trabajando a 5 GHz. 802.11n es la última versión de estos protocolos, compatible con todos los anteriores y que consigue velocidades de hasta 100 Mbps<sup>7</sup>.

Las redes Wi-Fi siguen un estándar centralizado, basado en un punto de acceso (AP= "Access Point") al que se conectan los usuarios de la red, como se muestra en la figura 3.21. Eso suele bastar para viviendas, pero para cubrir áreas mayores también se contempla el caso de varios APs, en la figura 3.22 se muestra como hay varios APs dando servicio interconectados entre ellos en la misma red de área local. De hecho para cubrir todo el recinto de Urgencias se necesitará una red con bastantes puntos de acceso.

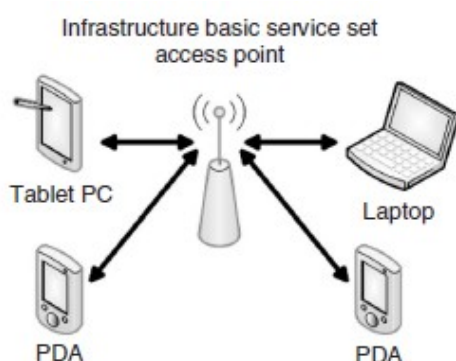


Figura 3.21: Configuración con un solo punto de acceso. [5]

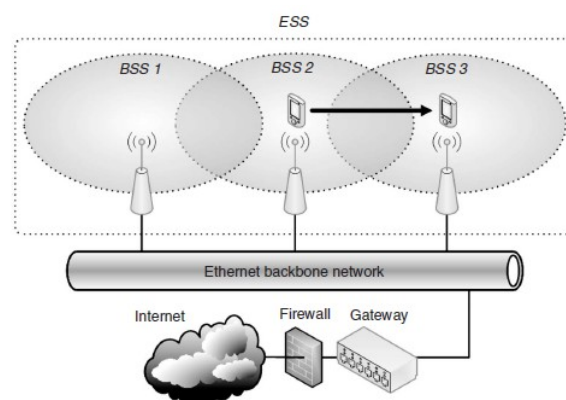


Figura 3.22: Configuración de una red con varios puntos de acceso.[5]

<sup>7</sup> bps es la abreviatura de bits por segundo, que es la forma de medir la velocidad de transmisión de la información digital. M se le mega y equivale a decir un millón de bps (más o menos, ver nota 8)

Este estándar se basa en el protocolo de área local de Ethernet (802.3), que es el más extendido a nivel de redes área local cableadas (LAN= “Local Area Network”), razón por la cual se llama también WLAN (*Wireless LAN*) al estándar 802.11.

El protocolo de acceso al medio es CSMA (Carrier Sense Multiple Access), que significa que antes de usar el canal mira si hay alguien más usándolo, y si está en uso espera para volver a mirar y si está libre lo usa.

Como funciona en una banda libre, es decir, que cualquiera puede usarla, hay que evitar interferir con el resto de las aplicaciones que funcionan en la misma banda frecuencial (Bluetooth, ZigBee, etc.). Con ese objetivo, utiliza técnicas de ensanchamiento del espectro (*Spread Spectrum*), que consisten en ocupar más ancho de banda con potencias más bajas para que interfiera menos con otros receptores. [5]

### 3.4.2. RFID

RFID (“*Radio Frequency Identification*”) es una tecnología básicamente de captura e identificación automática de información contenida en etiquetas, también denominados tags o transpondedores. En la figura 3.23 se muestra el caso pasivo, es decir el tag es un elemento sin fuente de energía propia, usa la energía que recibe con la petición de información del lector.

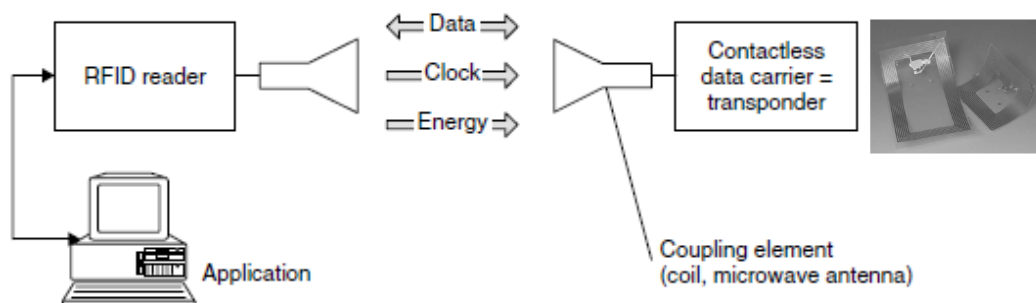


Figura 3.23: Funcionamiento de un par lector transpondedor RFID. [5]

Como se muestra en la figura 3.24 los tags más simples están compuestos únicamente por una antena y un chip para la memoria y el circuito mínimo para que funcione.

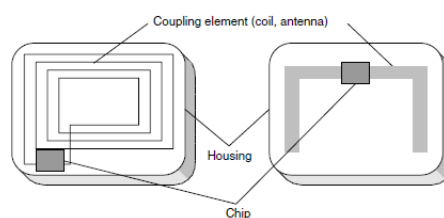


Figura 3.24: Esquema de una etiqueta RFID, una antena y un chip con la información. [5]

RFID tiene multitud de formatos, con aplicaciones tan conocidas como la seguridad de los supermercados. Funcionan desde frecuencias de  $135\text{kHz}$  hasta  $5,8\text{GHz}$  y con capacidad para interrogar de distancias de  $1\text{cm}$  a  $15\text{m}$ . Pero en el caso que nos ocupa se van a emplear el rango frecuencial de  $868\text{MHz}$ . Los tags RFID contienen muy poca información, de 16 a 64 kbits<sup>8</sup> y el tiempo de lectura es de 0,5 segundos que para la aplicación de localización que se esta buscando está muy bien. A pesar de que hoy en día una memoria con capacidad en el rango de kbits es ridícula, ya que en la calle se habla de capacidades de Gbits o Tbits. Aunque, para la aplicación que nos ocupa esa capacidad es más que suficiente, porque solo es necesario almacenar la un identificador distinto para cada paciente, que puede ser el número de historia clínica, por ejemplo.

Las etiquetas también podrían ir alimentadas, por una batería, en ese caso podría transmitirle información al lector desde mayores distancias, pasando de  $3\text{m}$  a  $15\text{m}$ , en la frecuencia de interés. De todas maneras, la alimentación lo único que mantiene es el circuito de la etiqueta todas las transmisiones se hacen por la energía recibida del lector. [5]

### **3.4.3. ZigBee**

Tecnología inalámbrica de corto alcance y bajo consumo con el objetivo de aplicaciones en el hogar de seguridad y automatización. ZigBee basa su tecnología inalámbrica en las bandas frecuenciales de  $868\text{MHz}$ ,  $915\text{MHz}$  y  $2,4\text{GHz}$ . La tasa máxima de transferencia es de  $250\text{kbps}$ . El bajo consumo se consigue de que, en la mayoría de las aplicaciones de ZigBee, los dispositivos están la mayor parte del tiempo en modo ahorro de energía. Como resultado los aparatos pueden estar funcionando años sin necesidad de cambiar la batería. El estándar que regula la tecnología es el IEEE 802.15.4, y los creadores de la misma son ZigBee Alliance.

Se distinguen dos tipos de dispositivos, lo que tiene funcionalidad reducida, RFD (*“Reduce-Function Device”*) y los que tienen funcionalidad completa, FFD (*“Full-Function Device”*). Además uno de los FFD de la red hace la función de coordinador de la PAN (red de área personal), dándole el nombre de PANC, es decir, coordinador de la red de área personal. Estas redes pueden tener dos topologías: en estrella o igual a igual. En la figura 3.25 se muestran las dos topologías.

---

<sup>8</sup> 1 kbits = 1024bits, 1 Mbits= 1024 kbits, 1 Gbits = 1024 Mbits y 1 Tbits= 1024Gbits.

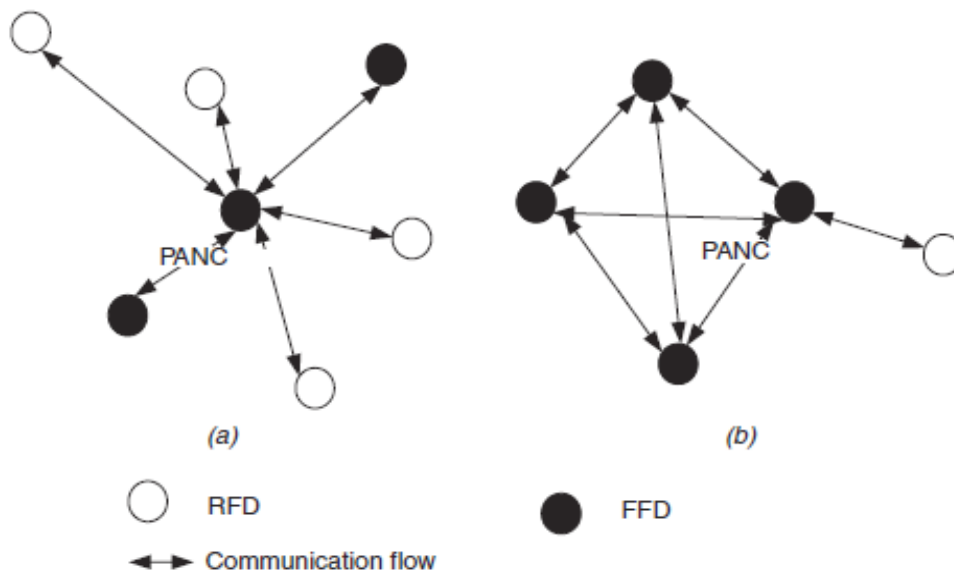


Figura 3.25: Topologías de red: (a) estrella; (b) igual a igual.[4]

El objetivo de esta tecnología es hacer redes de sensores trabajando en equipo, como si fuese una colmena de abejas, que es el origen del nombre ZigBee.

### 3.4.4. Comparativa

Un resumen comparando las tres tecnologías vistas:

	Wi-Fi	RFID	ZigBee
Velocidad de transmisión	100 Mbps máximo	Muy baja	250 Kbps máximo
Frecuencia de operación	2,45 GHz o 5 GHz	130 kHz, UHF <sup>9</sup> , 2,45 KHz	2,45 GHz
Consumo energético	Alto	Bajo o nulo	Muy bajo
Número de dispositivos	Moderado	Muy alto	Alto

Tabla 3.1: Comparativa de tecnologías inalámbricas.

9 UHF ("Ultra High Frequency") es la banda frecuencial que abarca desde 300 MHz a 3000 MHz.

### 3.5. ¿Qué Sistemas Hay?

En este apartado se va a intentar dar una visión general de lo que se ha hecho hasta ahora de la localización de pacientes en entornos Hospitalarios. Estos sistemas están implementados basándose en distintas tecnologías inalámbricas, que se acaban de exponer en el apartado anterior.

#### 3.5.1.

[12] La solución propuesta por AeroScout® basa la infraestructura de red en una red inalámbrica Wi-Fi estándar. Aunque la localización se hace por RFID o GPS en el exterior.



Figura 3.26: Solución de control y localización de AeroScout® [12]

Esta empresa ofrece un servicio de integración de todos los sistemas incluyendo control de temperatura y humedad, además de la localización de pacientes y del material hospitalario, el cual suele tener un alto coste y es mejor tener bajo control.

Teniendo todo bajo control es más fácil saber que recursos se están usando y cuales no, así se puede planificar mejor y se aprovechan mejor los recursos.

Como muestra el esquema de la figura 3.26, una red de etiquetas y sensores cubren todo el entorno, esas etiquetas aportan información a una red Wi-Fi, que usa un software de localización para situar todo. Para mostrar todo lo que hay en el sistema usan otro software al que llaman AeroScout MobileView y toda la información se almacena integrada en unos servidores<sup>10</sup>.

### 3.5.2. ekahau

[10] Esta empresa propone una solución de localización sobre la red Wi-Fi existente. La clave reside en el tag Wi-Fi que usan [11]. La pulsera es resistente al agua, tiene un botón de crisis para que los pacientes puedan alertar al servicio medico en cualquier momento. Soporta los protocolos 802.11b/g/n. Se muestra la imagen de la pulsera en la figura 3.27.

La localización es tanto en entornos interiores como en exteriores, con una resolución de posición menor de 1 metro incluso con baja cobertura. Ofrecen también un servicio de alertas si los pacientes salen de las zonas asignadas.



Figura 3.27: Imagen de la pulsera de ekahau [10].

### 3.5.3. treelogic RFID

[25] Al proyecto concreto le han dado el nombre de SIGHT, que es una solución de localización basada en RFID. Esta solución pretende integrar la localización tanto de pacientes como de material. A los pacientes se les entrega una pulsera con un tag RFID integrado. Las pulseras son desechables, y el coste por pulsera es mínimo, las cuales se imprimen con una impresora especial.

Para que la localización funcione es necesario situar lectores por el edificio, estos lectores son los que se llevan la mayor parte del coste de la instalación del sistema.

Los lectores unifican en un servidor la información obtenida, a la cual se puede acceder bajo medidas de seguridad.

<sup>10</sup> Servidores: se les llama a aquellos ordenadores de la red que provee de algún servicio a otros ordenadores, por ejemplo, el almacenamiento de datos.

Esta empresa ofrece como servicios adicionales, un sistema para informar a los familiares de la localización del paciente, también control de acceso a ciertas áreas que necesiten más seguridad. Incluyen también en servicios adicionales un software de asignación semiautomática de pacientes a los médicos.

Este sistema se implanto en el Hospital de Cabueñes en Gijón, pero actualmente no esta funcionando.

### **3.5.4.** TECNOLOGÍAS PARA LA SALUD Y EL BIENESTAR

[13] La solución propuesta por esta empresa se llama SPHERAhospital, esta está basada en tecnología ZigBee. La gran ventaja del uso de ZigBee frente a Wi-Fi es la duración de la batería, que en este caso llega a un años según los fabricantes. Las pulseras son reutilizables, no desechables.

Al igual que en otros casos vistos, ofrecen servicio de información a familiares. Como novedad, se les puede asignar a cada uno de los pacientes un área en el que pueden moverse (dentro de una planta, por ejemplo) y se da aviso si sale de ella.

Las pulseras de los pacientes se complementan con dispositivos lectores que pueden llevar el personal del hospital para identificar a los pacientes, para evitar errores en la administración de medicamentos, por ejemplo.

### **3.5.5. Universidad de Salamanca**

[9] Un grupo del departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca realizó en 2007 un estudio sobre localización mediante RFID en residencias geriátricas de Salamanca.

*“ALZ-MAS (Corchado, et al., 2007; Tapia, et al., 2006) es un sistema multiagente desarrollado con el objetivo de mejorar la eficiencia de los servicios de asistencia y los cuidados médicos en residencias geriátricas, incrementando la calidad de vida de los pacientes. El sistema se desempeña en entornos altamente dinámicos, automatizando algunas de las funciones que se desarrollan en una residencia geriátrica, como es el caso de la monitorización de pacientes, de forma automática y en tiempo de ejecución. ALZ-MAS hace uso de tecnologías Wi-Fi e identificación por radiofrecuencia (RFID).” [9]*

En la figura 3.24 se muestra el esquema básico de comunicaciones de ALZ-MAS, que consiste en localización por RFID a los pacientes, mediante lectores, llevar esa información a un servidor central y distribuir esa información mediante puntos de acceso Wi-Fi a los dispositivos

PDA del personal del geriátrico.

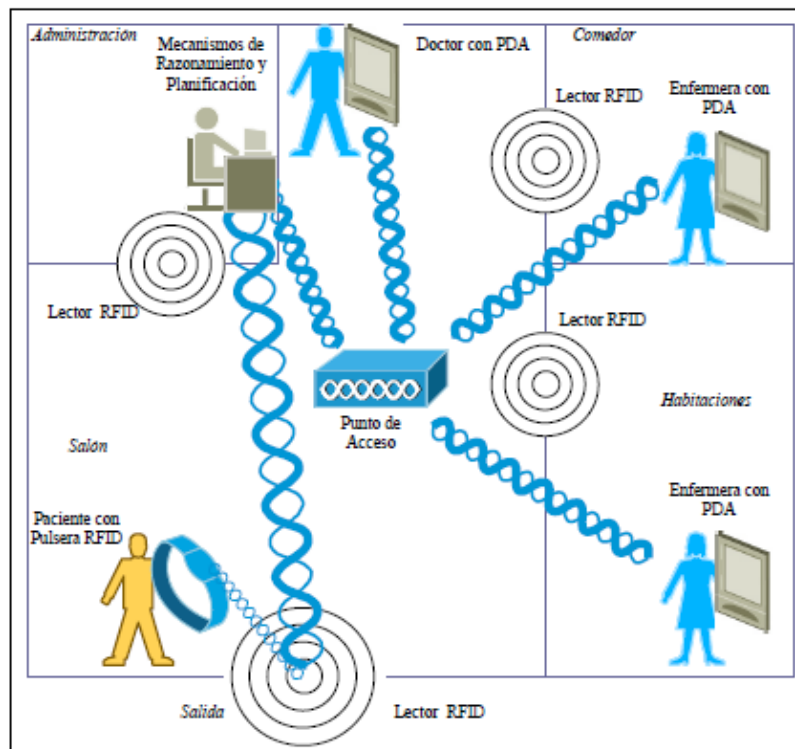


Figura 3.28: Esquema básico de comunicaciones en ALZ-MAS.[9]

El sistema incluye alertas por localización en zonas no autorizadas.

El resumen de los datos obtenidos en el estudio se muestran en la parte inferior, donde se muestra en tiempo empleado por las enfermeras antes y después de la implantación del sistema (figura 3.29). Mientras que en la figura contigua se muestra las situaciones de riesgo que se podían detectar antes y las que se pueden detectar después de la implantación.

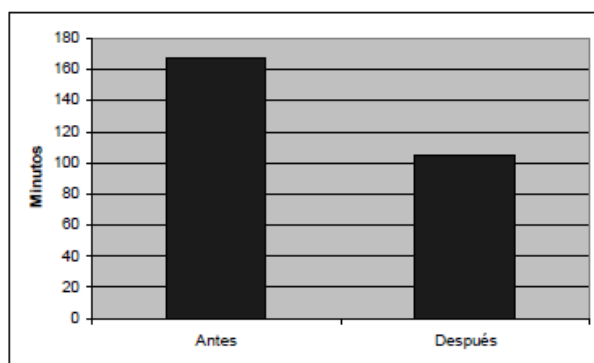


Figura 3.29: Tiempo empleado por las enfermeras en la monitorización de pacientes, antes y después de la implementación de ALZ-MAS [9]

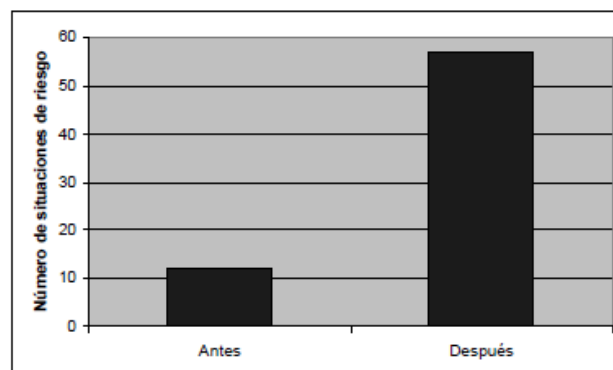


Figura 3.30: Situaciones de riesgo detectadas antes y después de la implementación del sistema [9]

La conclusión es que la seguridad de los pacientes ha aumentado y se desperdicia menos tiempo en localizar a los pacientes.



### 3.5.6. indooratlas

[21] Este sistema no está dirigido a la localización de pacientes, pero resulta interesante comentarlo por la originalidad del método que emplean. Este sistema, desarrollado por investigadores de la Universidad Finlandesa de Oulu, utiliza la brújula digital integrada en los *smartphones* para localizarse dentro de un edificio.



Figura 3.31: Representación del campo magnético terrestre dentro de un edificio.[21]

La brújula detecta los campos magnéticos de la tierra, pero estos campos se ven alterados por los objetos metálicos existentes en los edificios. Lo cual, se puede considerar a priori una desventaja si el objetivo es utilizar la brújula como tal, pero las alteraciones son únicas y permiten crear un mapa de patrones con ellas.

Han desarrollado un sistema que permite, una vez cargado el mapa del edificio con su patrón de interferencias, localizar dispositivos con una precisión de entre 0,1 m y 2 m .

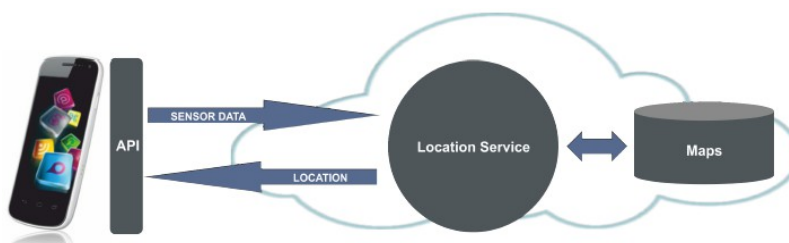


Figura 3.32: Bloques del sistema de localización de indooratlas [21]

Esta idea ha creado una empresa, en la que se ha desarrollado un software para *smartphones* que permite crear mapas de edificios, al recorrerlos con el móvil memoriza el patrón de campo magnético y a partir de ahí se podría localizar en ese edificio cualquier dispositivo con el software instalado. Una vez que la información sobre el edificio se ha guardado en los servidores, a los que se accede a través de internet, el modo de funcionamiento es el que se muestra en la figura 3.32. Es decir, el sensor del dispositivo recoge la información y se la envía al servidor de localización y este contesta con la posición sobre un mapa.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Descripción Del Escenario

Como se ha mencionado en la introducción el escenario que hay que caracterizar en este proyecto consta de  $3000 m^2$ , pero esa no es la única razón por la que el escenario es complejo, también entran en juego los diversos tipos de materiales de los que se compone y que haya salas aisladas para evitar la radiación al exterior.

El software utilizado para analizar el escenario se basa en el trazado de rayos, y fue desarrollado en la Universidad Pública de Navarra por Fermín Esparza [7]. Hay que mencionar que nunca se había intentado analizar un escenario tan grande con este programa, analizarlo ha supuesto probar la capacidad del algoritmo.

El escenario que muestra el plano de la figura 4.1, es la planta baja del edificio y sobre la que se ha trabajado. Como era inviable introducir el escenario directamente para analizarlo, se ha dividido en 8 zonas conectadas entre ellas, distribuidas como se muestran en la figura 4.2. Esta separación por zonas ha creado algún problema a la hora de analizar los datos, pero incluir todo el escenario simultáneamente en el simulador habría supuesto otro tipo de problemas. El primer problema habría sido complicar aún más la introducción de la información sobre el escenario en el simulador, puesto que todo se introducía por rectángulos con una cierta altura y referenciados al punto de origen de la zona. Otro problema creado por no separar por zonas habría sido el tiempo de cálculo del simulador, puesto que no se habría podido separar para reducir el coste computacional. Simular dos habitaciones medianamente grandes (superficie de  $950 m^2$  aproximadamente) costaba unas 8 horas, simular el escenario completo como una sola habitación supondría muchas más horas de cálculo sobre  $3660 m^2$ . Son más que la planta del edificio

porque las peculiaridades del software de simulación nos impide quitar en ese caso las zonas que quedan fuera del edificio pero dentro del rectángulo.

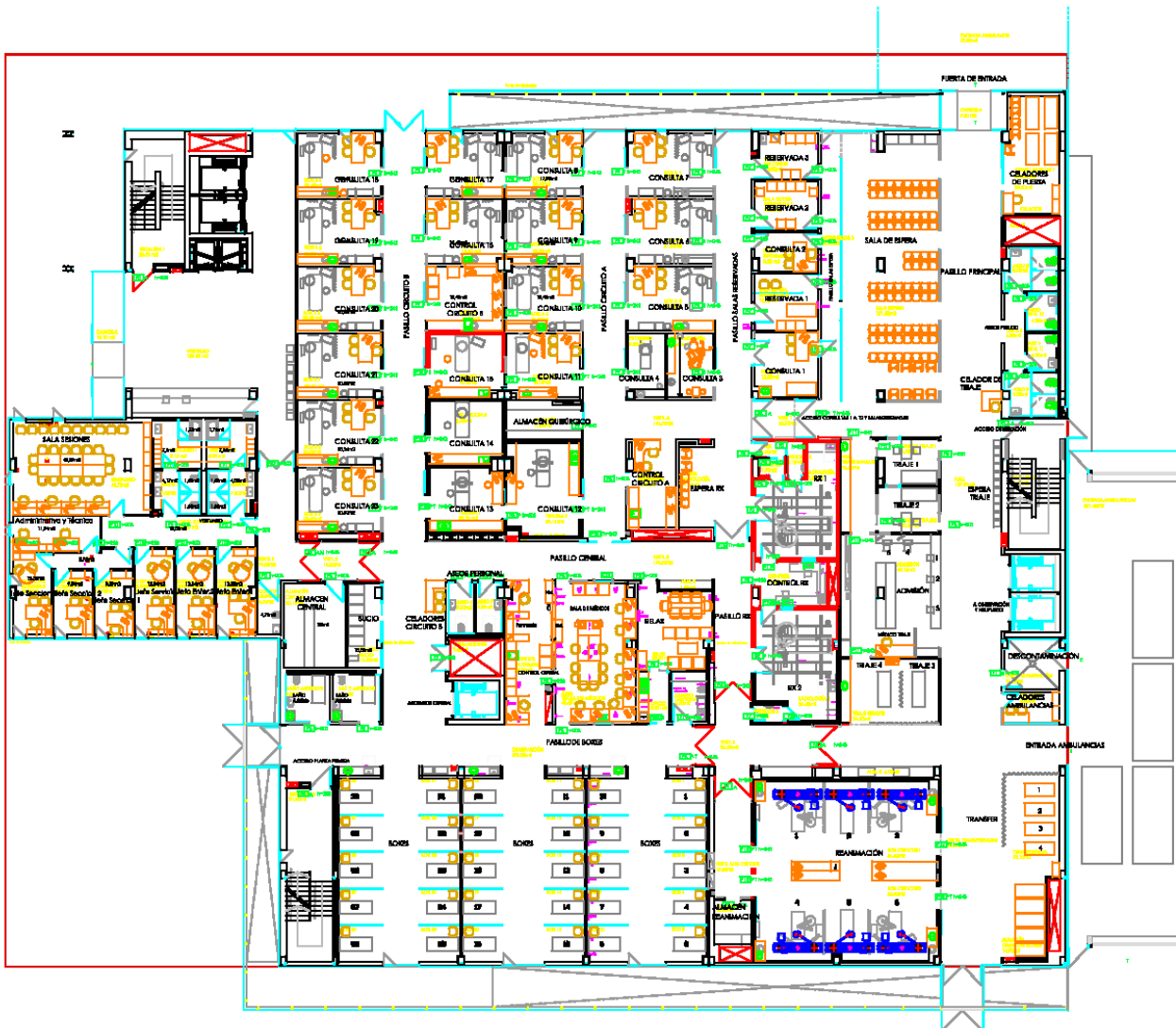


Figura 4.1: Plano de la planta baja del edificio (para más detalles acudir a la pag. )

Las zonas están escogidas de forma arbitraria, pero procurando que tengan alguna lógica, aunque en algunos casos ha sido completamente imposible, por ejemplo, el pasillo principal está dividido en tres zonas distintas. A continuación, esta expuesta una pequeña idea de lo que contiene cada una de las zonas y cuales son las necesidades de localización de las misma. Más adelante, se dan más detalles sobre el escenario describiendo las zonas con sus correspondientes representaciones en tres dimensiones.

La zona 1 abarca las salas de boxes<sup>11</sup>, que son tres salas idénticas con capacidad para 10 camillas cada una, en condiciones normales, ampliable en caso de necesidad. Eso quiere decir

<sup>11</sup> Los boxes son áreas polivalentes de de espera de pacientes en camillas. En caso de saturación del servicio de urgencias también podrán emplearse como lugares de exploración y consulta.

que la localización en esas salas tiene que tener un error menor a un metro.

En la zona 2 está incluida la sala de reanimación con 6 puestos y parte del acceso desde las ambulancias. Hay que tener en cuenta que la sala de reanimación está plomada, lo que implica que atenúa las ondas electromagnéticas. Los requisitos de localización en la sala no son muy exigentes solo saber si el paciente está dentro o no. En cuanto al pasillo, se va a considerar en general que la exigencia de precisión en la localización en los pasillos sea menor de 2 o 3 metros.

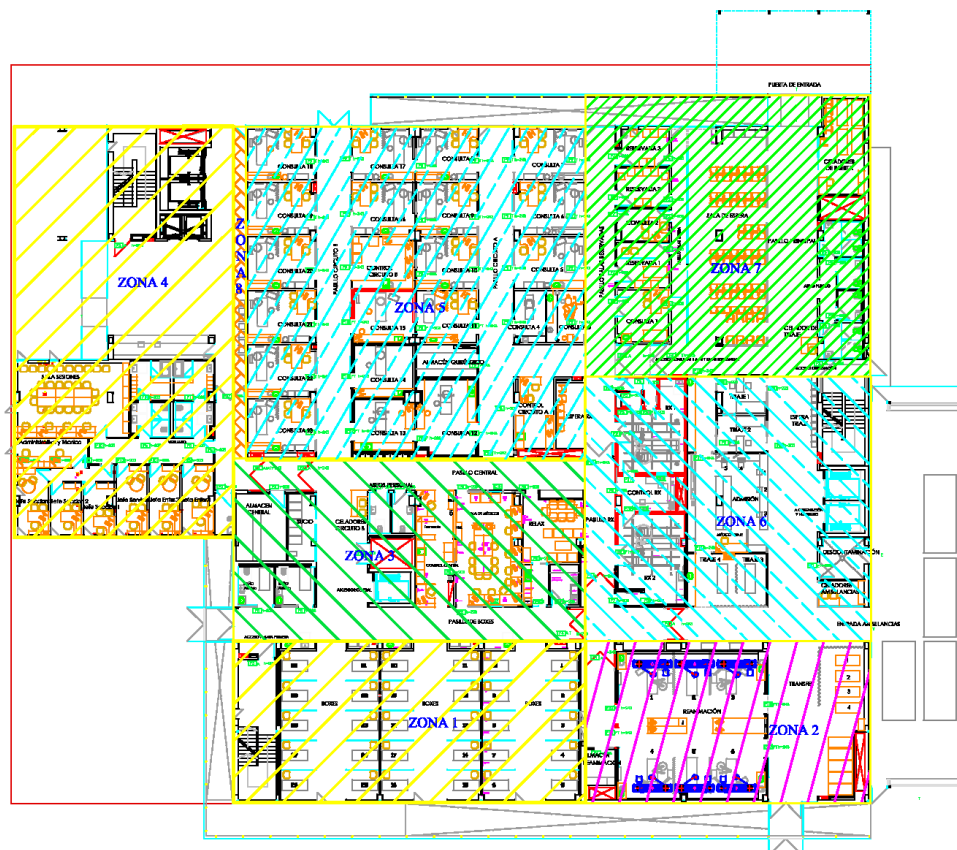


Figura 4.2: Plano planta baja con la separación por zonas

La zona 3 incluye varios pasillos y distintas salas de personal, en estas últimas no se considera necesaria la localización.

La zona 4 consta de un vestíbulo de entrada, por el que en teoría no pasan los pacientes, y despachos. Por lo tanto, las consideraciones de localización en esta zona será vigilar si alguien entra o sale por esa puerta, pero sin demasiada precisión.

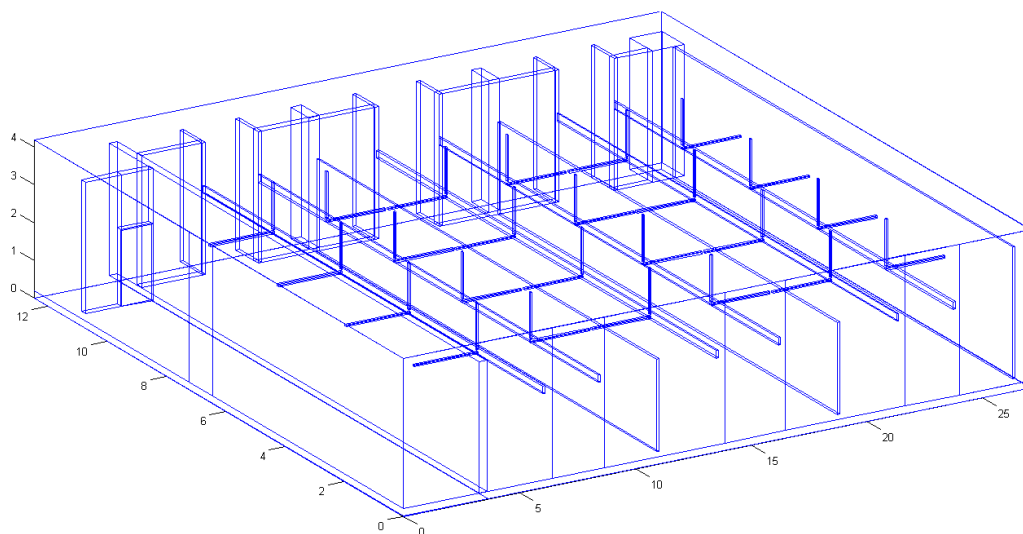
La zona 5 abarca casi todas las consultas y varios pasillos, en las consultas lo que se quiere saber si el paciente esta dentro o no, sin necesidad de saber en que punto exacto de las consulta se halla.

La sexta zona incluye las salas de rayos (aisladas con plomo), admisión<sup>12</sup>, triaje<sup>13</sup> y pasillos. En las salas de rayos basta con saber si el paciente se encuentra allí o no, en el caso de admisión y triaje no es necesario localizar al paciente, puesto que como acaba de llegar está localizado.

La zona 7 abarca principalmente la sala de espera. Ésta exige localización muy general, basta con saber si el paciente se encuentra o no dentro de la sala de espera. Eso si habrá que tener en cuenta a la hora de diseñar la localización que va a ser la sala con más pacientes a localizar. Además se ha considerado en esta zona algunas consultas más y la entrada principal.

La zona 8 es simplemente una maniobra para solucionar algunos problemas surgidos con el simulador, en realidad pertenece a la zona 4.

Estas zonas han sido caracterizadas en tres dimensiones, aunque sin mobiliario porque las mediciones también se iban a realizar con el edificio vacío. A continuación se van a mostrar las zonas en tres dimensiones según han sido introducidas en el simulador. Para situar las imágenes en tres dimensiones en el plano, el punto de origen de cada una de las zonas está en las esquina inferior izquierda del plano.

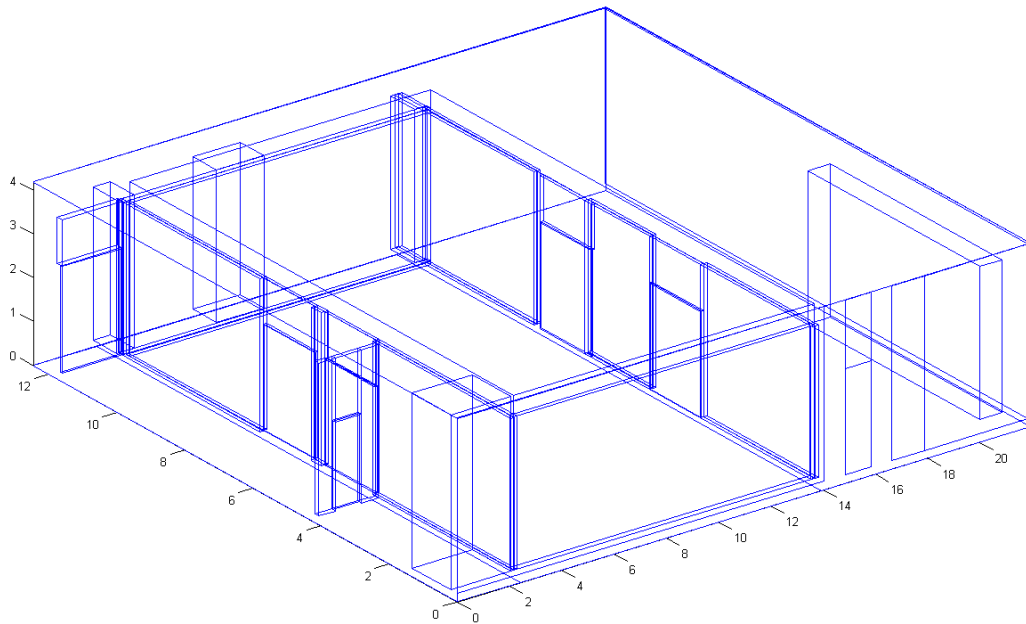


*Figura 4.3: Zona 1 en tres dimensiones.*

En la zona 1 están las tres salas amplias para camillas y a la izquierda el hueco de las escaleras. En la partes superior tiene barras metálicas, se ven en la foto de la figura 4.18.

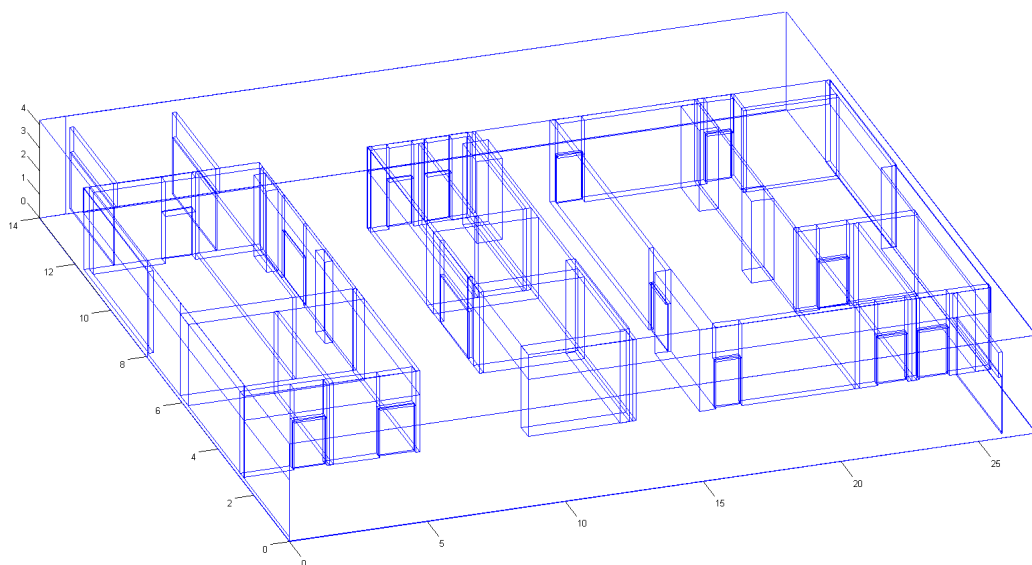
12 Admisión: Es donde se atiende a los pacientes por primera vez y será donde se les entreguen los terminales de localización

13 Triage: Lugar en el cual se evalúa las necesidad de atención de los pacientes, para asignarles prioridad (del 1 muy alta, atender de inmediato, a 6 muy baja, puede esperar) y las pruebas necesarias



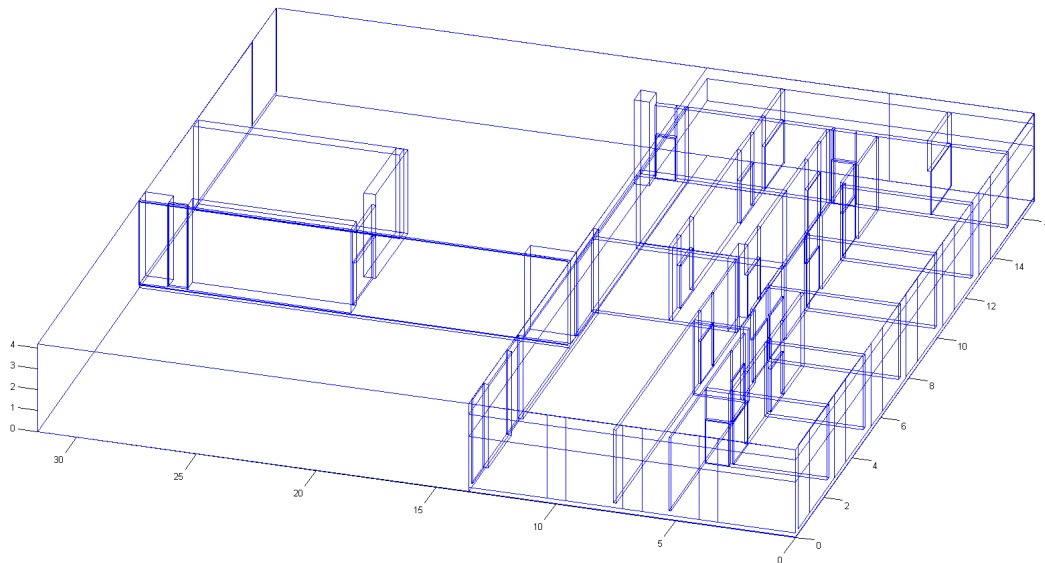
*Figura 4.4: Zona 2 en tres dimensiones.*

En la figura superior se muestra la zona 2, en la cual la sala central es la sala de reanimación con doble muro para simular el efecto de una habitación plomada. La parte derecha corresponde al final del pasillo principal, el cual se estudiará en el PFC. La parte inferior derecha es un almacén junto a un pasillo.



*Figura 4.5: Zona 3 en tres dimensiones.*

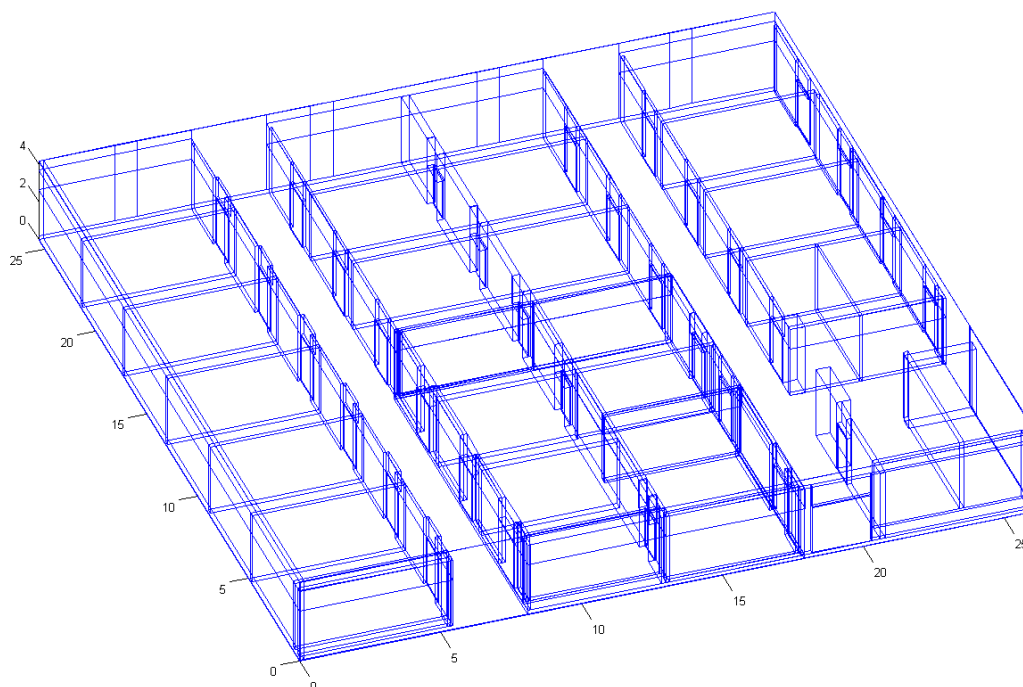
En la figura 4.5 esta representada la zona 3, la cual incluye en la parte superior e inferior pasillos. En la parte izquierda, junto al pasillo inferior, hay dos aseos. También en la parte izquierda, accediendo desde el pasillo superior esta el almacén central y la cuarto de sucio<sup>14</sup>. A la izquierda se encuentran las distintas salas de personal, el control central y la farmacia. Por último hay aseos para el personal, el ascensor central y sala de conducciones.



*Figura 4.6: Zona 4 en tres dimensiones.*

La figura 4.6 representa la zona 4, en la parte derecha de la figura hay una sucesión de despachos. Junto a ellos una sala más amplia para reuniones, en la parte superior de ésta hay aseos. El amplio hueco de la parte inferior izquierda es el exterior del edificio, incluido en el simulador porque la sala completa debía ser rectangular. El espacio en forma de “L” es un vestíbulo, y el rectángulo aislado es el hueco de los ascensores.

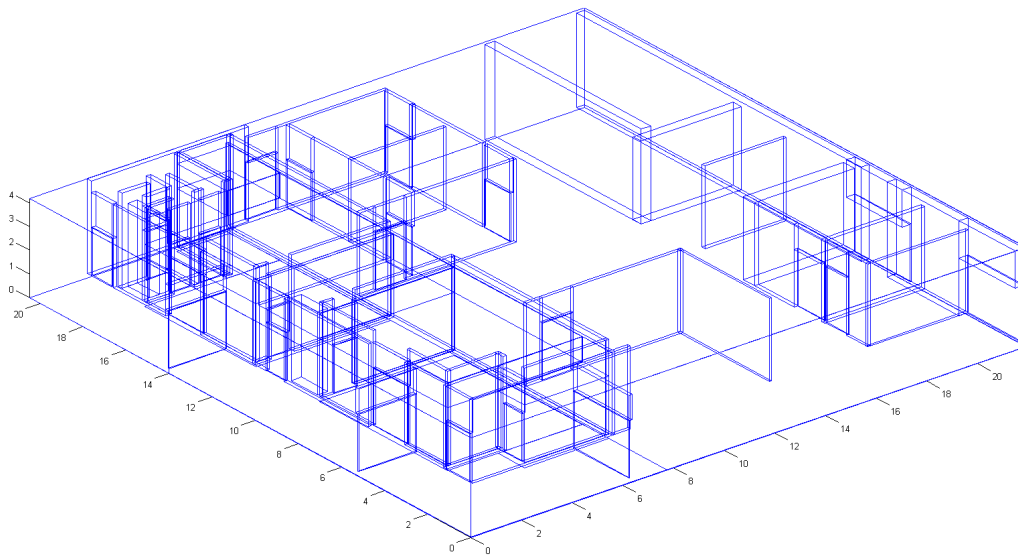
<sup>14</sup> Cuarto de sucio: donde se guarda todo el material que debe ser lavado y se limpia



*Figura 4.7: Zona 5 en tres dimensiones.*

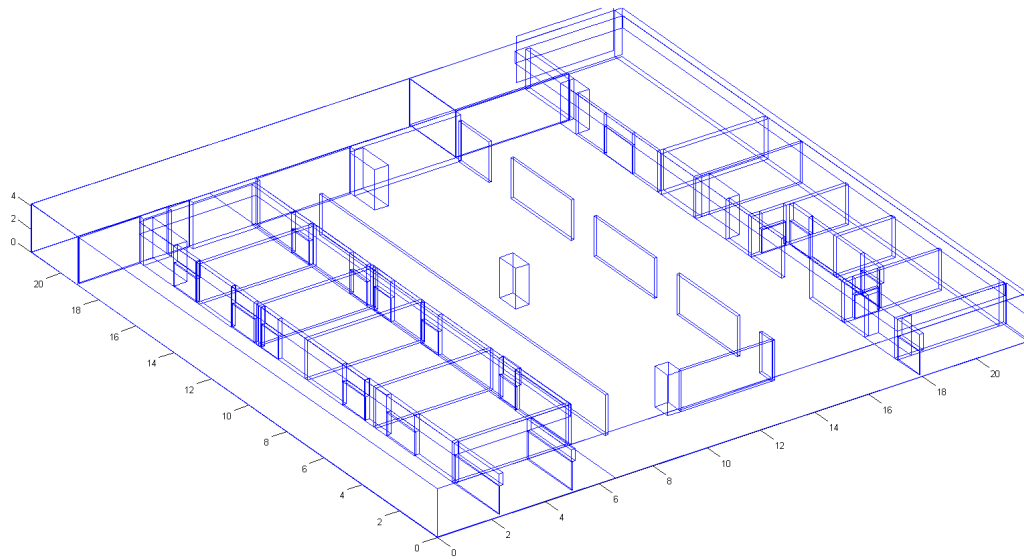
En la figura 4.7 está representada la zona de consultas que es la quinta. El pasillo de la izquierda es el circuito B, para pacientes graves, y el de la derecha es el circuito A, para pacientes leves. Las consultas centrales de la parte inferior están plomadas porque corresponden a las consultas de traumatología, en las que ocasionalmente se puede introducir aparatos de rayos para hacer radiografías. El hueco de la parte inferior derecha es el control de enfermería del circuito A.





*Figura 4.8: Zona 6 en tres dimensiones.*

La figura 4.8 corresponde a la representación de la zona 6, tanto el lado izquierdo como la parte inferior de la imagen representan a dos pasillo con puertas en medio. Las habitaciones que quedan más a la izquierda son las salas de rayos, las cuales están plomadas y para representarlo hay una maraña de muros de distintos materiales, por lo que no se ve muy claro en la imagen. Las salas centrales de arriba y abajo son las de triaje, el espacio entre ellas corresponde a la zona de admisión, sin amueblar. En la esquina inferior derecha está la puerta de entrada desde las ambulancias, junto a ella una sala para los celadores. Siguiendo hacia la parte superior está la sala de descontaminación, es una sala con entrada directa desde la calle. En la parte superior derecha se encuentra el hueco de las escaleras y los ascensores.



*Figura 4.9: Zona 7 en tres dimensiones.*

En la figura 4.9 está representada la zona 7 en tres dimensiones, en la parte izquierda de la figura hay unos habitáculos que corresponden a consultas con puerta a ambos lados, el espacio vacío corresponde a un pasillo, al igual que la parte inferior. El espacio central rodeado con paredes delgadas de cristal es la sala de espera principal. El espacio entre la sala de espera y las siguientes habitaciones corresponde al principio del pasillo principal. La habitación de arriba a la derecha es la sala de los celadores junto a la puerta principal. Por último las habitaciones de abajo a la derecha corresponden a los aseos.

## **4.2. Resultados De Simulaciones Y Mediciones**

En este apartado se describen los procedimientos seguidos para hacer las medidas en cada uno de los escenarios analizados. También se muestran los datos obtenidos en dichas medidas comparándolos con los obtenidos de las simulaciones del escenarios con el software de trazado de rayos.

Se estudiará también en este apartado, la información sobre el escenario que proporciona únicamente la simulación, como los perfiles de retardo potencia y los planos bidimensionales con información sobre la potencia de todos los puntos.

### **4.2.1. Metodología empleada en las medidas**

El método era simple, un generador, emitiendo un tono de alguna de las tres frecuencias estudiadas, con su correspondiente antena y en el otro extremo otra antena con un medidor de potencia recibida.

La función de generador la cumplía un analizador de espectros “Agilent CSA Spectrum Analyzer N1996A” [23] (figura 4.10) , este se sintonizaba a la frecuencia de resonancia de cada una de las antenas empleadas. Se muestran en la siguiente tabla las antenas empleadas, su frecuencia de resonancia y en cual de los escenarios han sido utilizadas.



*Figura 4.10: Agilent CSASpectrum AnalyzerN1996A*



*Figura 4.11: Leica GST20-9  
Wooden Telescopic Tripod*

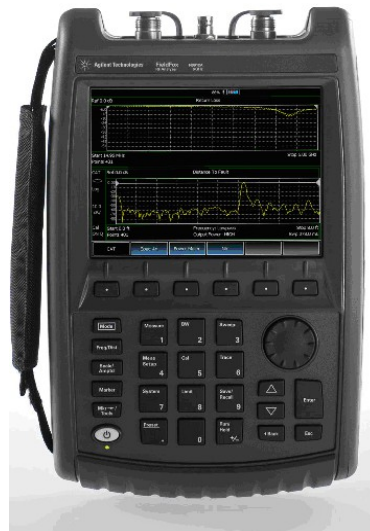
Las antenas transmisoras se situaba sobre un trípode de madera “Leica GST20-9 Wooden Telescopic Tripod” como el de la figura 4.11.

Imagen	Modelo antena	Frecuencia de resonancia	Escenarios <sup>15</sup>	Función
	RS ECOM5-2400	2,4 GHz	Pasillo principal Pasillo consultas Zona Boxes	Transmisora Receptora
			Pasillo cons. New Pasillo princ. 1,2,3	Transmisora
 [24]	antenna Picea 2.4 GHz B5771	2,4GHz	Pasillo cons. New Pasillo princ. 1,2,3	Receptora
	Motorola AN480	868 MHz	Pasillo principal Pasillo consultas	Transmisora
	RFsolutions FLEXI-SMA90	868 MHz	Pasillo principal Pasillo consultas	Receptora
			Zona boxes Pasillo cons. New Pasillo princ. 1,2,3	Transmisora Receptora
	LPRS ANT-433MR	433 MHz	Todos los escenarios	Transmisora Receptora

Tabla 4.1: Resumen de antenas empleadas en las medidas.

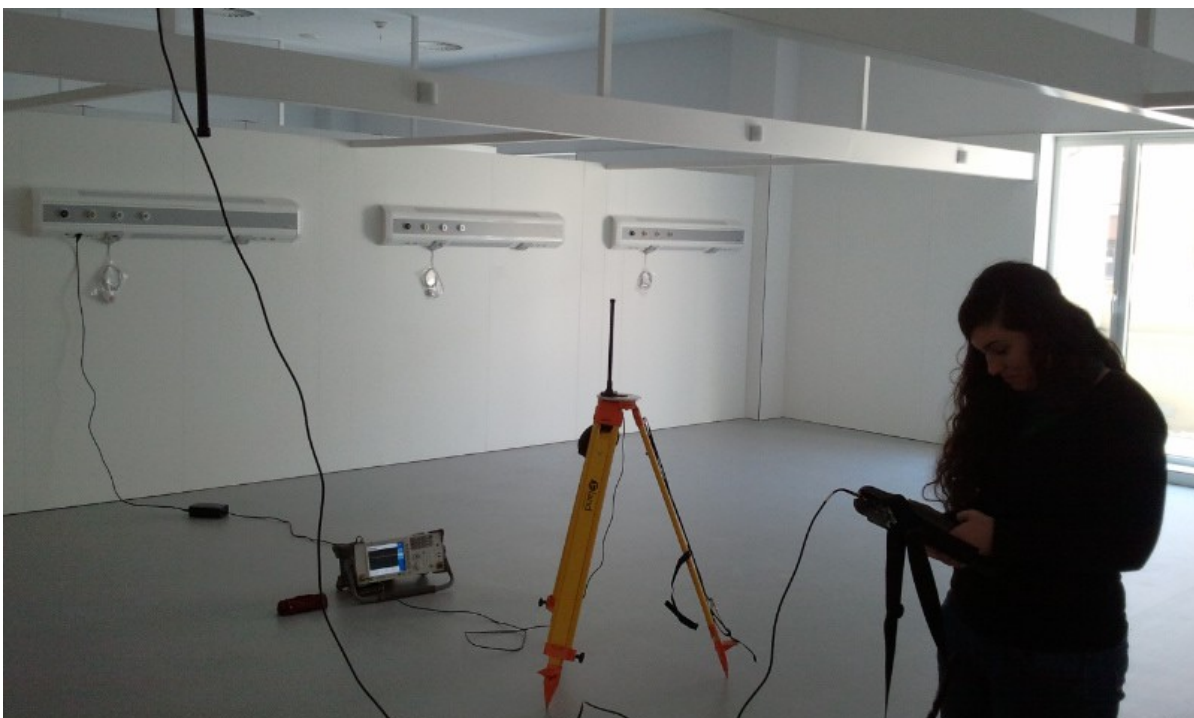
15 A lo largo del apartado 4.2 se explica a que hace referencia cada uno de los escenarios

En la parte del receptor se emplearon una de las antenas de la tabla 4.1 combinado con el analizador de radio frecuencia: “Analizador RF Field Fox N9912A” que se muestra en la figura. Este analizador se centraba en la frecuencia de interés con muy poco ancho de banda, para evitar el ruido. En cada punto medido en el escenario, se hacía una pausa hasta que el valor de la potencia indicada por el analizador se estabilizaba.



*Figura 4.12: Analizador RF Field Fox N9912A [23]*

El montaje completo se muestra en la fotografía de la figura 4.13, en el cual la antena receptora (que estaba imantada), está pegada a las barras metálicas de la sala de boxes.



*Figura 4.13: El montaje con todos los aparatos para tomar las medidas en uno de los boxes.*

## **4.2.2. Primera aproximación**

Se va a presentar primero la problemática de simulación del escenario, aunque esta fuertemente ligada a las medidas realizadas en el mismo, ya que, la posición de las antenas se decidió en la sesión de medidas.

Hay que recalcar que las zonas descritas previamente para definir el escenario, son simplemente una separación hecha sobre papel para introducir todos los datos del escenario en el simulador de forma más eficiente, pero no tiene nada que ver con la realidad del escenario.

Así para la evaluación de la validez del modelo se han usado tres escenarios distintos, el primero la propagación a lo largo del pasillo principal, con una antena transmisora cerca de la entrada principal (para pacientes a pie). Se muestra en la figura 4.15 el plano del pasillo principal, el cual abarca las zonas 2, 6 y 7. A la izquierda se muestra el plano y a la derecha un esquema con las paredes principales, en rojo la posición de la antena transmisora y en azul los distintos puntos en los que se situó la receptora.



*Figura 4.14: Foto del pasillo principal de Urgencias, foto tomada desde la posición de la antena transmisora.*

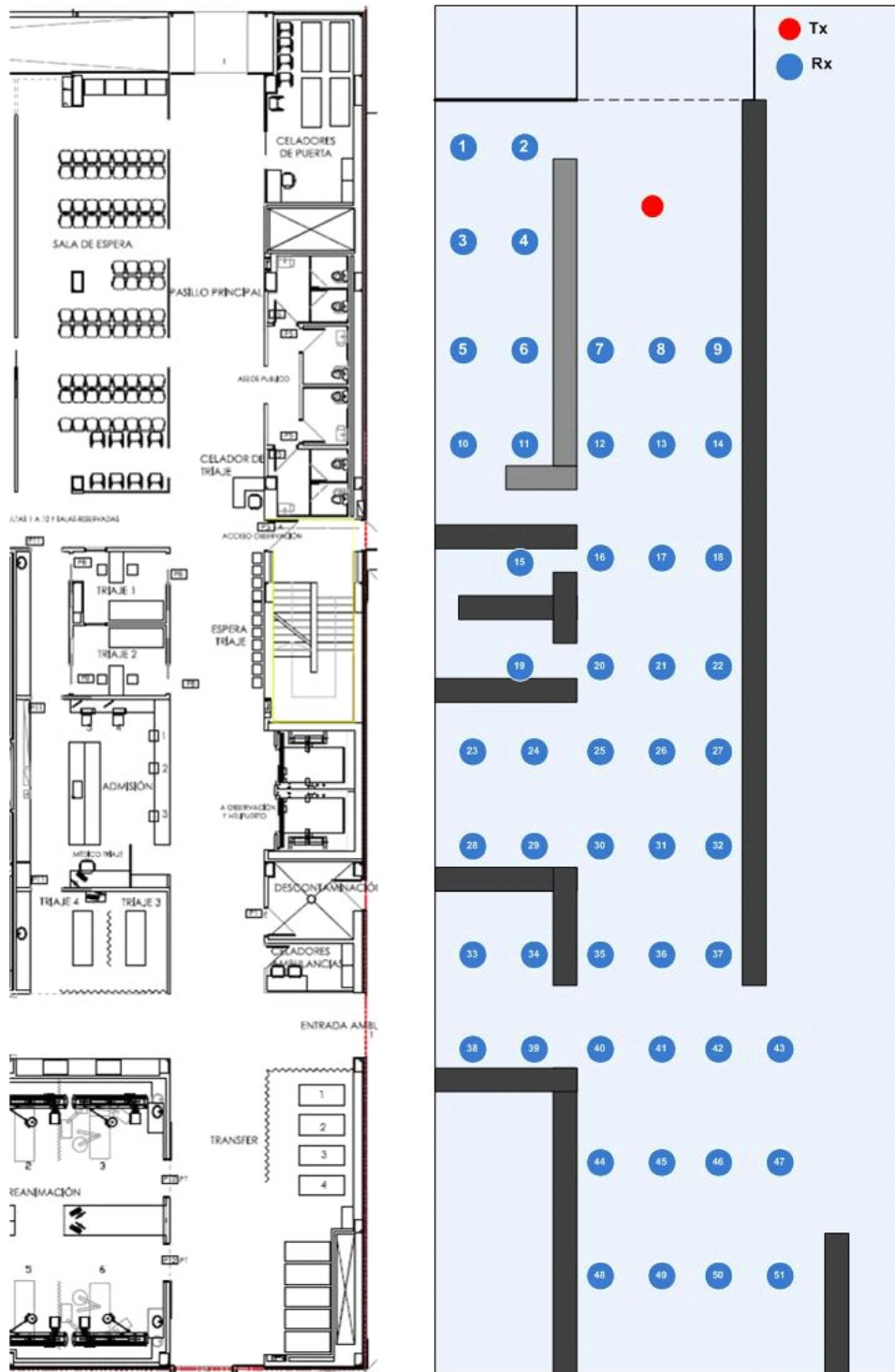


Figura 4.15: Pasillo principal de urgencias

El segundo escenario considerado es uno de los pasillos de consultas, para ser más exactos, el pasillo de consultas del circuito B<sup>16</sup>. Al igual que antes el punto rojo es la antena transmisora y los puntos azules los distintos puntos de medida. Este pasillo puede aportar mucha información sobre el escenario porque las consultas tienen muchos tipos de materiales distintos. Como se podrá comprobar más tarde las tres consultas de abajo a la derecha están plomadas, es decir, están aisladas electromagnéticamente.



*Figura 4.16: Foto del pasillo de consultas, tomada desde el punto 26 del plano de la figura 4.17*

Como aclaración, la consulta a la que le faltan datos es por un error en el programa de las puertas se quedo bloqueada y no pudimos entrar a medir. La antena transmisora esta situada en la zona 3 y todas las consultas en al zona 5.



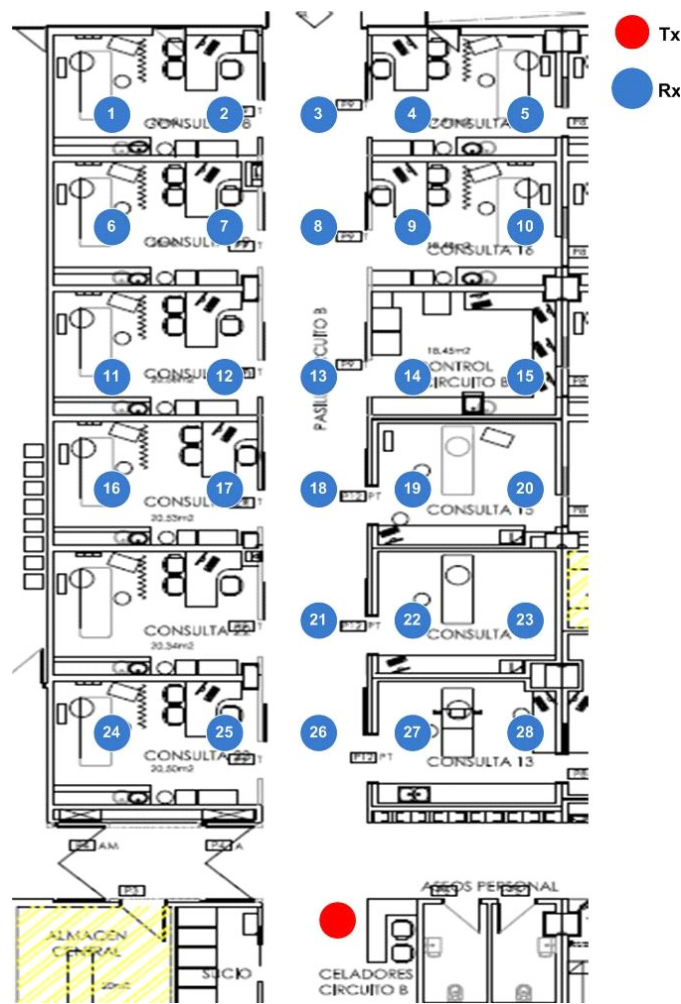


Figura 4.17: Plano del pasillo del circuito B

El último escenario considerado es la zona de boxes, que está completamente incluida en la zona 1, como se muestra en la figura 4.19. Al igual que en los casos anteriores la antena transmisora está en rojo y los puntos en los que se situó la receptora en azul. No se aprecia en el plano, pero las paredes entre las tres áreas distintas no llegan hasta el techo, tienen una altura de unos 2,5 metros, mientras que el techo está a 3,5 metros. Esto se puede apreciar mejor en la figura 4.18, que es una imagen de una de las tres salas de boxes idénticas.



*Figura 4.18: Imagen de una de las salas de boxes*

Cada uno de estos escenarios se evaluó para tres frecuencias distintas 2,4 GHz, 868 MHz y 433 MHz.

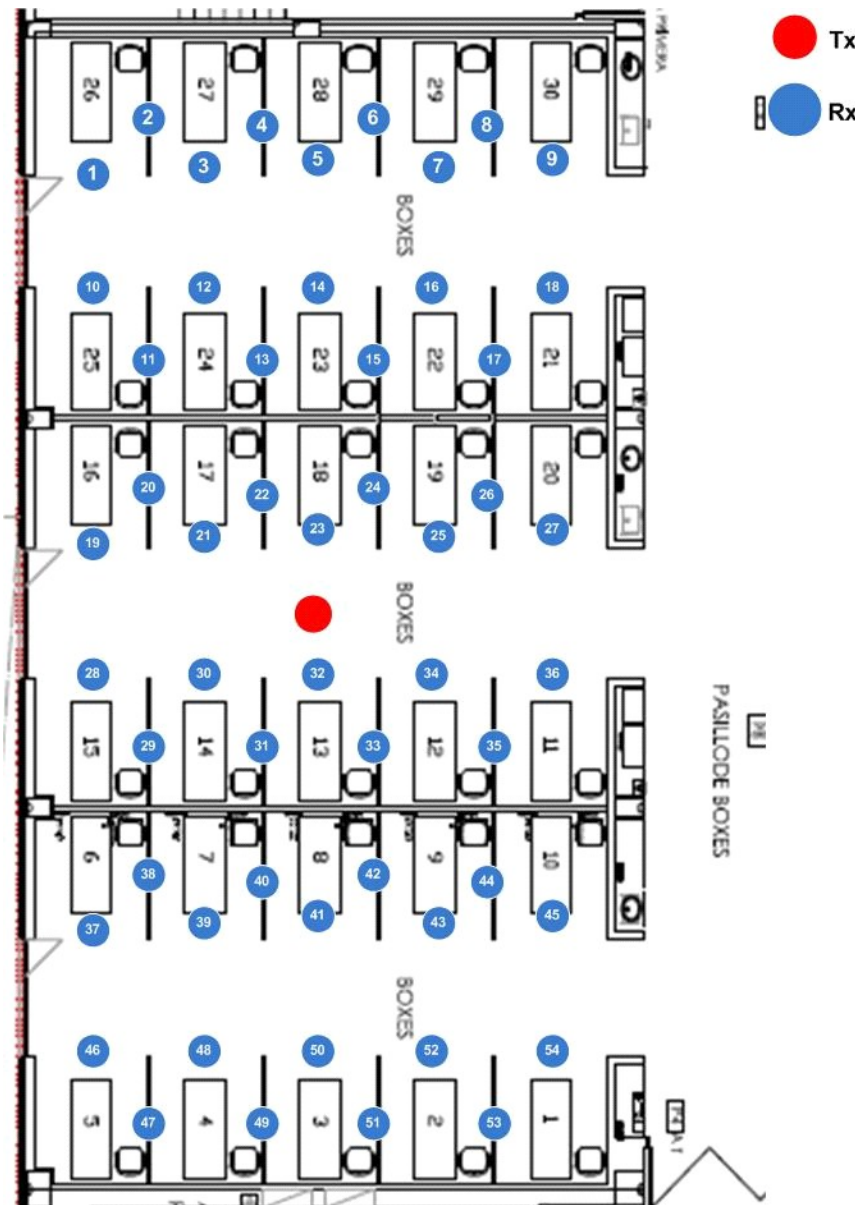


Figura 4.19: Plano boxes

Pero en esta primera aproximación se va a limitar a los datos de 2,4 GHz, sabiendo que va a haber problemas y no van a ser útiles para el estudio de localización. El resto de los resultados se recogerán en el anexo B.

### 4.2.2.1. Radiales

Se va a empezar, comparando los datos obtenidos de las medidas sobre el escenario con los obtenidos en las simulaciones en los mismos puntos<sup>17</sup>. Primero se muestra los resultados obtenidos para el pasillo principal en la figura 4.20, se puede apreciar en un primer vistazo que para puntos lejanos de la antena transmisora la simulación y la medida cada vez se parecen menos. Hay que tener en cuenta en el análisis de los datos, que el simulador, basado en el trazado de rayos, considera el valor del punto -200 dBm para el caso de que no lleguen rayos a ese punto.

La asignación de los puntos del eje horizontal se muestra en la figura 4.15. Analizando la figura de los resultados, a partir del punto 15 se observa que empieza a alejarse la medida de la simulación. A pesar de todo hay puntos en los cuales los dos valores vuelven a parecerse a pesar de la distancia, como se muestra en la figura 4.21, esos puntos corresponden a los puntos centrales del pasillo, a pesar de ello les sigue afectando la divergencia de los rayos.

También se observan ciertos puntos a los cuales no llega ningún rayo, lo cual parece deberse a un problema de resolución del simulador, pero se analizará con más detalle más adelante.

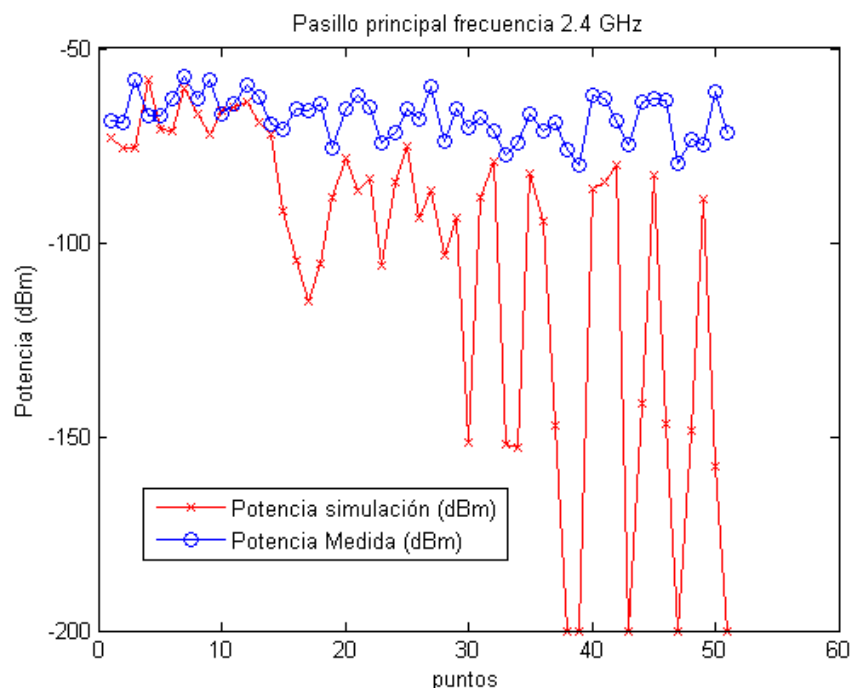


Figura 4.20: Comparación de potencia recibida en distintos puntos del pasillo principal, en medida y en simulación

<sup>17</sup> En realidad no son puntos sino cubos en los que podemos elegir el tamaño, pero hay un compromiso muy fuerte entre el tamaño del cubo y el tiempo de simulación.

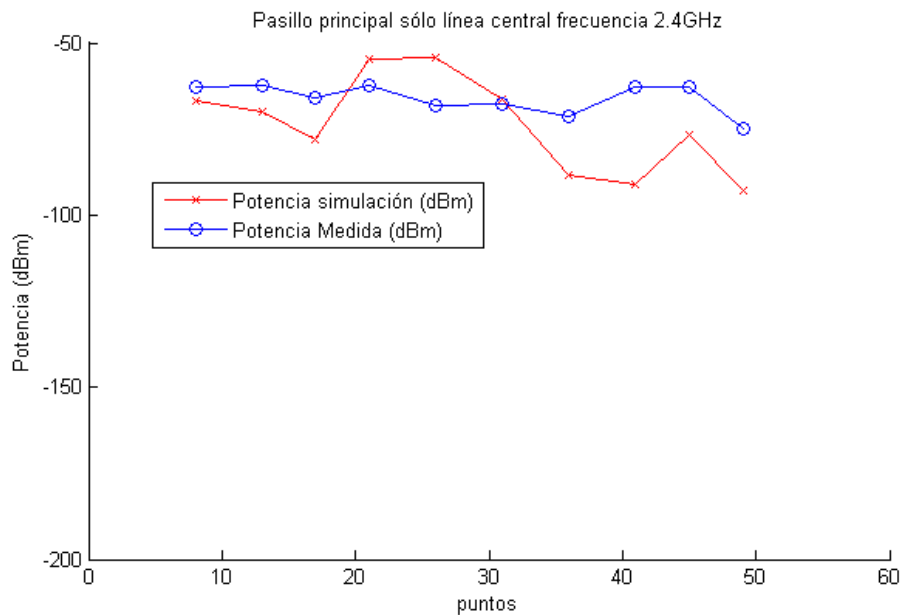


Figura 4.21: Comparación de potencia recibida en los puntos del centro del pasillo principal, en medida y en simulación

Dejando a un lado el pasillo principal, pasamos a analizar que ocurre en el pasillo de las consultas del circuito B, que en realidad es parecido al pasillo de consultas del circuito A, por lo que la caracterización serviría para ambos casos.

La figura 4.22, muestra los resultados de medida y simulación del escenario de las consultas. En este caso los puntos más alejados de la antena transmisora son los primeros y los más cercanos los últimos, como muestra la figura 4.17.

Al igual que en el caso anterior, los puntos más cercanos a la antena transmisora son los que mejores resultados obtienen. Seguimos encontrándonos con puntos a los que no llegan rayos en la simulación, porque no da resultados de -200 dBm.

En la figura 4.23 muestra lo que ocurre únicamente en el pasillo, sin mirar dentro de las consultas. Que sigue teniendo errores, pero al menos llegan rayos a los puntos de medida.

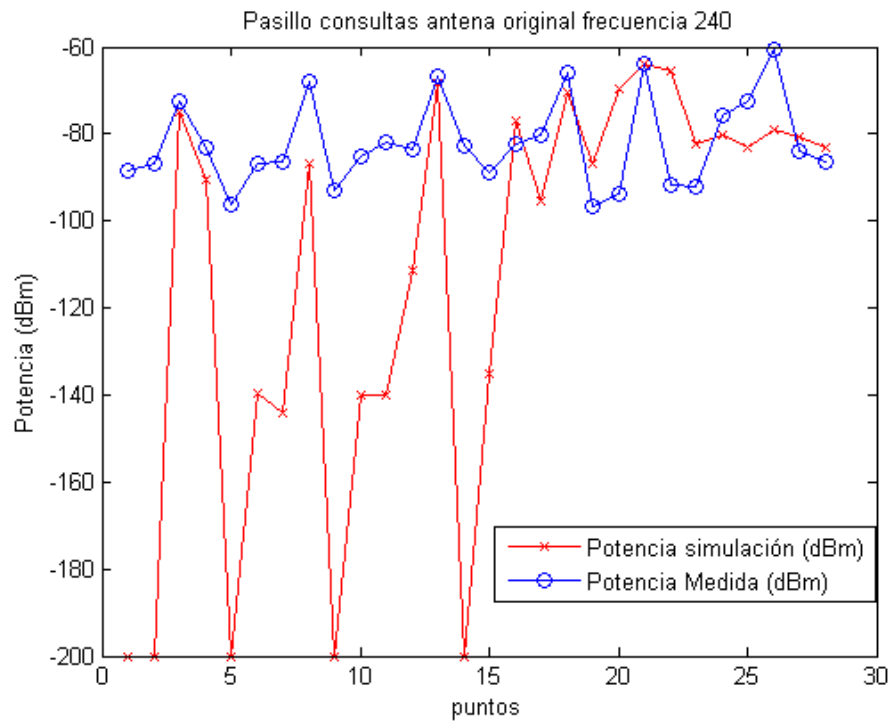


Figura 4.22: Comparación de potencia recibida en distintos puntos del pasillo de consultas del circuito B, en medida y en simulación

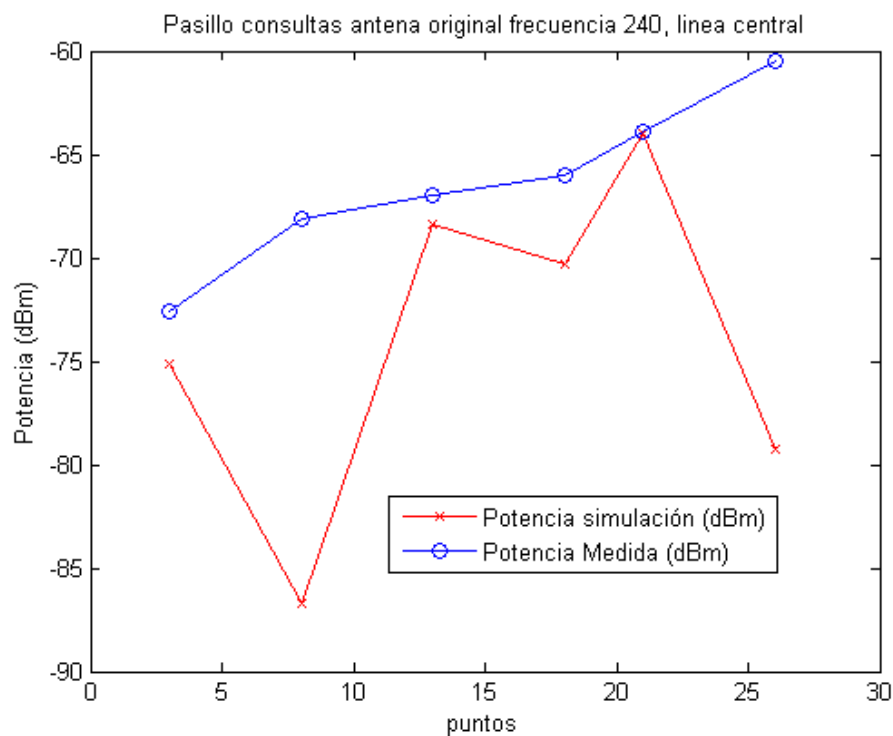


Figura 4.23: Comparación de potencia recibida en los puntos del centro del pasillo de consultas del circuito B, en medida y en simulación

Pasando al último escenario, los resultados para la zona de boxes son un poco más coherentes en cuanto a que no existe la problemática de que no llegan rayos.

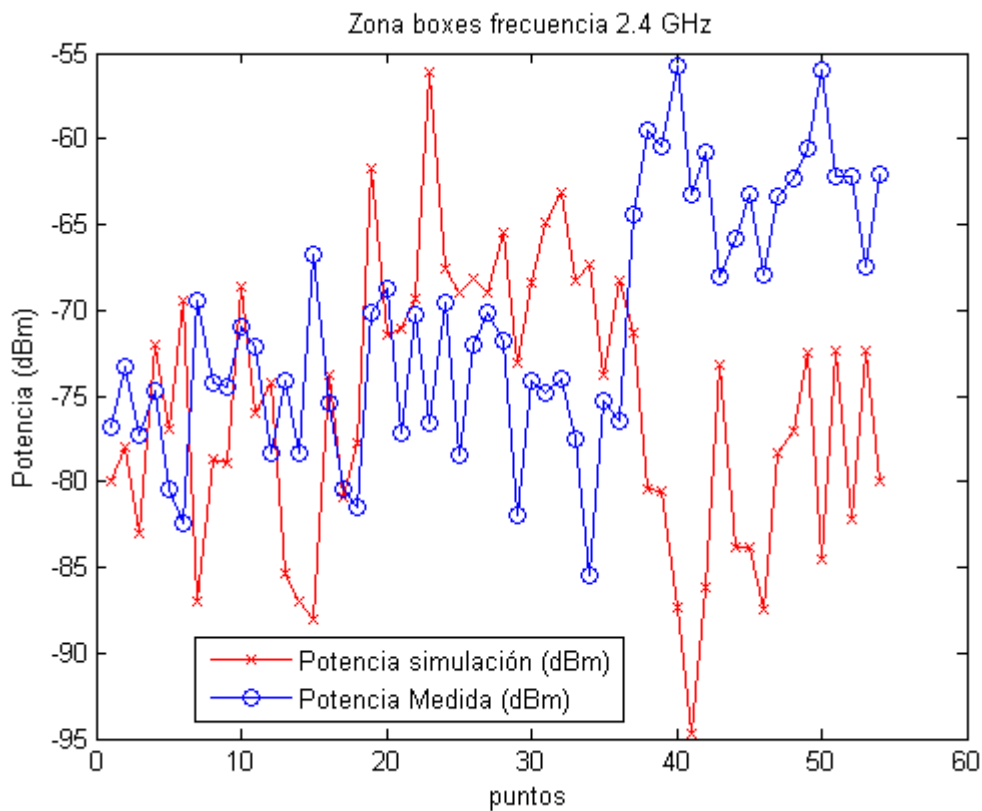


Figura 4.24: Comparación de potencia recibida en los puntos de la zona de boxes, en medida y en simulación

Los puntos centrales (figura 4.24) corresponden a los datos tomados mas cerca de la antena transmisora, por ese motivo tienen potencias mayores. Los puntos de la izquierda y derecha de la gráfica corresponden a los puntos de las salas contiguas, las cuales están separadas por una pared que no llega hasta el techo.

La única explicación, para que en la sala de boxes de la derecha haya más potencia medida que en las otras, es que hay una pared plomada justo al lado, impide que penetre la potencia electromagnética y la revota hacia atrás, por lo tanto recibimos más potencia.

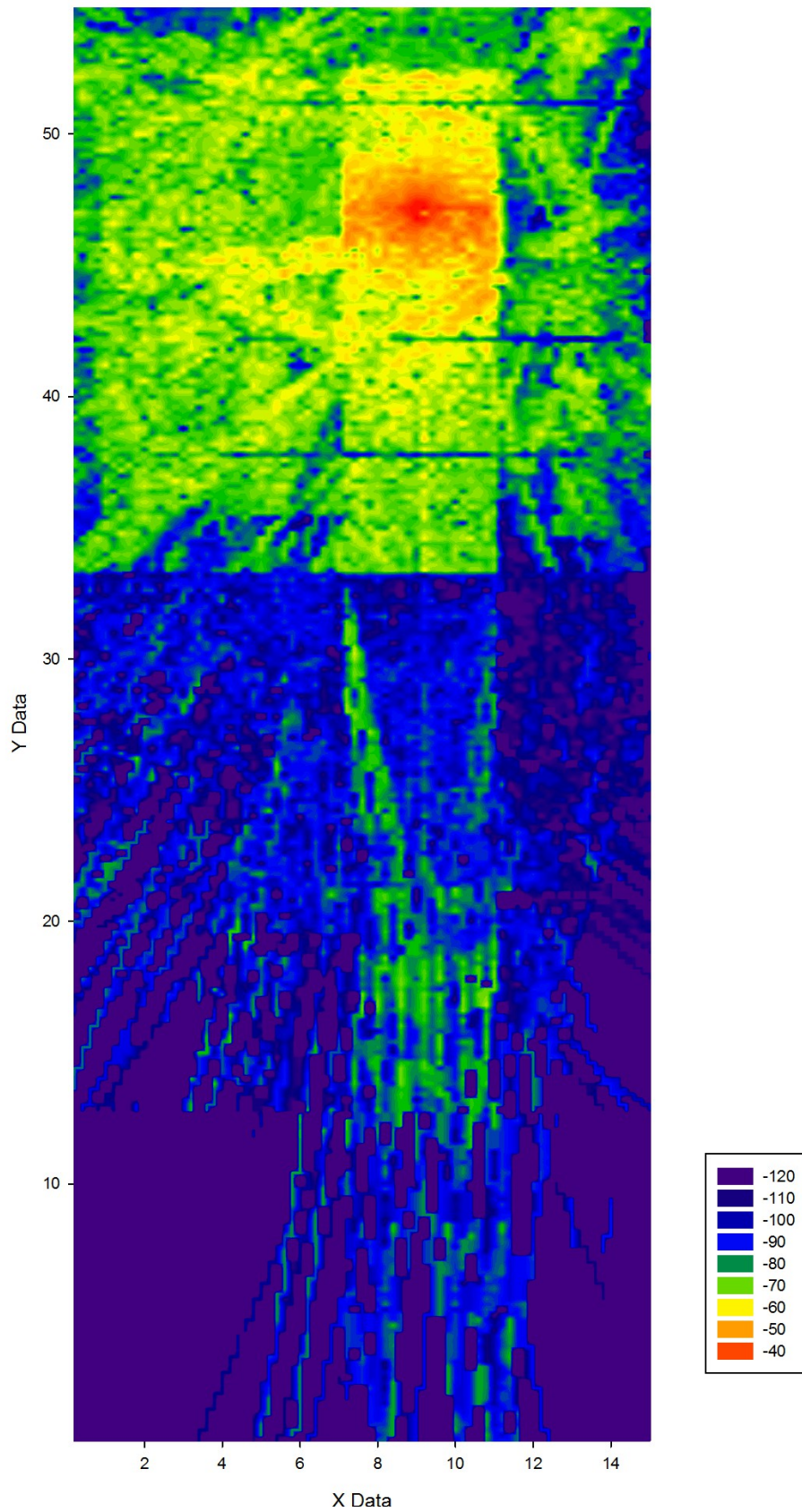
#### **4.2.2.2. Planos bidimensionales**

En este apartado se van a mostrar los planos bidimensionales que muestran (en simulación) la potencia que llega a cada punto. La escala de colores de la leyenda nos indica la potencia que llega en dBm. Toda la potencia por debajo de -100 dBm es indetectable, porque no hay ningún sistema lo suficientemente sensible.

Hay datos de las figuras que provienen de la definición de las zonas hechas para el simulador. Esto se aprecia en los casos de que haya datos de dos zonas distintas como son la figura 4.25 y 4.26. En ellas se observan unas líneas horizontales en las que cae la potencia en principio (cambio de color). El motivo de este comportamiento se debe a dos motivos, el primero de ellos es el redondeo hacia arriba en el tamaño de las zonas a cubos de 20 cm, por ejemplo, de  $25,32\text{ m}$  a  $25,4\text{ m}$ , este problema se podría mejorar haciendo los cubos de tamaños menores, pero entonces aumentaría excesivamente el tiempo de cálculo. El segundo motivo es el funcionamiento del propio simulador, al llegar a un cambio de zona recoge los datos de todos los rayos que llegan y considera que se reradian. Eso hace que en los límites el comportamiento de propagación no sea el esperado.

Los ejes de los planos bidimensionales son las distancias en metros.





*Figura 4.25: Plano bidimensional de potencia que llega a cada punto en el pasillo principal a 2,4 GHz*

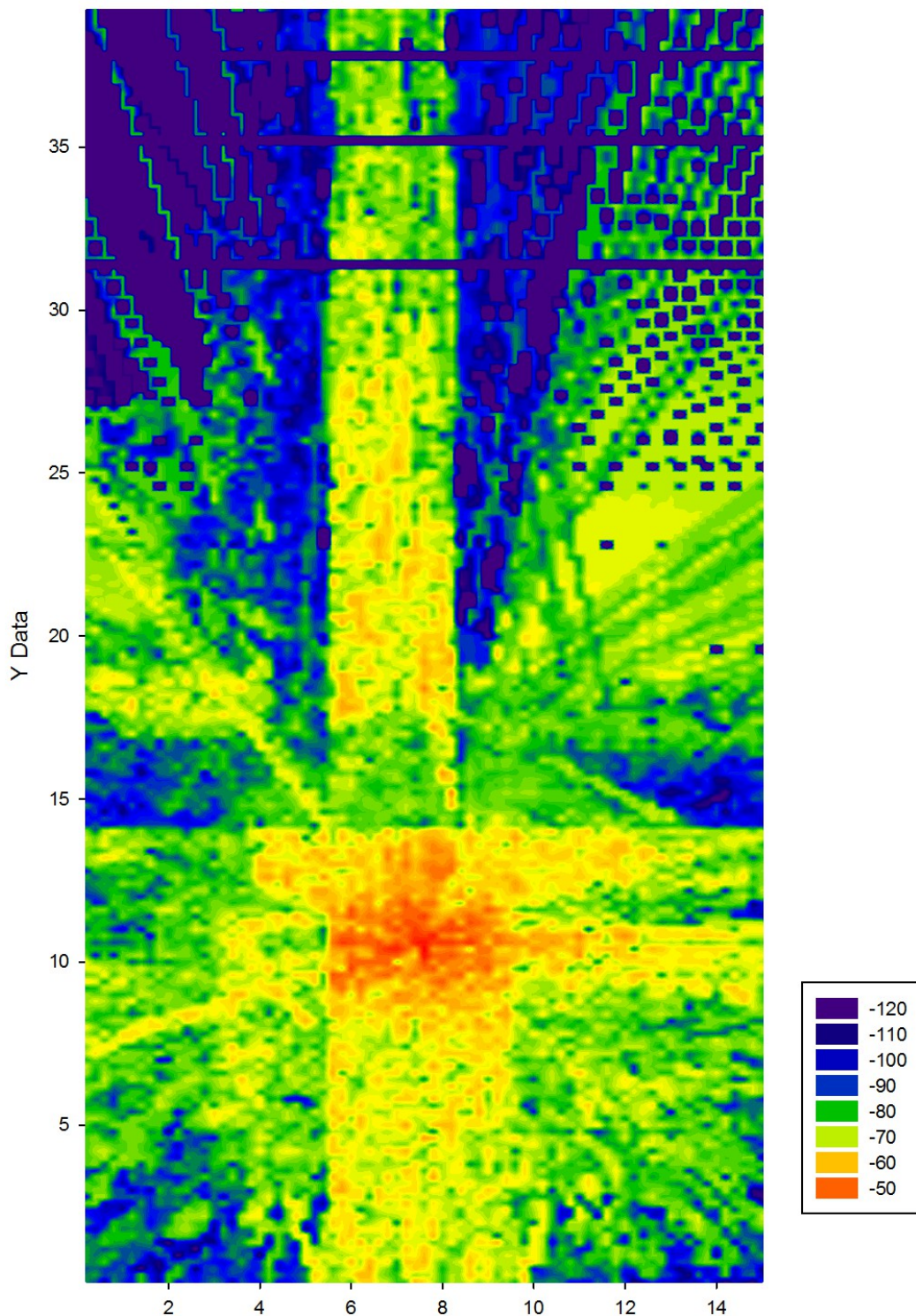


Figura 4.26: Plano bidimensional de potencia que llega a cada punto en el pasillo de consultas B a 2,4 GHz

Observando las dos figuras anteriores podemos apreciar que hay una apertura en los rayos. Esta apertura debida a las largas distancias que se recorren por el tamaño del recinto impiden resolución suficiente para que los datos obtenidos sean validos.

Haciendo cuentas rápidas con rayos saliendo cada un grado, lo que se ha considerado en las simulaciones, los cubos de  $0,2\text{ m}$  de lado y que al menos llegue un rayo directo a cada cubo:

$$\text{sen}(1^\circ) = \frac{0,2}{x} \text{ obtenemos que } x = \frac{0,2}{\text{sen}(1^\circ)} = 11,46\text{ m} .$$

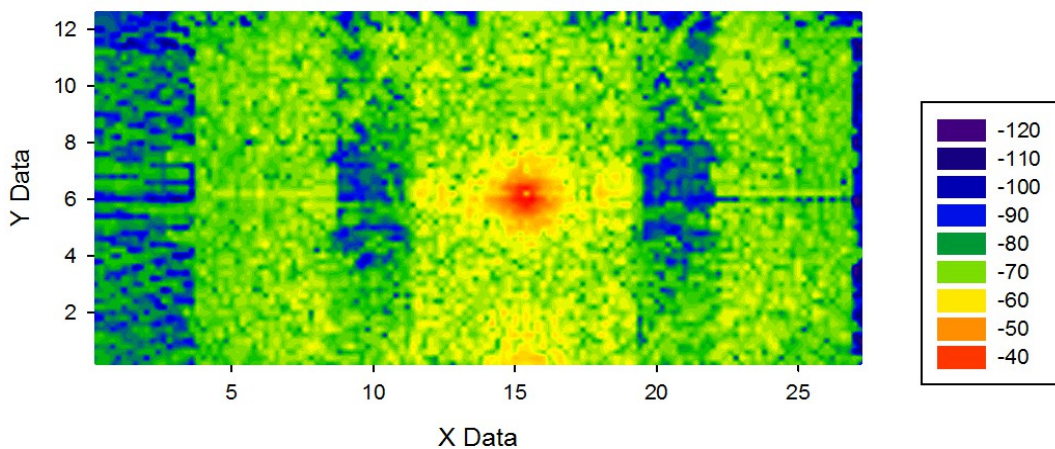


Figura 4.27: Plano bidimensional de potencia que llega a cada punto en la zona de boxes a 2,4 GHz

Así se puede ver que la resolución se pierde a partir de los 11,5 metros. En los dos pasillos que considerábamos las distancias son mucho mayores, por lo tanto, los datos que nos da no son válidos a partir de la distancia a la antena.

En el caso de la zona de los boxes no surge el problema de la excesiva apertura de los rayos, no habrá que solucionarlo, las distancias para todos los puntos medidos son menores que el máximo permitido, podremos considerar los datos de las simulaciones válidos.

### **4.2.2.3. Posibles soluciones**

La conclusión de la primera aproximación, es que hay que buscar una solución para el problema de perder la resolución con la distancia, para lograr caracterizar todo el recinto.

Las posibles soluciones son varias, una de ellas es incluir unas redes neuronales que interpolen más puntos para no perder resolución con la distancia. Esta solución aunque idónea requiere mucho tiempo para modificar el código del simulador, tiempo no disponible para la realización de este PFC. En la figura 4.28, se muestra el esquema de cómo funciona una red neuronal, con varias capas distintas en las que se realizan tomas de decisiones.

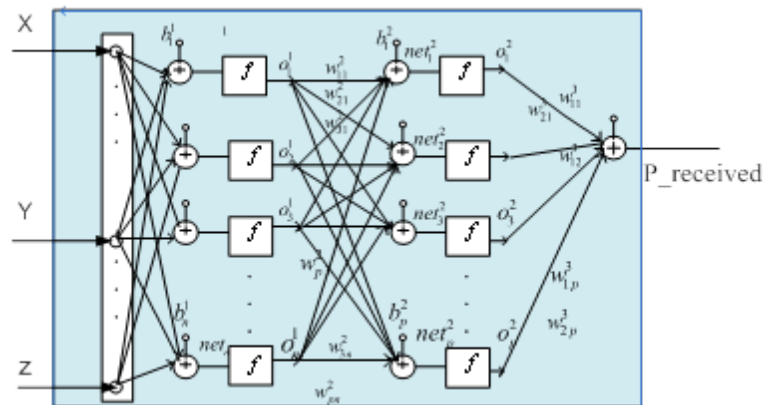


Figura 4.28: Esquema del algoritmos de la red neuronal

Otra puede ser costosas en tiempo, pero de otra manera, consiste en interpolar a mano y volver a lanzar el simulador con ese valor para cada uno de los puntos para conseguir la resolución. Esta solución es inviable por el tamaño del recinto que es de:  $3000\text{m}^2(\text{superficie}) \cdot 4\text{m}(\text{altura}) = 12.000\text{m}^3$ . Cada uno de los cubos es de  $20\text{cm}$  por lo que el volumen total del recinto es de  $(20\text{cm})^3 = (0,2\text{m})^3 = 0,008\text{m}^3$ , eso quiere decir que hay  $12.000/0,008 = 1,5 \cdot 10^6$  cubos. Todo esto sin tener en cuenta que cada simulación tarda entre 6 u 8 horas.

La solución más sencilla y menos costosa en tiempo es calcular hasta donde son válidos los datos de simulación, es decir, descartar los datos a partir de la distancia donde la apertura entre rayos contiguos supere el tamaño de los cubos. Se ha visto que esto ocurre a los  $11,46\text{m}$ , por eso se descartan todos los datos que están más allá y se volverá a medir y a simular como se explica en el apartado siguiente.

Al compromiso entre tiempo de cálculo y tamaño de los cubos se añade otro factor en contra, los cubos más pequeños supondría que los resultados fuesen válidos para distancias menores.

### 4.2.3. Segunda aproximación

Usando circunferencias de radio  $11,5$  metros con origen en el la posición de las antenas, podemos ver cual es la situación de resolución en los casos de la primera aproximación en las figuras 4.29, 4.30 y 4.31. Se muestra en sombreado amarillo la zona en la que la antena considerada tiene suficiente resolución en simulación. Los círculos incompletos se debe a que no están incluidos en el plano las zonas de resolución fuera de los escenarios considerados.

Están señaladas las posiciones de las antenas transmisoras con un punto azul en el centro de los círculos de resolución.

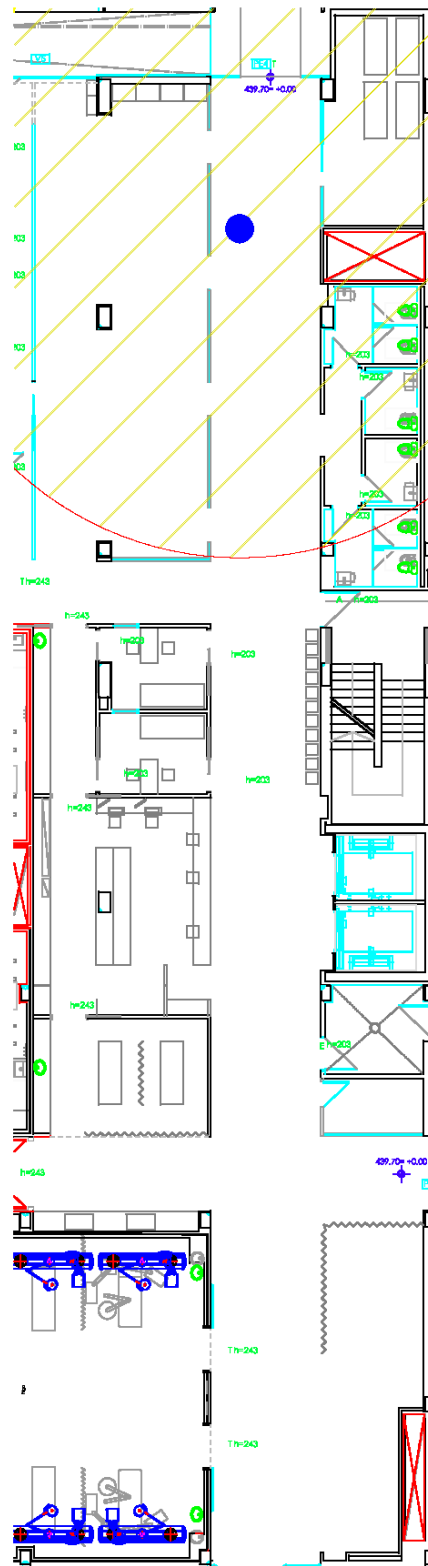


Figura 4.29: Circulo de resolución en el pasillo principal para la primera aproximación

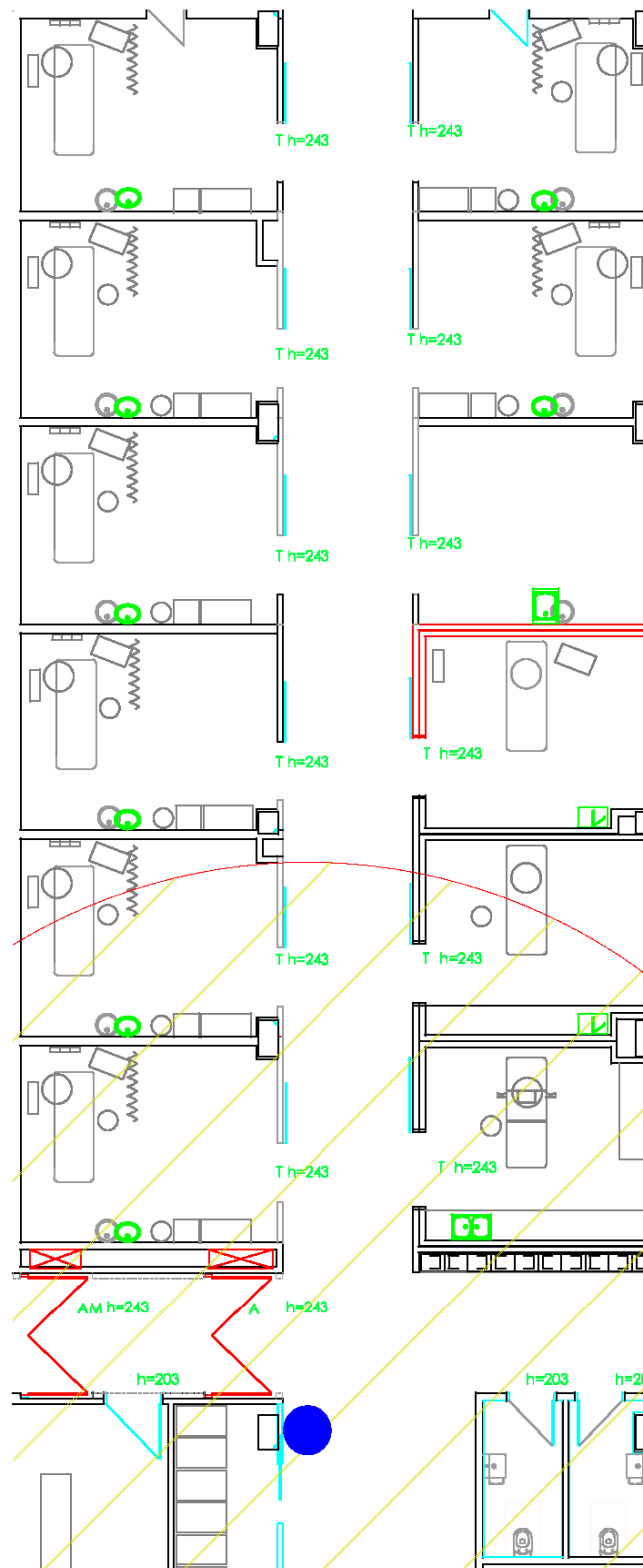


Figura 4.30: Circulo de resolución en el pasillo de consultas B para la primera aproximación

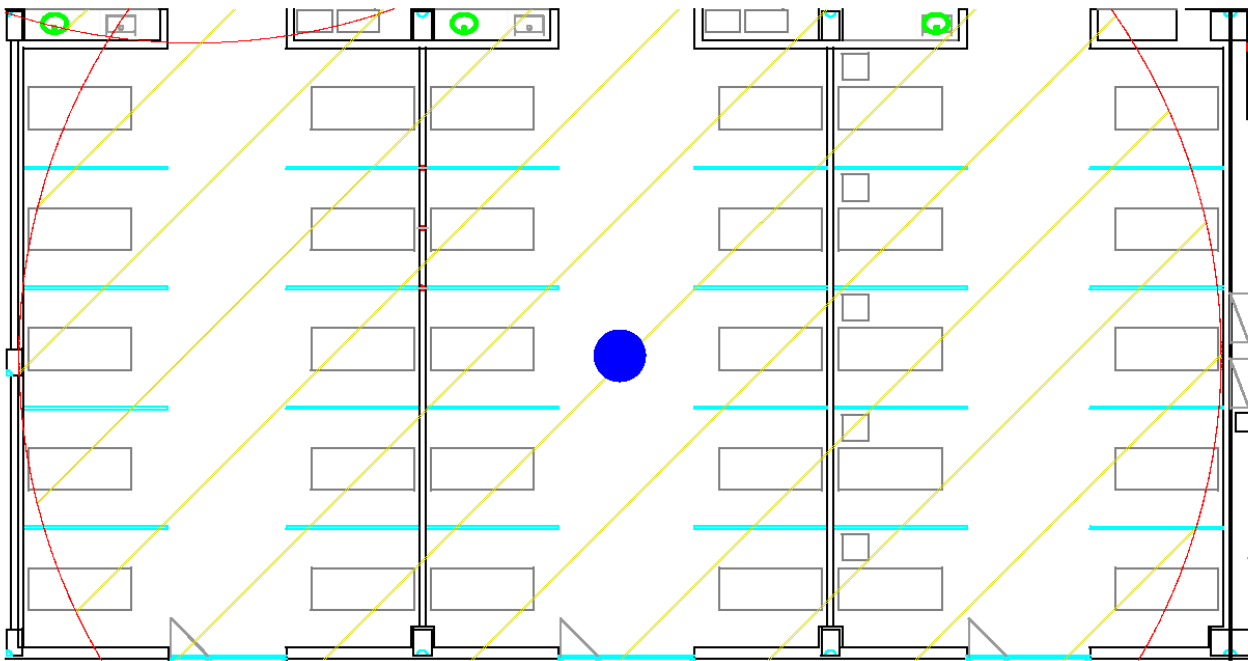


Figura 4.31: Circulo de resolución en la zona de boxes para la primera aproximación

Observando los planos de ambos pasillos, mostrados en las figuras 4.29 y 4.30, podemos concluir que hacen falta más antenas para obtener resolución a lo largo de ellos. Por otra parte, en la zona de los boxes donde están las camillas no hay ningún problema, todos los puntos medidos están dentro de la zona de resolución, con lo que los valores correspondientes de simulación en principio deberían ser correctos.

En ambos pasillos hay que incluir más antenas (las mismas pero en otras posiciones) para lograr caracterizarlos por completo. En las figuras 4.32 y 4.33 se muestran como quedarían las resoluciones con más antenas.

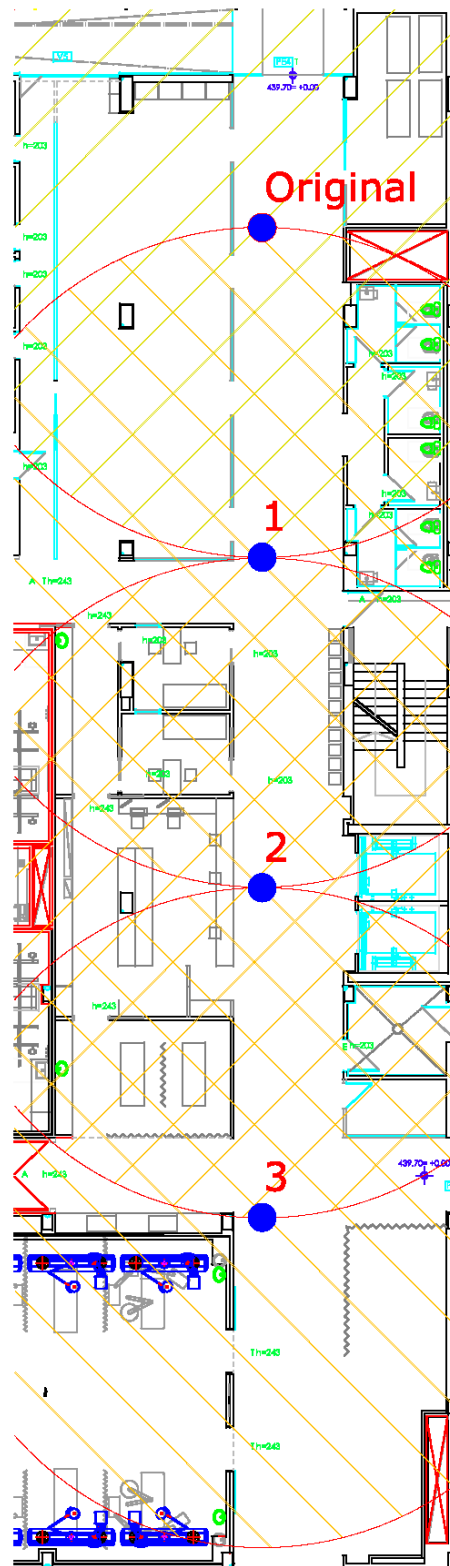


Figura 4.32: Círculos de resolución en el pasillo principal para la segunda aproximación



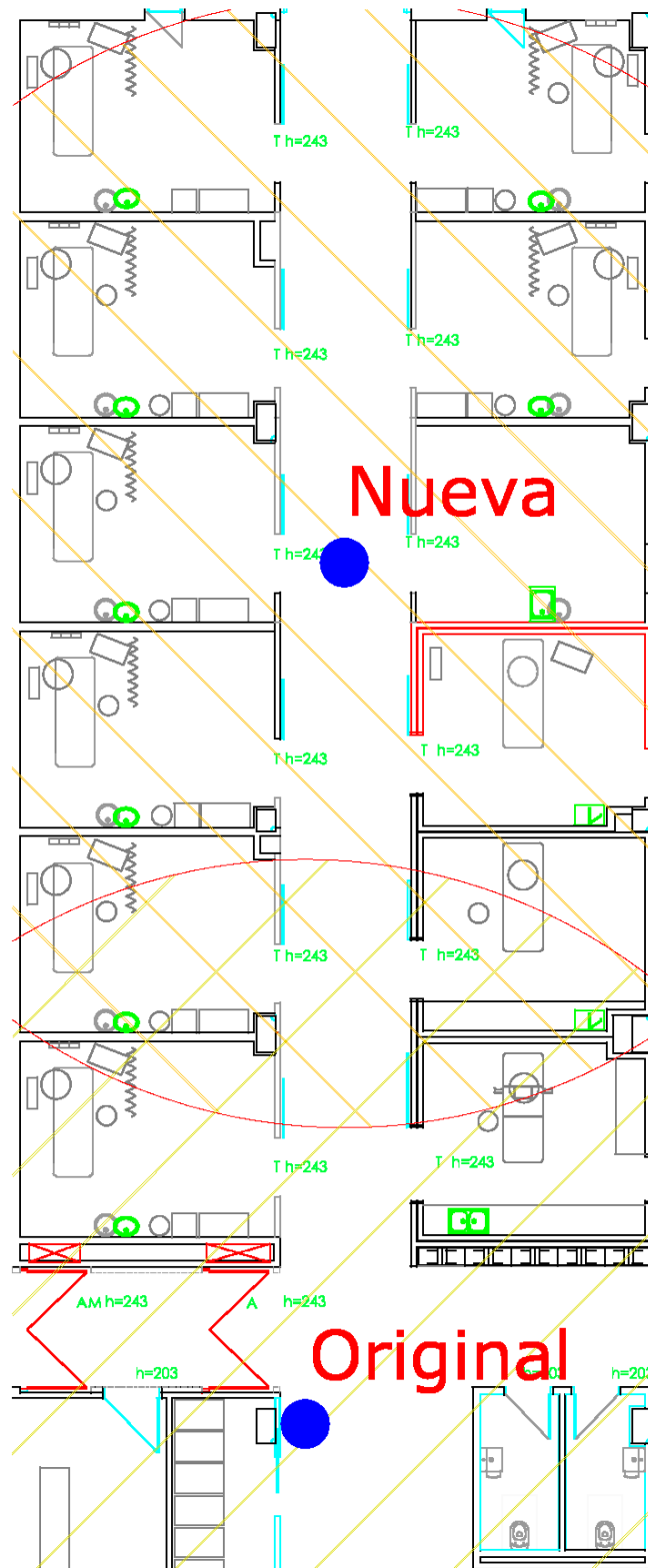


Figura 4.33: Círculos de resolución en el pasillo de consultas B para la segunda aproximación

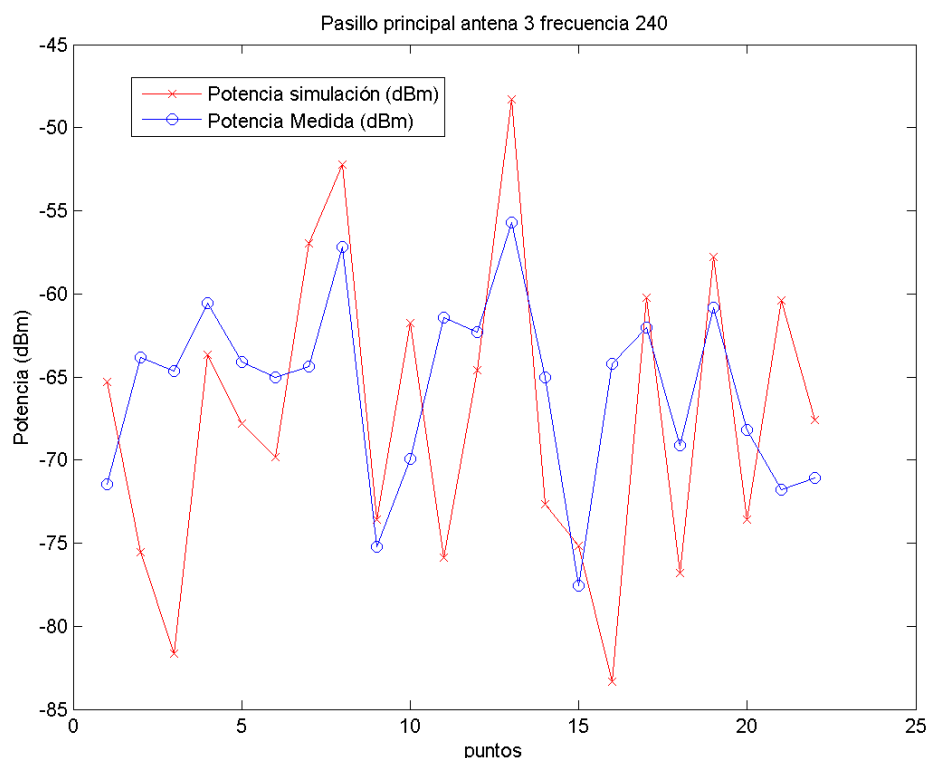
Se ve que, para lograr caracterizar los tres escenarios con los que contábamos originalmente, teniendo en cuenta las distancia máxima de resolución, son necesarias otras tres antenas distribuidas a lo largo del pasillo principal y otra más a mitad del pasillo de consultas.

En este caso se pasa de considerar tres escenarios, a siete, porque hay que simular una vez por cada posición de la antena, y a la hora de medir también se sitúa la antena en siete puntos distintos.

Por comodidad, a las antenas de los primeros escenarios se les va a nombrar en este apartado como “originales”, y a las nuevas como “nueva” o numeradas, como se muestra en las figuras 4.32 y 4.33.

### **4.2.3.1. Radiales**

Al limitar los puntos de medida a los puntos cercanos a cada una de las antenas se puede observar a simple vista (figuras 4.34 y 4.35) que se cometen errores menores que en los resultados de la primera aproximación (figuras 4.20 y 4.22). Ahora si que se puede empezar a estudiar si las aproximaciones son válidas o no.



*Figura 4.34: Comparación de potencia recibida en los puntos en el pasillo principal antenna 3 (según figura 4.32) a la frecuencia de 2,4 GHz, en medida y en simulación*

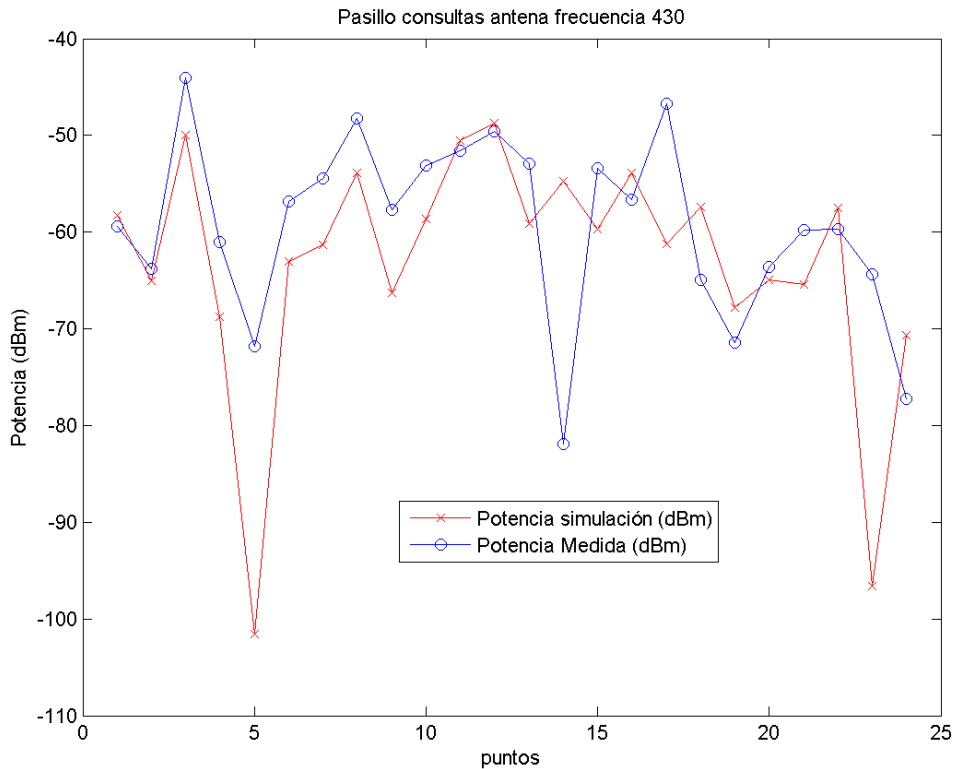
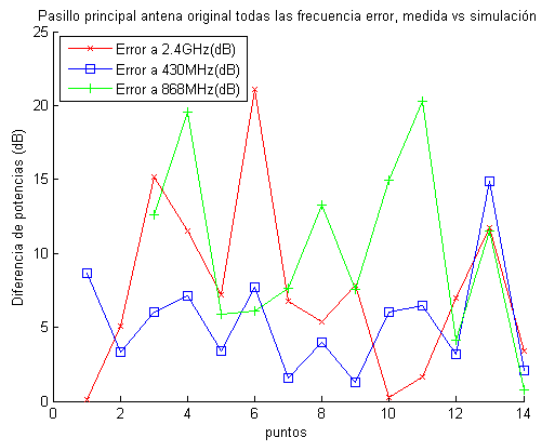


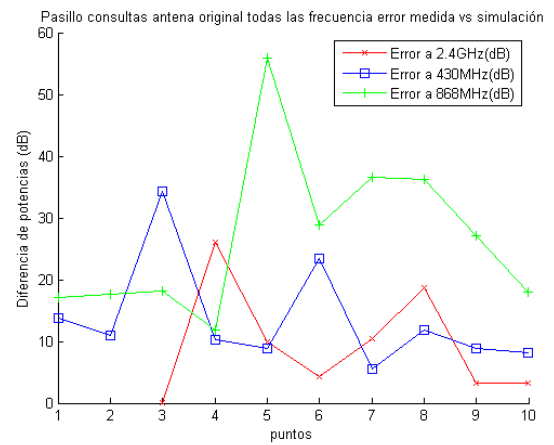
Figura 4.35: Comparación de potencia recibida en los puntos en el pasillo de consultas con la nueva antena (según figura 4.33) a la frecuencia de 430 MHz, en medida y en simulación

Se han elegido sólo dos de los resultados, para probar que los resultados son más razonables que en el visto para la primera aproximación. En las figuras previas se muestra la medidas y las simulaciones, pero lo que nos interesa, es cuantificar cuanto se parecen las simulaciones a las medidas, para ello observamos en las siguientes gráficas las diferencias entre ambas. Para cada uno de los escenarios, se muestra una figura con el error de las tres frecuencias simultáneamente.

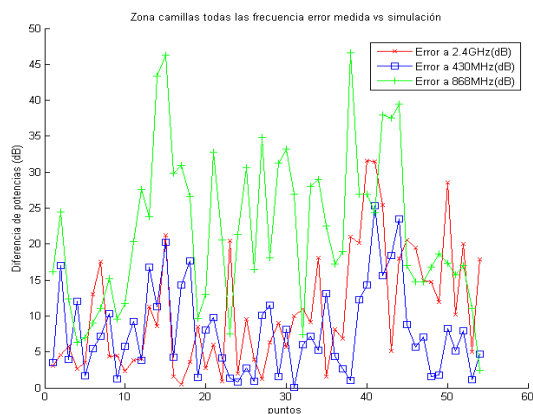
Las primeras tres gráficas muestran los resultados obtenidos en la primera aproximación que quedaban dentro de los círculos de resolución, y que por tanto, se consideraban válidos.



**Figura 4.36: Pasillo principal antenna original error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias**

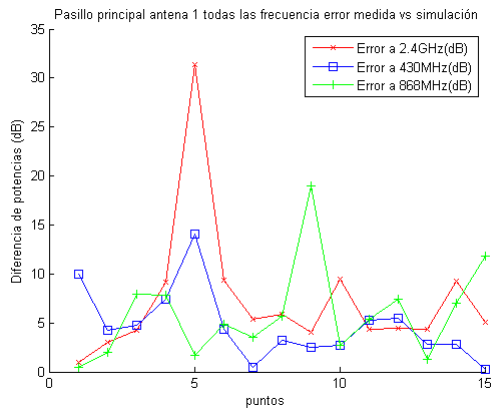


**Figura 4.37: Pasillo consultas antenna original error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias**

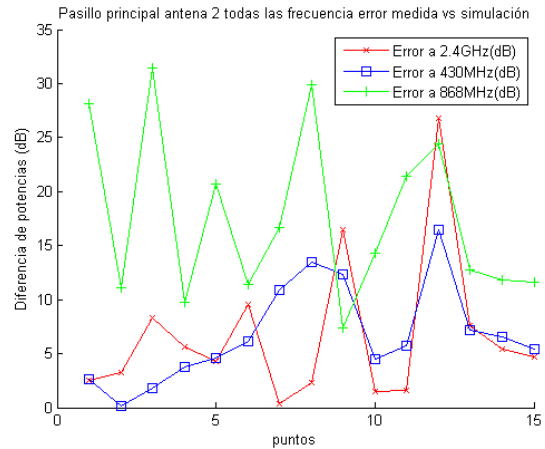


**Figura 4.38: Zona boxes error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias**

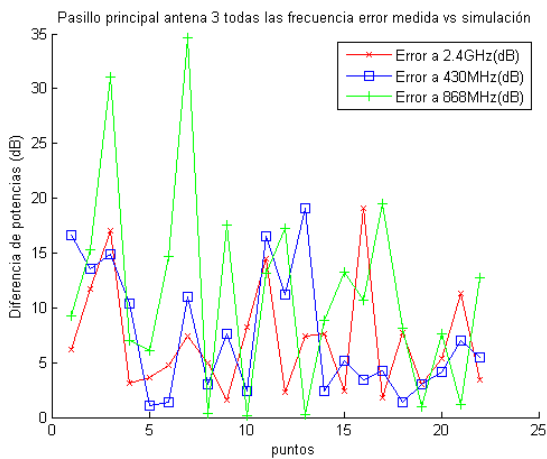
En general se puede hablar de que la frecuencia en la que se cometen más errores es la de 868 MHz. Representada con (+) y el color verde es notablemente la que tiene mayores errores.



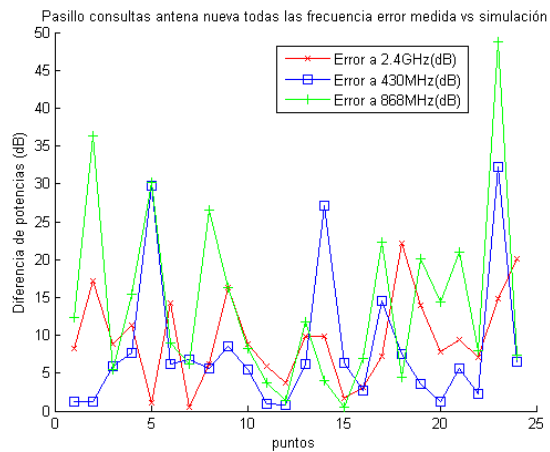
**Figura 4.39: Pasillo principal antenna nueva 1 error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias**



**Figura 4.40: Pasillo principal antenna nueva 2 error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias**



**Figura 4.41: Pasillo principal antenna nueva 3 error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias**



**Figura 4.42: Pasillo consultas antenna nueva error cometido entre medidas y simulación para todas las frecuencias**

Para resumir los datos vistos en las gráficas previas, en la tabla 4.2 se ha condensado la información de las medias y las desviaciones típicas de todos los casos. Los errores típicos que se comenten en escenarios en exteriores (los cuales siempre son más precisos) son de uno 8 o 10 dB. Que en este caso tampoco se aleja mucho de ese valor.

		430 MHz		868 MHz		2,4 GHz	
		Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Pasillo principal	Original	1,01dB	6,59dB	19,36dB	23,55dB	5,78dB	7,61dB
	Nueva 1	-2,34dB	5,53dB	4,35dB	6,32dB	-3,10dB	9,92dB
	Nueva 2	5,57dB	6,09dB	17,54dB	7,93dB	4,88dB	8,38dB
	Nueva 3	3,00dB	9,06dB	10,56dB	10,12dB	1,78dB	8,54dB
Pasillos consultados	Original	-0,98dB	16,73dB	24,36dB	17,65dB	-1,12dB	13,43dB
	Nueva	3,78dB	11,58dB	11,45dB	14,67dB	-2,34dB	11,12dB
Zona boxes		6,01dB	8,10dB	21,78dB	10,70dB	4,61dB	12,72dB
Total		<b>3,46dB</b>	<b>9,41dB</b>	<b>16,40dB</b>	<b>14,12dB</b>	<b>2,17dB</b>	<b>11,20dB</b>

Tabla 4.2: Resumen de errores entre medida simulación.

De los datos de la tabla se ve que todos los datos tienen una media y una desviación típica, se puede intentar modelar estos datos con una distribución gaussiana. En la figura 4.43 se muestra la distribución de los datos de 430 MHz y una función gaussiana como envolvente.

Idealmente el error cometido debería ser de 0 dB, esto no se puede lograr, pero lo que si que se puede hacer es calibrar el simulador para que la media del error sea 0 dB, aunque seguirá habiendo una varianza en los datos. En la figura 4.44 está representada la figura gaussiana obtenida de los datos de medida de 430 MHz, y otra función gaussiana, que representa la misma desviación típica pero con la media a 0 dB.

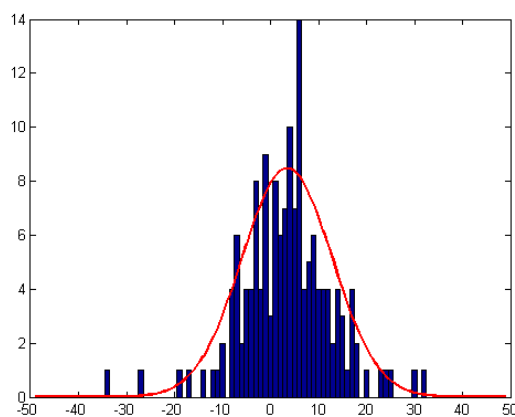


Figura 4.43: Ajuste de los datos de error y la distribución gaussiana

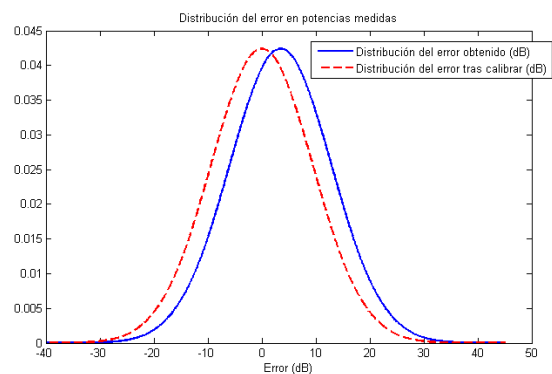


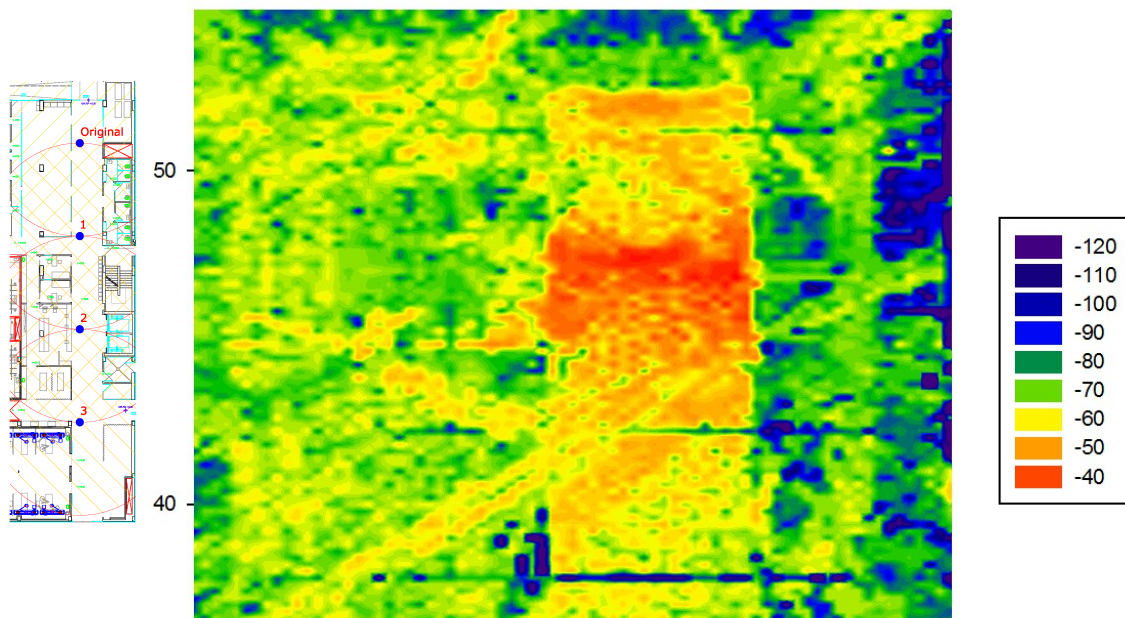
Figura 4.44: Distribución de los errores obtenidos y después de calibrar la simulación.

Parte de los errores son debidos a que no se cumplen las condiciones necesarias para poder aplicar el modelo de trazado de rayos para todo el volumen de simulación.

En conclusión, se van a dar por validos los resultados de simulación para distancias menores de 11,5 metros.

#### **4.2.3.2. Planos bidimensionales**

Como se han limitado las consideraciones de cobertura al alcance en simulación, los planos bidimensionales no muestran las separaciones entre rayos que se podían apreciar en las en los casos de la primera aproximación.



*Figura 4.45: Plano bidimensional de distribución de potencias antena original del pasillo principal a 868 MHz.*

En el caso de la figura 4.45, se trata de una antena situada junto a la separación de las zonas 2 y 6, es la razón por la que a pesar de que no hay ningún obstáculo físico se produce una discontinuidad en la potencia recibida. La razón de esta discontinuidad reside en el redondeo del tamaño de las zonas, ya que de los cubos de 20 cm hace un redondeo hacia arriba, por lo que crea el efecto de tener menos potencia. El otro efecto es que cuando llega a la superficie de separación entre dos zonas relanza los rayos lo que también crea más efectos que no son reales, sino problemas internos del simulador.

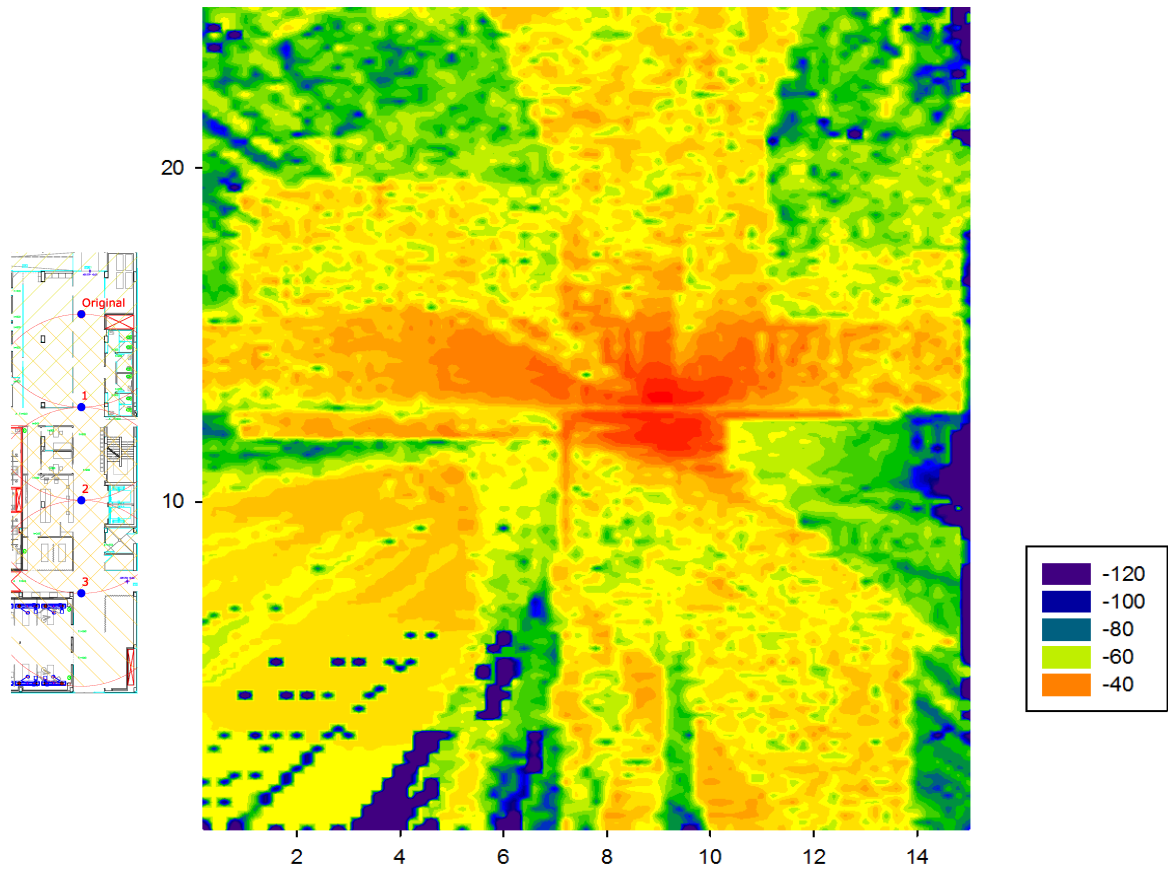


Figura 4.46: Plano bidimensional de distribución de potencias antena nueva 3 del pasillo principal a 430MHz.



### 4.2.3.3. PDP (Perfiles retardo potencia)

Estos perfiles aportan información sobre el tiempo y la potencia con la que llega una cierta componente frecuencial a un punto en concreto. Al igual que ha pasado previamente se muestran casos gráficas como ejemplo, no todas las obtenidas.

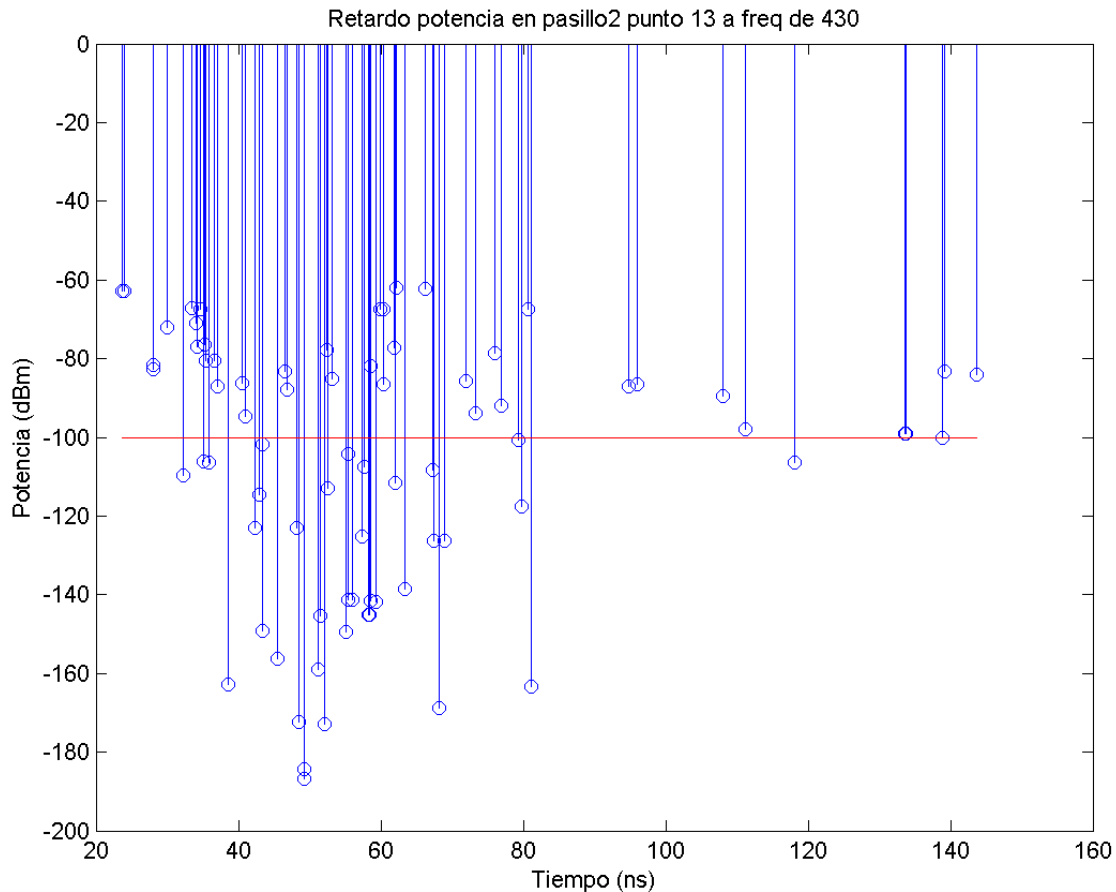
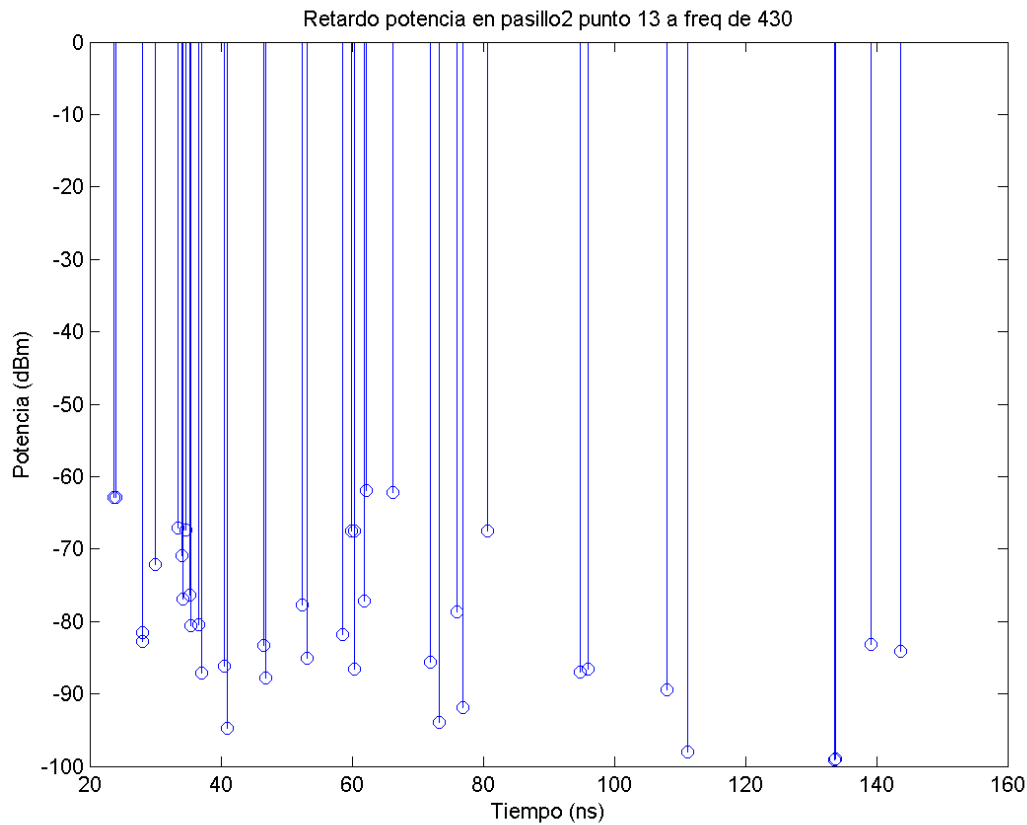


Figura 4.47: Ejemplo de comportamiento fuertemente multitrayecto

De todas las componentes multitrayecto que calcula el simulador, no todas son detectables para un sistema físico. En el mejor de los casos, se podrán detectar señales por encima de -100 dBm, por eso hay dibujada una línea horizontal roja en ese valor. Para que quede más claro en la figura 4.48 se muestran sólo las componentes multitrayecto que pueden afectar al sistema.



*Figura 4.48: Sólo las componentes multitrayecto que pueden afectar al sistema*

Este punto tiene un fuerte comportamiento multitrayecto con componentes que pueden afectar a la señal. Aunque también se pueden encontrar otros puntos sin apenas componentes por diversidad de caminos, como el que se muestra en la siguiente figura.

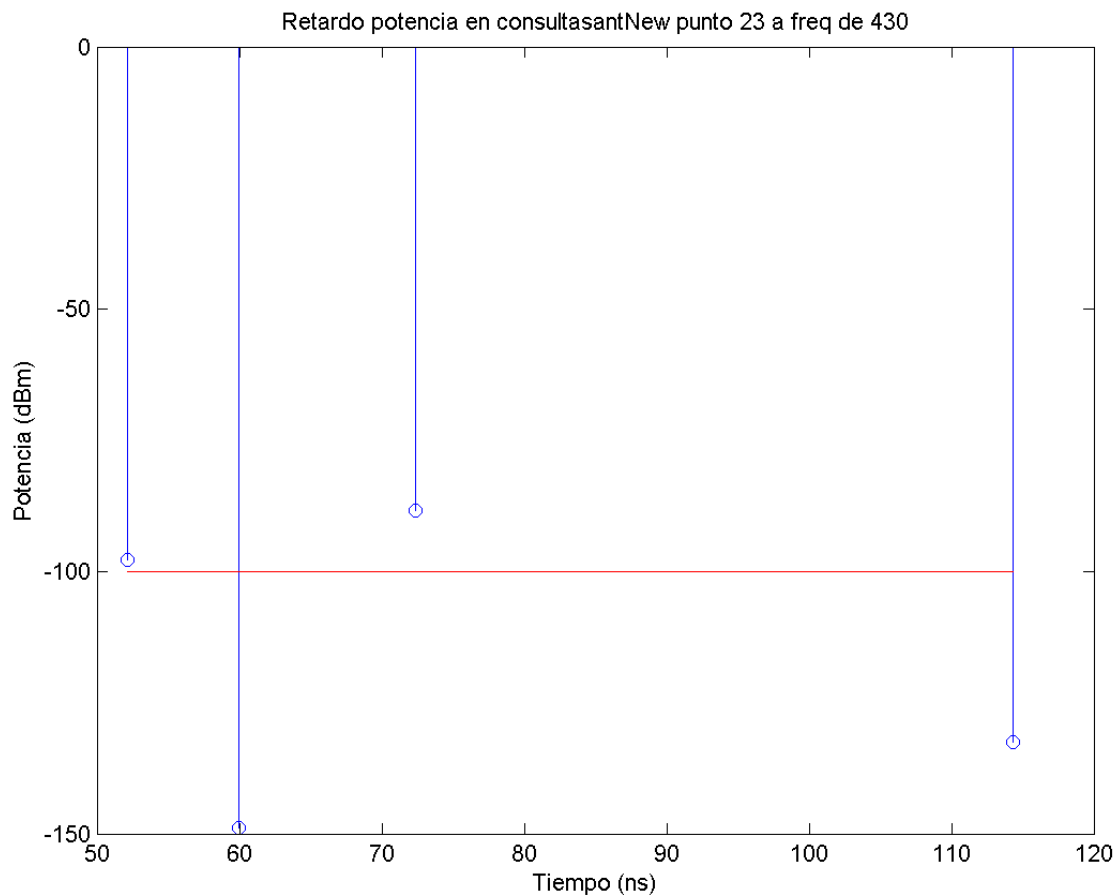


Figura 4.49: Ejemplo de punto con pocas componentes de multitrayecto

A pesar de que en algunos puntos la problemática de diversidad de caminos es leve, se tendrán en cuenta los peores casos y no los mejores a la hora de plantear la solución del problema de localización. Diseñando para el caso peor se asegura el funcionamiento en todos los casos.

Además de la potencia con la que llegan estas componentes, hay que tener en cuenta el tiempo en el que llegan, y la fase (no hay que perder de vista que se trata de ondas electromagnéticas con campos E y H, cada uno con su amplitud y fase).

Hablamos primero de la problemática del tiempo de llegada, si tenemos componentes llegando con mucho retraso habrá que esperar a que lleguen todas las componentes de esa información antes de mandar nueva. Eso implica directamente una bajada de la velocidad de transmisión. En caso de que no esperemos a que lleguen todas las componentes, se sumara la componente de la información nueva con la vieja, con lo que sera considerado como interferencia. Se puede considerar que las componentes muy tardías tienen menos potencia, por lo que no destruyen la información, pero habría que hacer un examen más exhaustivo para poder considerarlo realmente.

Si se espera a que lleguen todas las componentes estas se sumaran con distintas fases y si están en contrafase pueden llegar a destruir la señal, aunque teniendo en cuenta que, en general, hay muchas componentes llegaran con fases muy distintas entre si y el efecto no se puede prever.

Según el protocolo 802.11b la velocidad de transmisión es de  $54\text{Mbps}$  , lo que significa que el periodo de cada uno de los bits es de  $18,52\text{ns}$  , pero en los escenarios planteados siguen llegando replicas por multitrayecto hasta  $200\text{ns}$  después de haber sido enviada la información con potencia detectable a la frecuencia de  $2,4\text{GHz}$  .

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Técnicas De Localización

En este apartado se van a estudiar distintas tácticas de localización, y sobre la que se considere más adecuada se va a hacer un estudio de como implementarlo en el escenario estudiado. El objetivo en todos los casos es obtener un mapa de donde se encuentra cada uno de los terminales los cuales van a estar identificados y se va a saber quien es, como ocurre en “el mapa del merodeador” el mapa mágico descrito por J.K. Rowling en la saga de “*Harry Potter y el Prisionero de Azkaban*”[15].

En la figura siguiente se muestra los bloques necesarios para lograr estos mediante la tecnología, un sensor de localización que será el punto de acceso Wi-Fi, que obtendrá una información que le entregara a un servidor que se encargará de correr un algoritmo de posicionamiento. Una vez que sepa donde se encuentra enviara la información a los dispositivos encargados de mostrarlo, que serán los monitores de los empleados, por ejemplo.

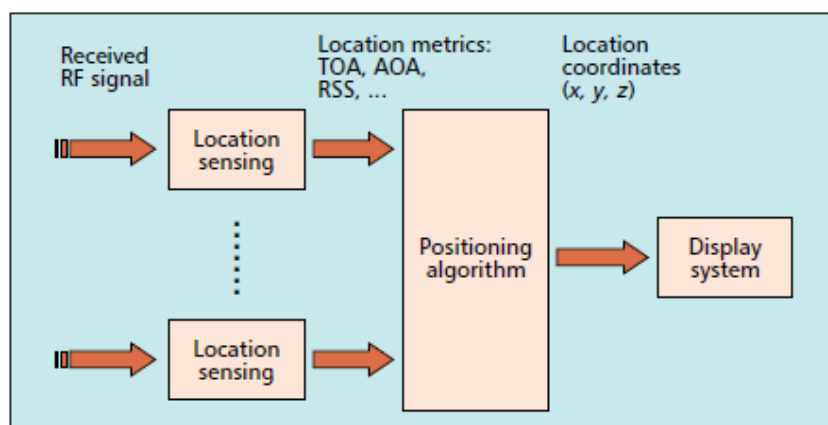


Figura 5.1: Diagrama de bloques de las funciones de localización.[17]

Los sensores de localización pueden obtener distintas informaciones, como el tiempo de llegada, el ángulo de llegada o la potencia de llegada.

### 5.1.1. AOA

AOA (Angle of Arrival) se trata de la técnica de localización por ángulo de llegada. La táctica usa como base los *arrays* de antenas<sup>18</sup> para poder detectar el ángulo de llegada.

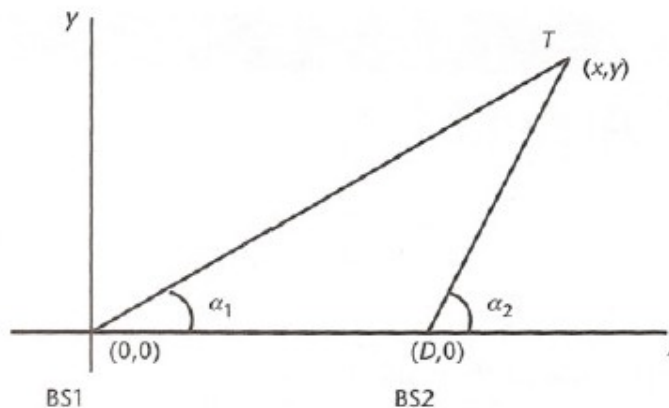


Figura 5.2: Triangulación en dos dimensiones.[3]

Se usa triangulación para situar el objeto en un plano de dos dimensiones mediante dos estaciones base situadas en el eje x, BS1 y BS2, separadas una distancia D. Los ángulos de llegada de las dos estaciones base son  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . Por trigonometría se obtiene:

$$x = \frac{D \operatorname{tg}(\alpha_2)}{\operatorname{tg}(\alpha_2) - \operatorname{tg}(\alpha_1)} \quad (5.1)$$

$$y = \frac{D \operatorname{tg}(\alpha_1) \operatorname{tg}(\alpha_2)}{\operatorname{tg}(\alpha_2) - \operatorname{tg}(\alpha_1)} \quad (5.2)$$

En ángulo de llegada de la señal no puede ser medido exactamente, se ilustra en la figura 5.3 A la incertidumbre en la medida se le llama  $\Delta\alpha_1$  y  $\Delta\alpha_2$ , respectivamente. El tamaño de la región que se crea indica el posible error cometido. La región que indica el posible error de localización es función de el error de los ángulos, los propios ángulos y la distancia entre las dos estaciones base. Se supone  $\hat{T}$  la posición encontrada, con coordenadas  $(\hat{x}, \hat{y})$  y la posición real es  $(x, y)$ , se estima el error como:

$$\text{error} = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2} \quad (5.3)$$

18 Arrays de antenas son configuraciones de antenas con más de una antena que funcionan como una sola

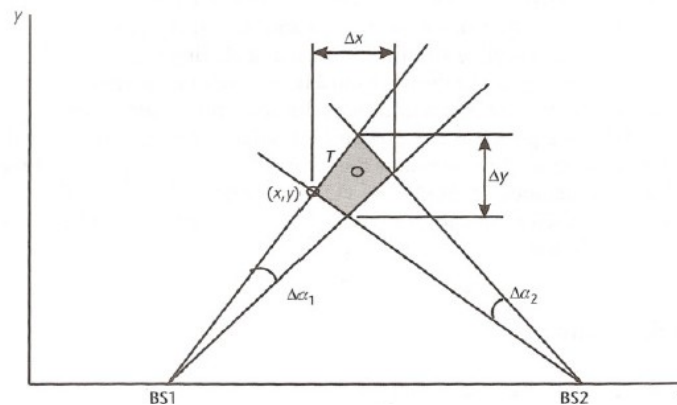


Figura 5.3: Incertidumbre en la medida [3]

La primera aplicación de esta técnica de localización fueron los radares. Para poder usar esta táctica sería necesario que los dispositivos Wi-Fi tuviesen más antenas, eso no es común, por lo que incrementaría mucho su coste.

### 5.1.2. TDOA

TDOA (Time Difference of Arrival) es un método geométrico que relaciona la distancia con la diferencia de tiempos de propagación. La localización se obtiene con intersecciones de hipérbolas.

TDOA se usa de forma unilateral (el terminal encuentra su propia posición) o multilateral, donde la diferencia entre tiempos de llegada es recogida por las estaciones base de la información enviada por el terminal.

En la figura 5.4, se muestra la geometría de localización de TDOA en dos dimensiones.  $T$  es el terminal, que transmite un pulso en el tiempo  $t_0$ , el cual es recibido por  $F_1$  (estación base 1) en el instante de tiempo  $t_1$  y por  $F_2$  en  $t_2$ . Los relojes de  $F_1$  y  $F_2$  están sincronizados, pero el de  $T$  no, por lo tanto, el tiempo  $t_0$  es desconocido para el sistema que va a calcular la posición. De todas formas, la diferencia entre tiempos de llegadas, que es  $t_2 - t_1 = (t_2 - t_0) - (t_1 - t_0)$ , puede ser calculada. El tiempo  $(t_i - t_0)$  es proporcional a las distancias  $d_1$  y  $d_2$ , mostradas en la figura 5.4, mediante la velocidad de propagación que en el aire es la velocidad de la luz en el vacío,  $c$ . La diferencia de distancias entre las dos estaciones base fijas y el terminal es  $\Delta d = d_2 - d_1 = c(t_2 - t_1)$ . Cuando todas las estaciones base están en un plano, el lugar de los puntos cuyas diferencias de distancias entre  $F_1$  y  $F_2$  son  $\Delta d$ , la constante que describe la hipérbola. De este modo, la diferencia entre tiempos de llegada que se obtiene de los instantes de medida de la llegada a dos estaciones base fijas sincronizadas indica que el terminal está localizado en algún punto de la hipérbola. La rama concreta de la hipérbola es la

más cercana al foco que primero recibe la señal. En la figura está dibujadas  $F_1$  y  $F_2$  en el eje  $x$  ambas a la misma distancia,  $D/2$ , del origen. La expresión de la hipérbola es la escrita en la formula (5.4).

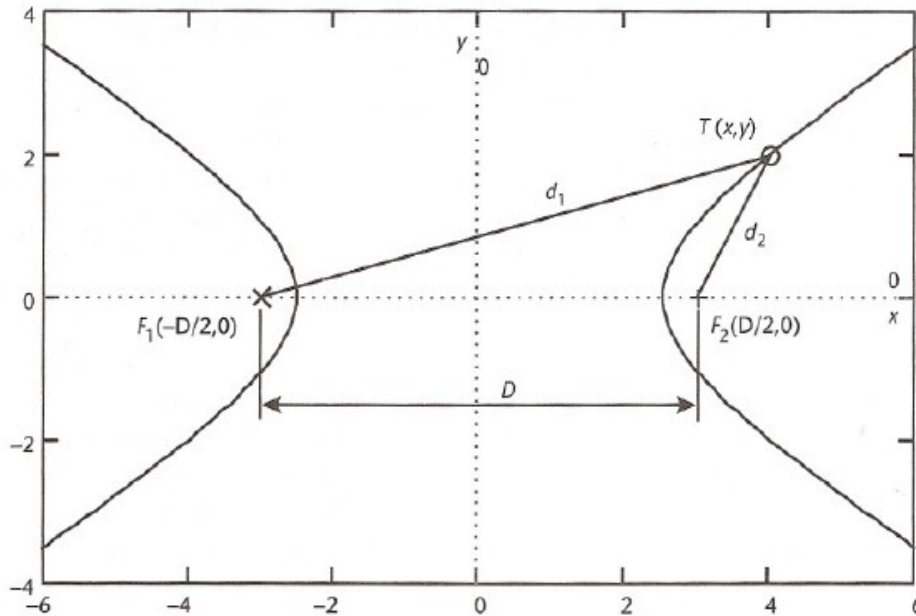


Figura 5.4: Geometría del método de localización TDOA.[3]

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (5.4)$$

Expresando  $a$  y  $b$  en términos de cualidades conocidas  $\Delta d$  y  $D$ , se obtiene:

$$a^2 = \left( \frac{\Delta d}{2} \right)^2 \quad (5.5)$$

$$b^2 = \left( \frac{D}{2} \right)^2 - a^2 \quad (5.6)$$

La generalización de este problema no tiene inconvenientes, puesto que cualquier sistema de coordenadas rectangulares puede ser trasladado y rotado para encajar con las descripción de la figura 5.4. Para resolver el problema en tres dimensiones haría falta una estación base más.

Este método de localización sufre mucho por el multitrayecto, al llegar muchas componentes de cada una de las señales no es obvio ni sencillo discernir donde está el terminal según el tiempo que tarda en llegar una componente de la señal.



### **5.1.3. RSSI**

RSSI (Received Signal Strength Indicator) indicador de intensidad de señal recibida. Es decir, esta táctica basa la localización en la potencia de la señal recibida, sabiendo que hay una relación entre la distancia y la potencia de la señal que se recibe. Aunque la existencia del multitrayecto, reflexiones, difracciones, etc. dificulta la relación entre ambas variables, como se ha explicado en el apartado 3.2. A pesar de todo esta solución va a ser la elegida por ser la más simple conceptualmente y la que puede funcionar sobre redes Wi-Fi convencionales con menor número de modificaciones. Las otras dos tácticas vistas requieren elementos que aumentan mucho el coste de la instalación, las cuales pueden ser válidas para otra aplicaciones con otras condiciones de diseño.

Para el uso de este método de localización sería necesario un mapa de propagación por interiores muy fiable, el cual se ha intentado estimar en la primera parte de este PFC.

#### **5.1.3.1. Estimación de localización por triangulación**

Las distancias se encuentran se encuentran usando las formulas de propagación (ec. Friis, por ejemplo). Las coordenadas de localización pueden ser calculadas basándose en estimaciones de modelos de propagación. El método de localización usando la intersección geométrica de dos círculos (en dos dimensiones) o tres esferas (en tres dimensiones). Las condiciones del ambiente pueden ser acotadas usando los parámetros de las normas de propagación adecuadamente.

Para redes de sensores hay una variante de este tipo de localización de estimar la localización con una sola dimensión. Cada sensor puede calcular la distancia a sus vecinos, pero no sabrá con exactitud donde esta, sino que estima a que distancia relativas a si mismo.

#### **5.1.3.2. Estimación de localización por reconocimiento de patrones**

Comparándolo con el caso anterior proporciona mejores resultados de localización. Esta técnica usa la comparación con un base de datos previamente completada para estimar la localización. La base de datos tan solo sirve para el escenario para el que se ha creado, porque contiene datos para caracterizar ese recinto en concreto.

[19] La localización por reconocimiento de patrones se refiere a una técnica basada en muestrear y recordar patrones de señales de radio en un entorno específico. Desde el punto de vista técnico, la solución de localización por reconocimiento de patrones no requiere hardware<sup>19</sup> especial, puede ser implementado completamente usando solo software<sup>20</sup>.

19 Hardware: se refiere a la parte tangible de un sistema, ya sea eléctrico, electrónico o mecánico.

20 Software: se refiere a la parte lógica del sistema, todos los programas y aplicaciones, no existe físicamente

En la localización por reconocimiento de patrones se asume lo siguiente:

- Cada punto tiene posee idealmente un patrón de radio frecuencia único. Contra más cierta sea esta afirmación, mejor funcionará el sistema.
- A pesar del esfuerzo por situar equipos idénticos, al final cada uno de los escenarios es distinto porque no hay dos edificios o plantas iguales.

El despliegue del sistema se puede dividir en dos fases: fase de calibración y fase de operación.

Durante la fase de operación, se busca compara con la información recibida del terminal con la base de datos de posibles ubicaciones según esa información, y así se decide la ubicación más probable. Así la fase de calibración es importante para que las perdidas introducidas por todos los objetos del escenario estén consideradas.

#### 5.1.3.2.1. Fase de calibración

Durante la fase de calibración, los datos son acumulados al caminar por el recinto con el dispositivo móvil y permitiendo así que los múltiples puntos de acceso (en el caso de Wi-Fi) reciban muestras de la intensidad de la señal del dispositivo móvil.

Para que haya más precisión sobre la ubicación en la que se toma la muestra de potencia, se suele usar una representación gráfica de la zona con una rejilla de puntos o alguna anotación como guía. En cada uno de los puntos de muestra tomados se guardan en una base de datos conocida como mapa-radio o conjunto de entrenamiento. La longitud del vector con la información, para una posición en concreto, lo determina el número de puntos de acceso que pueden detectar la señal del dispositivo que se encuentra en ese punto. La figura 5.5 ilustra de forma simplificada este enfoque, mostrando dos puntos de medida con sus respectivos vectores de calibración RSSI.

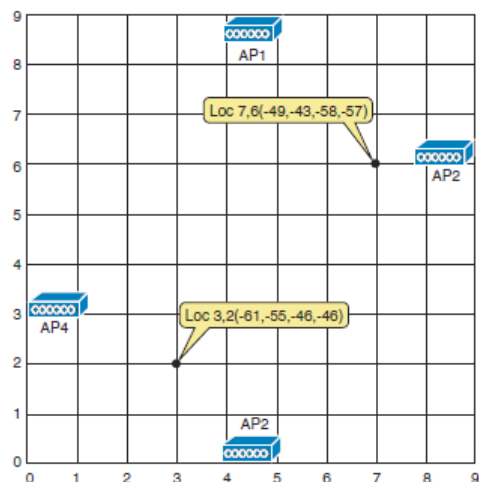


Figura 5.5: Calibración de los patrones para localización [19]

Debido a los desvanecimientos y otros fenómenos, la intensidad de potencia de una señal observada de un dispositivo no es estática, se ve como varía con el tiempo. Como consecuencia se toman varias muestras de una misma posición en el proceso de calibración.

Dependiendo de la técnica, el vector guardado de un punto en concreto puede dar cuenta de esta variaciones a través de uno o más enfoques creativos. El método más popular y simple de implementar es representar los vectores de calibración obtenidos en una sola matriz, es decir, cada uno de los puntos de la base de datos de calibración se va a representar con toda información que hay sobre el mismo. Siendo  $x$  e  $y$  las coordenadas correspondientes al punto y las  $\overline{r_{APi}}$  el vector correspondiente a la punto de acceso  $i$ .

$$(x, y) = (\overline{r_{AP1}}, \overline{r_{AP2}}, \overline{r_{AP3}}, \overline{r_{AP4}}) \quad (5.7)$$

### **5.1.3.2.2. Fase de operación**

En la fase de operación, el grupo de puntos de acceso miden la intensidad de la señal que llega de un dispositivo móvil (implementación del lado de la red<sup>21</sup>) y transmiten esa información a al servidor de seguimiento de la posición. El servidor de posición usa un algoritmo<sup>22</sup> junto con la base de datos obtenida previamente para estimar la posición. El servidor reporta la localización estimada a la aplicación cliente que requiera de ella.

Los algoritmos de posicionamiento de RSSI mediante el uso de patrones pueden clasificarse en tres grupos básicos:

- Algoritmos deterministas: estos buscan en la base de datos de posiciones aquel vector de calibración que sea el más “parecido” al vector potencias que se acaba de medir. Pero el mínimo de potencias no tiene porque coincidir con el mínimo de distancias. El “parecido” en estos algoritmos se calcula basándose en las distancias mínimas Euclideas, de Manhattan o de Mahalanobis.
- Algoritmos probabilísticos: utilizan inferencias de probabilidad para determinar la probabilidad de estar en un determinado lugar, dado que ya se ha detectado una matriz de vectores de una ubicación determinada. La base de datos de calibración sí es considerada como una distribución de probabilidad a priori de condicional por el algoritmo para determinar la probabilidad de ocurrencia de una determinado lugar. Ejemplos de tales enfoques incluyen aquellos mediante inferencias de probabilidad bayesiana.

21 La implementación del lado de la red supone que los que miden la potencia son los puntos de acceso, en el caso contrario serían los dispositivos móviles los encargados de recoger la información.

22 Algoritmo: es un conjunto preescrito de instrucciones, ordenadas y finitas que permiten realizar una actividad mediante pasos que no generen duda sobre el orden en el que deben realizarse.

- Otras técnicas que quedan fuera de los dos tipos de algoritmos previos. Uno de los enfoques consiste en la suposición de que los patrones de localización son demasiado complejos para ser analizados matemáticamente, por lo tanto, requieren de la aplicación de funciones discriminantes no lineales para la clasificación (redes neuronales, figura 4.28). Otra técnica, conocida como modelado de soporte vectorial o SVM (*support modeling vector*), que consisten en un conjunto de algoritmos de aprendizaje supervisado.

Para comprender cómo funcionan estos algoritmos de localización, se puede examinar un sencillo ejemplo que muestra el uso de un algoritmo determinista, que en este caso será el de distancia Euclídea. Como se ha mencionado anteriormente, los algoritmos deterministas calculan el mínimo entre la el vector de potencia medido y uno de los que se encuentra en la base de datos, pero este mínimo puede o no coincidir con la distancia mínima física (en metros).

Por ejemplo, asumir dos los puntos de acceso  $X$  e  $Y$  y un dispositivo móvil  $Z$ . El punto de acceso  $X$  informa de un dispositivo móvil  $Z$  con una muestra RSS  $x_1$ . Casi simultáneamente, el punto de acceso  $Y$  informa de una muestra RSS  $y_1$  del dispositivo móvil  $Z$ . Estos dos informes RSS pueden representarse como un vector de ubicación  $(x_1, y_1)$ . Suponga que, durante la fase de calibración, una gran población de los vectores de la posición tienen la forma de  $F(x_2, y_2)$  dentro de la base de datos del servidor de posición, donde  $F$  representa las coordenadas físicas reales de la ubicación registrada.

El servidor de posición puede calcular la distancia Euclídea  $d$  entre el vector de ubicación actual  $(x_1, y_1)$  y cada uno de los vectores de calibración, de la siguiente forma:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5.8)$$

Las coordenadas físicas  $F$ , asociadas en la base de datos de localización con la distancia Euclídea mínima obtenida, se considera generalmente la posición estimada del dispositivo.

Queda patente que el sistema por reconocimiento de patrones hay que diseñarlo y calibrarlo exclusivamente para cada uno de los recintos en los que se quiera localizar. También que habría que recalibrarlo si surgiese cualquier cambio significativo en el recinto o en la posición de los puntos de acceso.

### 5.1.4. Comparativa

	AoA	TDOA	RSS (patrones)
Requisitos	Array de antenas	3 estaciones más	Entrenamiento previo (mapa de potencias)
Precisión	Media	Alta	Media
Coste	Alto	Alto	Bajo
Cobertura	Alta	Alta	Baja
Problemas	NLOS <sup>23</sup>	Multitrayecto Necesita antenas colineales	Multipath fading Shadowing

Tabla 5.1: Comparativa de los métodos de localización.

<sup>23</sup> NLOS (Non-line-of-sight): es que no llegue componente directa al receptor, es decir, que no haya visión directa entre el emisor y el receptor.

## **5.2. Potencia Recibida Y Perfiles De Retardo Potencia**

Este apartado pretende ilustrar los datos más relevantes para la elección del sistema de localización. Por una parte, los perfiles de retardo potencia y como van variando según avanza la señal, y por otra, como varía la potencia recibida con la distancia.

### **5.2.1. Perfiles de retardo potencia a lo largo de un pasillo**

Estos perfiles, como se ha visto previamente, estudian el multitrayecto. Lo que se pretende demostrar con este apartado es que según avanza la señal, con sus múltiples trayectos, cada uno de ellos a recorrido más distancia por lo que tiene menos potencia y por tanto menos relevancia. Aunque como esta información se ha obtenido de los resultados de simulación, parte de las componentes no aparecen por la divergencia de los rayos.

En las siguientes figuras, se van a ver las líneas de propagación centrales de los dos pasillos medidos. En los cuales se puede observar como van cayendo en potencia las componentes multitrayecto, y sobre todo en el caso del pasillo principal van desapareciendo las componentes. También se puede apreciar que las componentes multitrayecto llegan cada vez más tarde porque recorren caminos más largos.

Como en las figuras anteriores, el punto rojo representa la antena transmisora y los puntos numerados distintos puntos de medida.

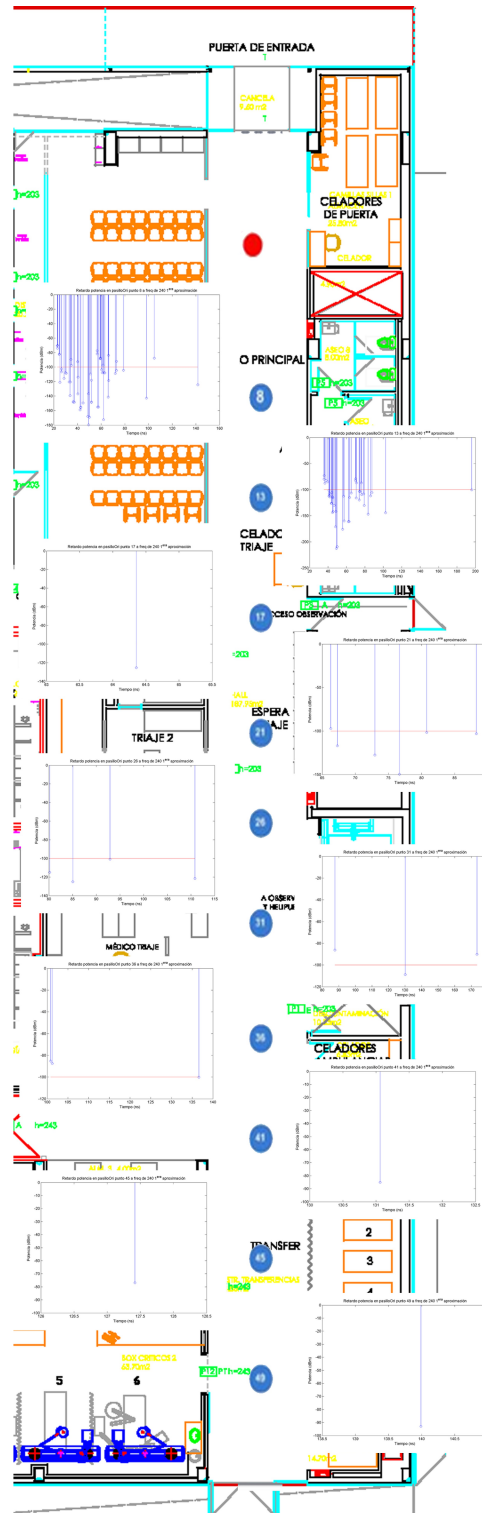


Figura 5.6: Pasillo principal con los PDP de la línea central.

En la figura 5.6, donde se muestra el plano del pasillo principal con los perfiles de retardo potencia que se obtienen según se propaga la señal, se aprecia que contra más se aleja de la antena transmisora hay menos componentes multirrayecto. Esto se debe sobre todo a que hay menos resolución por la divergencia de los rayos, porque el simulador no necesita una potencia mínima para detectar, guarda todas las componentes que llegan al punto por muy baja que sea su potencia.

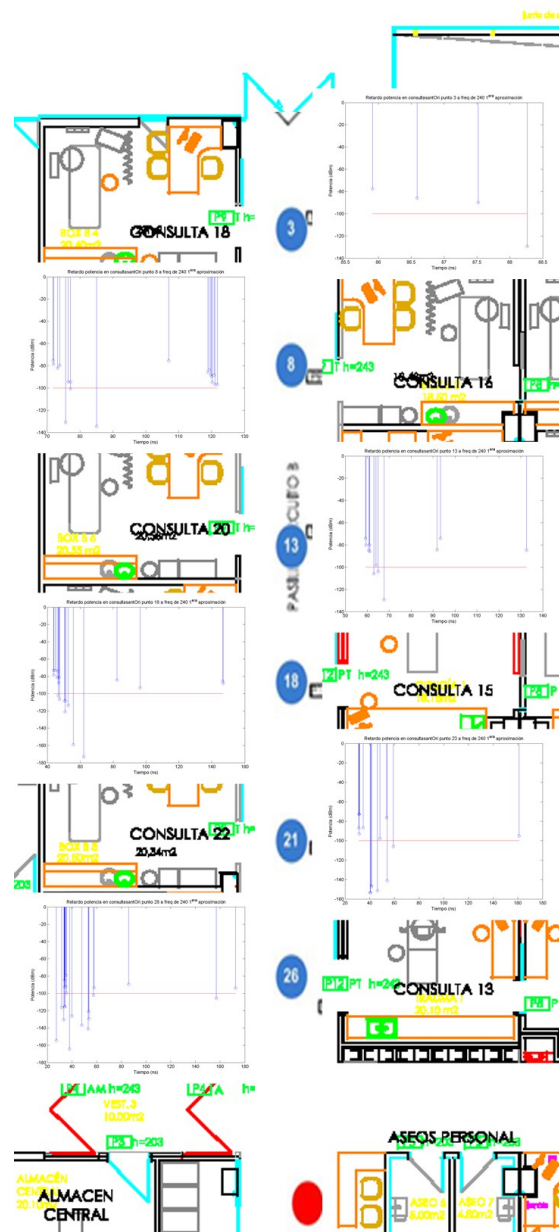


Figura 5.7: Pasillo de consultas del circuito B con los PDP de la línea central.

En la figura 5.7 se muestra el pasillo de consultas con los perfiles de retardo potencia correspondientes a las medidas en el centro del pasillo. Como era de esperar las componentes multitrayecto llegan antes y con más potencia a los puntos más cercanos a la antena transmisora.



## 5.2.2. Potencia recibida a lo largo de un pasillo

Como ya se ha demostrado anteriormente, la divergencia de los rayos impide que el simulador proporcione resultados válidos a largas distancias. Por tanto, el estudio sobre las pérdidas con la distancia se va a hacer sobre las medidas de la primera aproximación, que son las que tienen más relevancia en este caso.

Se puede empezar, observando la nube de puntos que queda de representar los valores de potencia medidos frente a la distancia en el caso del pasillo principal (figura 5.8). La numeración de los puntos corresponde con la de la figura 4.15, pero como es difícil de visualizar que es lo que está ocurriendo en realidad, puesto que el la señal está afectada por distintos efectos en cada uno de los puntos.

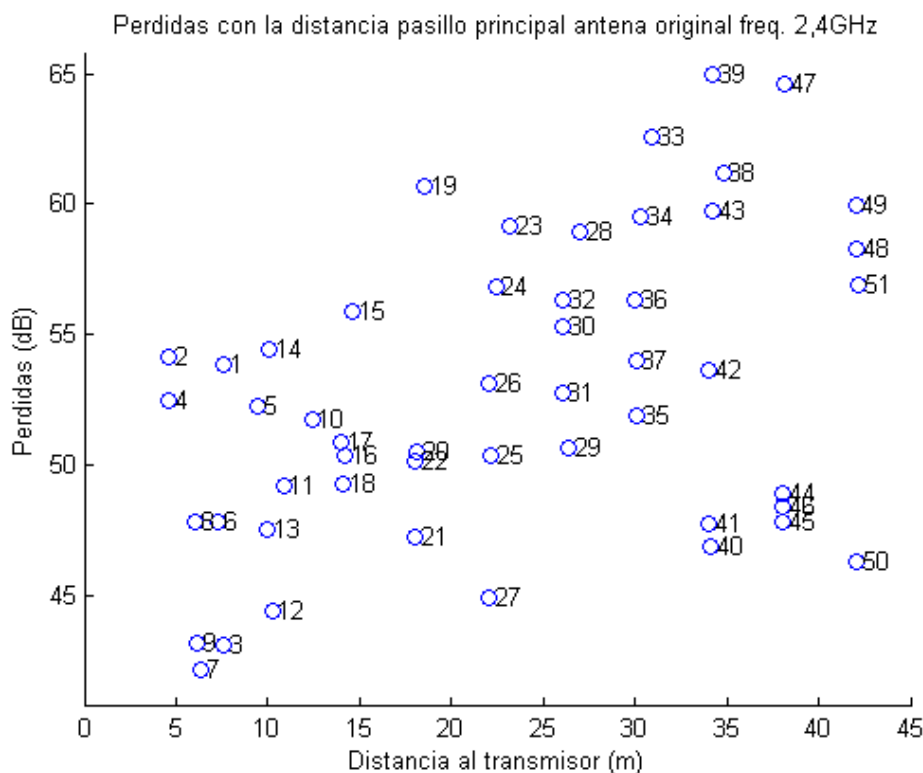


Figura 5.8: Puntos del valor de pérdidas frente a distancia pasillo principal.

En la siguiente figura se muestran los mismos valores pero uniendo los puntos que están en la misma vertical, según el plano de la figura 4.15.

Los altibajos que sufren las líneas son debidos al multitrayecto y al resto de efectos sufridos por la señal. La figura con la que se debería comparar este efecto es la 3.19, la cual representa todos los altibajos que sufren las señales al propagarse.

A pesar de todo, los datos obtenidos de las medidas son puntuales, puesto que sólo se tomaron cada 4 metros. Ese hecho también distorsiona los datos obtenidos.

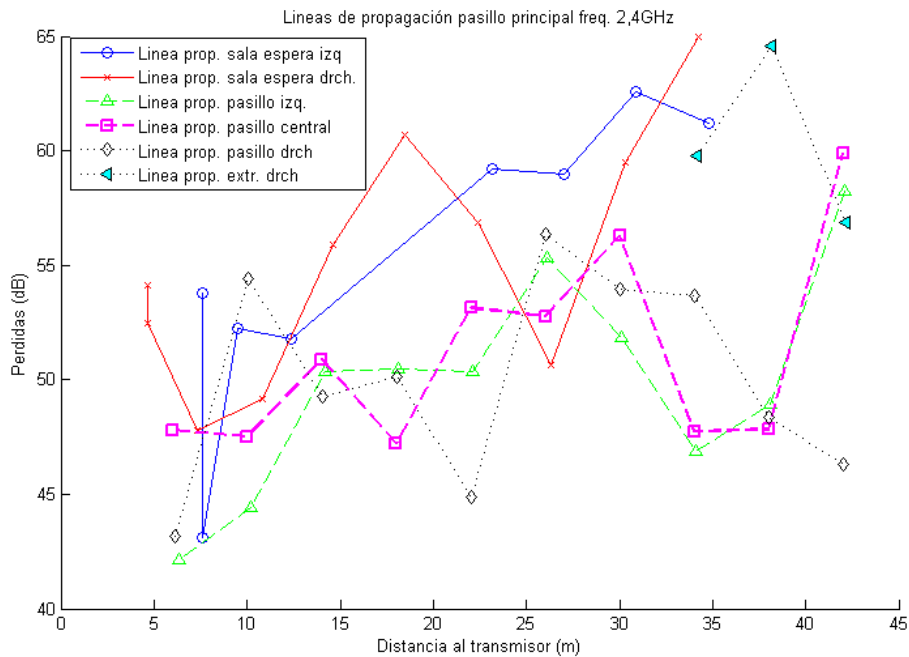


Figura 5.9: Lineas de propagación en el pasillo principal.

El ejemplo del otro pasillo, el de consultas, es bastante más esclarecedor, ya que se pueden interpretar de forma casi directa las pérdidas que se están viendo. Las líneas (de la figura 5.10) corresponden a tomar los puntos de la figura 4.17 en vertical, y nombradas de izquierda a derecha del mismo.

La línea con menos pérdidas, es decir a donde llega más potencia, es la central del pasillo, sin ningún tipo de obstáculo. En el otro extremo, las dos líneas con más pérdidas a corta distancia corresponde a los datos tomados en el interior de las consultas aisladas electromagnéticamente, por tener las paredes plomadas. A partir del cuarto dato las consultas ya no están aisladas, por lo que las pérdidas en esos puntos son menores. Las dos líneas del lado izquierdo corresponden a consultas sin aislamiento, las pérdidas aumentan según aumenta la distancia como era de esperar y son mayores que el caso sin obstáculos, como también era de esperar.

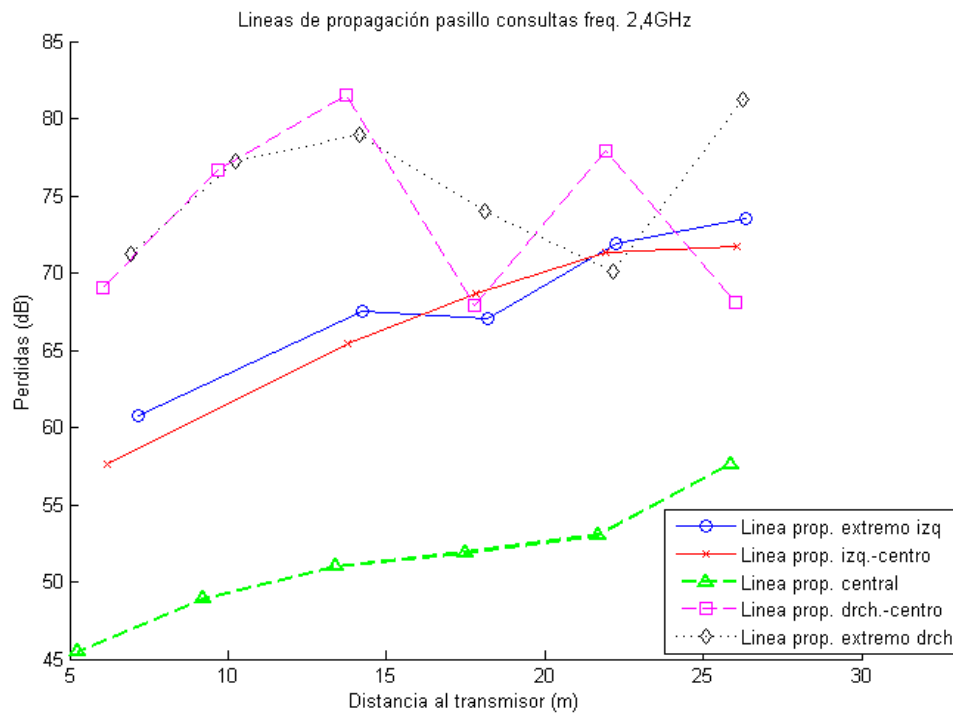


Figura 5.10: Perdidas frente a distancia como líneas de propagación en el pasillo de consultas

A modo de observación, porque no se pueden observar las líneas de propagación por la configuración utilizada, las perdidas en la zona de los boxes quedan de la siguiente forma:

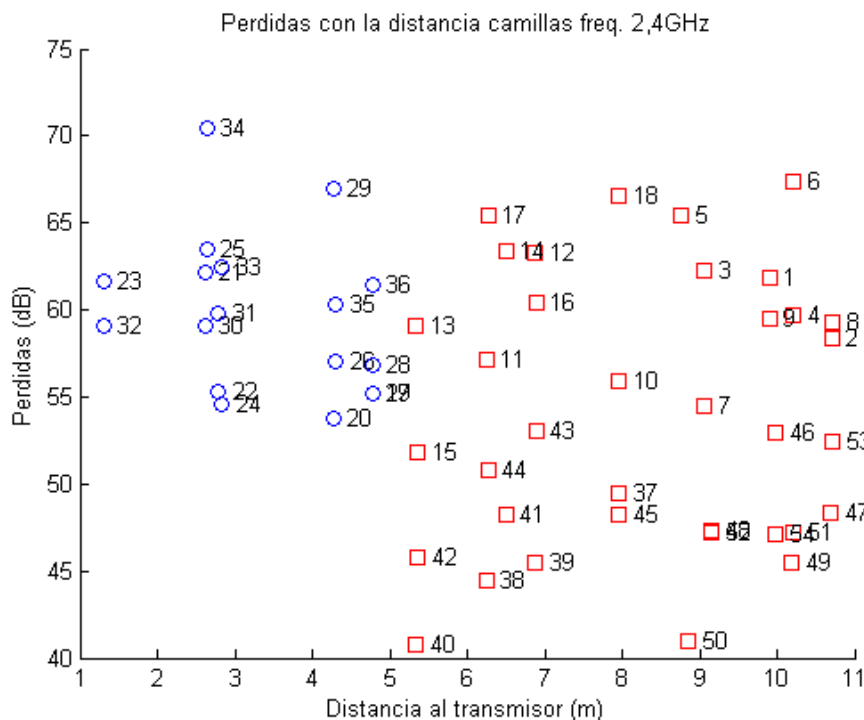


Figura 5.11: Perdidas frente a distancia mostrado como puntos en la zona de los boxes

Donde los puntos corresponden a medidas con visión directa y los cuadrados a los que tenían obstáculos. La observación fundamental de este es que el comportamiento es completamente aleatorio e impredecible. También hay que destacar que estos datos no se tomaron bajo condiciones óptimas de medida, puesto que fueron tomadas apoyando la antena receptora sobre las barras metálicas situadas donde se situarán los separadores (entre las camillas).

Al acercar la antena a un objeto metálico, cambia su impedancia de entrada y en conclusión también su frecuencia de resonancia. Se puede asumir que el error es el mismo para todos los datos y darlos por válidos.

La única explicación razonable al hecho de que los puntos que corresponden al sala de la derecha (plano de la figura 4.19), tengan más potencia (menores pérdidas) es que está junto a una pared metálica que corresponde al aislamiento de la sala de reanimación.

### **5.3. Propuesta De Solución Del Sistema De Localización**

La solución que se va a proponer en este PFC, como ya se puede haber intuido por las justificaciones previas, va a basarse en la tecnología Wi-Fi. Cualquier otra de las tecnologías existentes (RFID, por ejemplo) deberían usar también Wi-Fi para poder comunicar las estaciones base entre si y a los servidores. El sistema Wi-Fi del que se va a hablar a partir de ahora, IEEE 802.11g, es el más extendido en este momento en Europa. Su velocidad máxima teórica (en condiciones óptimas) es de  $54\text{ Mbps}$ .

De todas las posibles soluciones basadas en Wi-Fi, la más simple y barata es la basada en potencias recibidas (RSS). Debido básicamente a que no necesitan hardware (nota 19) complementario, únicamente software.

Las antenas Wi-Fi emiten típicamente  $15\text{ dBm}$  (unos  $32\text{ mW}$ ) y pueden detectar hasta  $-80\text{ dBm}$  ( $100\text{ pW} = 0,0000000001\text{ W}$ ) a bajas velocidades ( $2\text{ Mbps}$ ). Para el sistema que se quiere implementar no son necesarias velocidades altas. La conclusión que se obtiene de estos datos es que se pueden perder  $P_{tx} - S_{rx} = 15\text{ dBm} - (-80\text{ dBm}) = 95\text{ dB}$ , donde  $S_{rx}$  es la potencia mínima que tiene que llegar al receptor para que se pueda detectar la señal, conocida como sensibilidad.

El sistema RSS con reconocimiento de patrones necesita triangular, al igual que el sistema RSS que funciona únicamente por triangulación. El reconocimiento de patrones es la forma de evitar los errores creados por la llegada de distintos niveles de potencia desde la misma distancia o al revés.

Para que la triangulación funcione correctamente debería llegar a cada dispositivo señal de al menos 3 puntos de acceso.

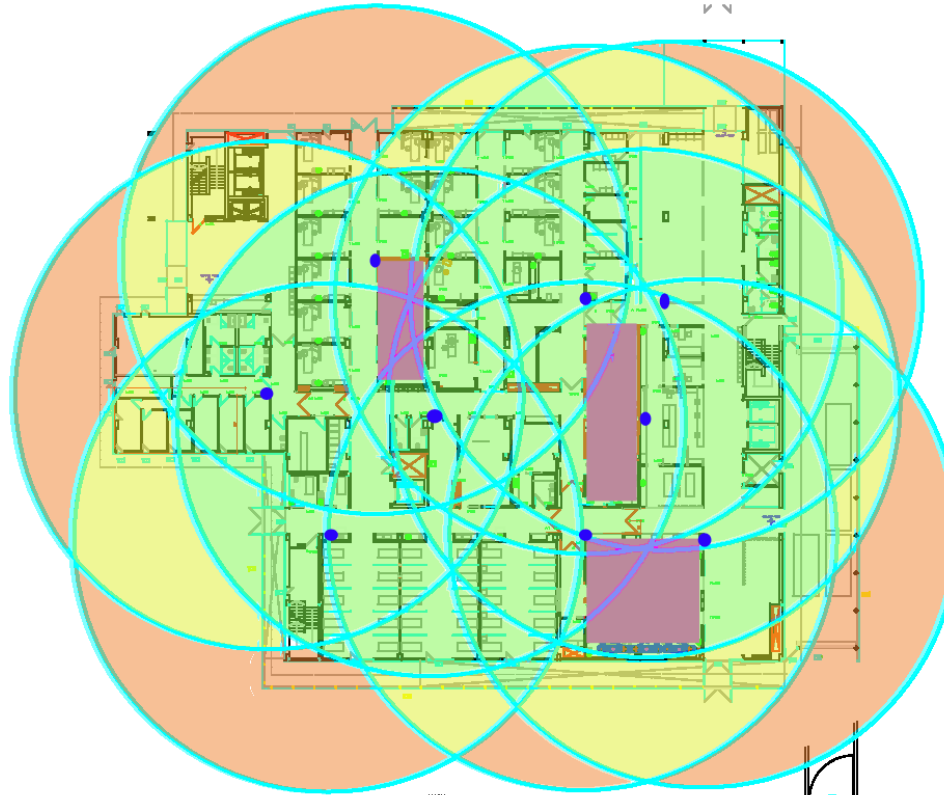
En todos los casos estudiados las pérdidas más significativas ocurrían dentro de las habitaciones aisladas y estas no superaban los  $95\text{ dB}$  que podría soportar el sistema. Para que contar con un margen de seguridad amplio se van a considerar de  $75\text{ dB}$  las pérdidas máximas soportadas.

De los resultados obtenidos, vistos en el apartado 5.2, se puede tomar como equivalente a  $75\text{ dB}$  de pérdidas  $25\text{ m}$  de distancia para el caso de que no haya habitaciones aisladas por medio. Para el caso de las habitaciones plomadas el radio cae a  $10\text{ m}$ .

Tomando estos datos como referencia se va a proponer un posicionamiento para los puntos de acceso que logren dar cobertura a todo el recinto con necesidades de localización.

Esta propuesta se va a hacer únicamente sobre papel, a pesar de no ser muy exacta,

puesto que el simulador falsearía los resultados al no se capaz de tener resolución más allá de 11,5 metros (con resolución de cubos de 20 cm de lado).



*Figura 5.12: Mapa cobertura para las zonas no plomadas.*

Haciendo un propuesta de posicionamiento de los puntos de acceso la cobertura quedaría más o menos como muestra la figura 5.12. En la cual los puntos azules representan la ubicación de la antenas, los rectángulos fucsias las zonas plomadas (para las cuales este plano no es válido), y el sombreado de colores indica cuantos puntos de acceso dan cobertura a esa zona.

El sombreado rojo representa que únicamente le da cobertura un punto de acceso, el amarillo es el caso de dos y el verde más de tres.

Para el caso de las zonas plomadas, considerando que las puertas están cerradas y el aislamiento funciona de verdad, la penetración en las habitaciones aisladas se parecería más al mapa de coberturas mostrado en la figura 5.13. El código de colores utilizado es el mismo que el de la figura anterior.

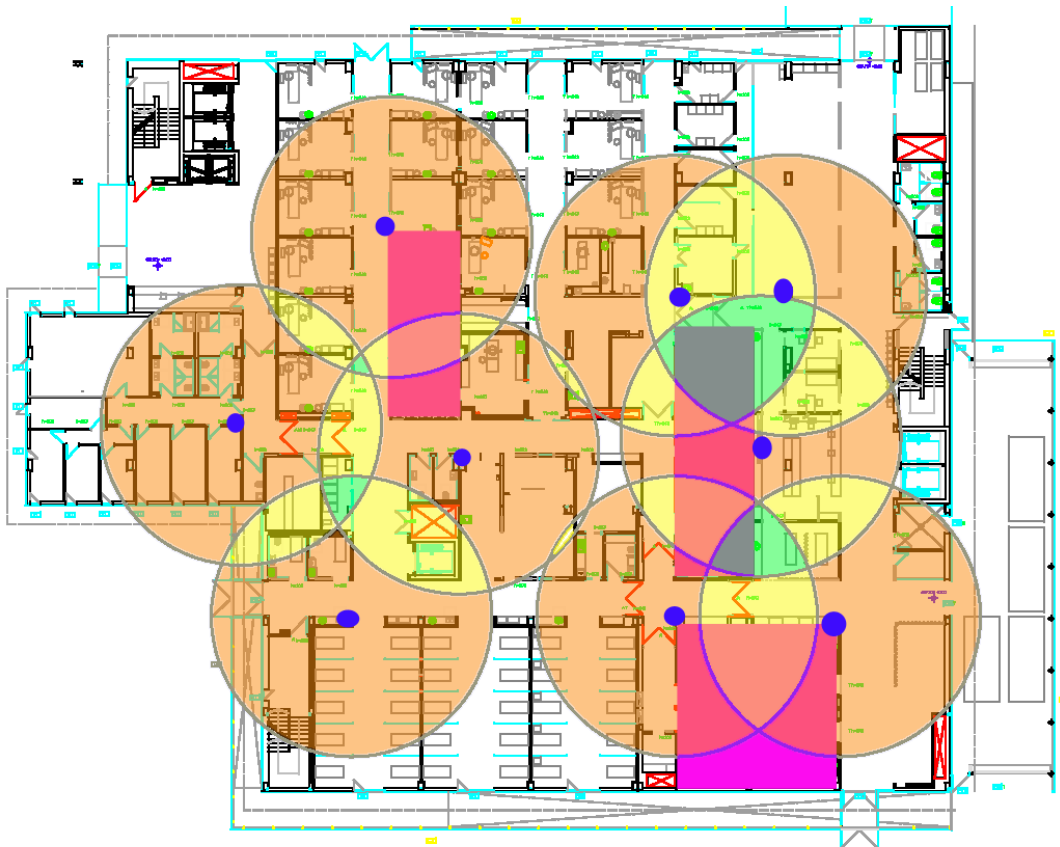


Figura 5.13: Mapa cobertura para las zonas plomadas.

Una vez analizado hasta donde podría llegar la cobertura de las antenas se van a plantear que hacer si no se dan las condiciones óptimas. Si en se da el caso de no recibir señal de todas las antenas necesarias para calcular bien la triangulación, como puede ocurrir dentro de las habitaciones plomadas, el sistema se apoyara en el reconocimiento de patrones por ejemplo. Es decir, el sistema puede aprender que si llega un nivel de potencia concreto, aunque sólo sea a uno de los puntos de acceso eso corresponde a estar en la consulta X o en una de las salas de rayos.

Otra de las cuestiones que se puede tener en cuenta para el refinamiento de la posición es tener en cuenta la linealidad del movimiento, es decir, que el paciente no va a moverse a saltos por el edificio, que si al calcular la localización salen dos posibles ubicaciones, la más probable es la más cercana a la ubicación previa.

Una forma de ahorrar la batería de los dispositivos sería localizar únicamente cuando detecten movimiento, es decir, que incluyan un sensor que detecte el movimiento. Así al detectar el movimiento se activará la antena, para captar la señal que llega de los puntos de acceso, y si no se mantendrá en reposo, ahorrando así en batería.





## 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 6.1. Conclusiones

- Es imposible predecir con exactitud el comportamiento de una onda electromagnética propagándose en un entorno interior, sólo se puede estimar.
- Las técnicas de predicción de propagación por trazado de rayos sufren problemas de divergencia de rayos.
- La existencia de habitaciones con aislamiento electromagnético dificulta la planificación del sistema de localización.
- En general, la topología y la morfología juegan un papel relevante en la caracterización radioeléctrica de un recinto interior complejo. Este hecho viene determinado fundamentalmente por la propagación multitrayecto, siendo una constatación clara del mismo los perfiles de retardo potencia del recinto.
- La característica multitrayecto dificulta la aplicación en entornos interiores de técnicas de localización basadas en ángulos de llegada (AOA) o diferencia de tiempos de llegada (TDOA).

## **6.2. Líneas Futuras**

Se pueden enfocar las líneas futuras de este PFC desde dos puntos de vista, por un lado la mejora de los sistemas de predicción de propagación en interiores, y por el otro lado la expansión de la localización al resto del hospital.

La mejora del algoritmo de trazado de rayos mediante el uso de redes neuronales permitiría la predicción de la propagación sin problemas de divergencia. Eso supondría un gran avance en para la estimación de la propagación en interiores.

Con la mejora de estimación de la propagación, se podría hacer un análisis más a profundo del carácter temporal de la señal y así se podrían plantear técnicas de TDOA como sistema de localización.

La recomendación de uso de técnica de localización de RSSI sobre Wi-Fi se podría apoyar en sistemas de RFID para mejorar la precisión.

Otra opción de futuro sería usar la tecnología ZigBee. Está es relativamente nueva y no a alcanzado el nivel de madurez para adecuado para plantear seriamente su implantación inmediata. Aunque en un futuro sería una gran alternativa por la larga duración de las baterías de los dispositivos.

Desde el punto de vista de la expansión de la localización al resto del hospital. Para lograrlo habría que hacer dos cosas, por un lado incluir puntos de acceso en el resto del hospital. Por el otro, darles a los pacientes que no ingresan por urgencias el dispositivo de localización. En este momento entre el 55 y el 60% de los pacientes ingresan desde urgencias, por tanto la mayor parte de los dispositivos seguirían distribuyéndose en urgencias.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1RABA08] Jose María Hernando Rábanos, “Transmisión por radio”, Editorial Universitaria Ramon Areces, 2008.
- [2] Jose María Hernando Rábanos, “Comunicaciones móviles”, Editorial Universitaria Ramon Areces, 2004.
- [3] Alan Bensky, “Wireless Positioning Technologies and Applications”, Editorial Artech House, 2008.
- [4] Yang Xiao y Yi Pan, “Emerging Wrireless LANs, Wireless PANs, and Wireless MANs”, Editorial WILEY, 2009.
- [5] Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook: Fundamentals an Applications in Conccatless Smart Cards and Identification”, Editorial Wiley, 2003
- [6] Shahin Frahani, “ZigBee Wireless networks and Transceivers”, Editorial Elsevier, 2008
- [7] Fermín Esparza Alfaro, “Algoritmo de trazado de rayos en tres dimensiones para la caracterización de entornos interiores”, Universidad Publica de Navarra, 2009
- [8] Peio Lopez Iturri, “Análisis topológico de redes de sensores inalámbricos en entornos interiores complejos”, Universidad Publica de Navarra, 2011
- [9]Dante I. Tapia, Javier Bajo, Juan M. Sánchez, Juan F. De Paz, Sara Rodríguez, Juan M. Corchado, “Mecanismos inteligentes para la localización de pacientes en residencias geriátricas”, Departamento Informática y Automática, Universidad de Salamanca, Noviembre 2007
- [10] Ekahau “Solution Sheet Patient Safety” 2009
- [11] Ekahau “Datasheet Wereable Wi-Fi tag T301W” 2012
- [12] AeroScout “Solución de Visibilidad para Hospitales” diciembre 2010
- [13] Folleto publicitario TSB SPHERAhospital
- [14] [www.wi-fi.org](http://www.wi-fi.org)

- [15] Xinwen Fu, Nan Zhang, Aniket Pingley, Wei Yu, Jie Wang, and Wei Zhao, “*The Digital Marauder’s Map: A WiFi Forensic Positioning Tool*”, IEEE Transactions on mobile computing, vol. 11, No. 3, March 2012
- [16] Dogsheng Wang, Yanru Zhao, Junjei He “*The Algorithm for Wireless Location Error and Performance Analysis in Mobile Communication System*”, international Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2010
- [17] Kaveh Pahlavan and Xinrong Li, “Indoor Geolocation Science and Technology”, IEEE Communications Magazine, February 2002
- [18] Kevin Curran, Eoghan Furey, Tom Lunney, Jose Santos, Derek Woods, “*An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies*”, Intelligent Systems Research Centre, Faculty of Computing and Engineering, University of Ulster
- [19] “Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide” , Cisco, Mayo 2008
- [20] Jaakko Suutala, “*Learning discriminative models from structured multi-sensor data for human context recognition*”, University of Oulu, Faculty of Technology, Department of Computer Science and Engineering, Junio 2012
- [21] IndoorAtlas Ltd. “*Ambient magnetic field-based indoor location technology, Bringing the compass to the next level*”, Julio 2012
- [22] Javier Fdez. De Muniain, “Canal Móvil”, Apuntes Comunicaciones móviles y por satélite curso 2011-12
- [23] [www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)
- [24] Product Specification AE020033-J, Picea 2.4 GHz Swivel Antenna Part No. B5771
- [25] treelogic RFID, presentación Julio 2007

## 8. ANEXOS

### **A. Material E Instrumentación Empleado**

El material utilizado es, por una parte, el que se uso en las sesiones de medida y que esta detallado en el apartado 4.2.1 y que tiene las hojas de características incluidas a continuación o referencias en la bibliografía.

Por otra parte, el material necesario para las simulaciones y el tratamiento de todos los datos obtenidos.

Las características de los ordenadores empleados para las simulaciones son de:

- 16 Gbits de memoria RAM
- 4 procesadores

Los programas empleados para las simulaciones y el tratamiento de los datos fueron:

- Autocad 2007 y 2008
- Matlab 2009b
- Sigmaplot 2011 y 2012
- Microsoft Excel
- LibreOffice calc

## A.1. Hojas especificaciones de algunos componentes



Magnetic Mount

### New Models!

These antennas are free space designs and are ground plane independent. High gain coupled with low loss cable compensates for the losses that occur at higher bands. All antennas use low loss RF-195 cable to improve efficiency. The vertical radomes are black fiberglass with an ABS base assembly. All antennas are weatherproof.

The magnetic mount models have a 2.6" (66 mm) base, and use a strong commercial magnet. They provide a scratch resistant covering on the bottom. The cable exits out of the side of the base. Special "EF" elevated feed versions are available. These models have the radiating element located higher in a longer radome, providing more clearance of lightbars on police vehicles.

## ECO Series Mobile Antennas (Pat.Pnd.)

Models For 2.4 - 6 GHz

Groundplane independent designs can be used on any surface.

### Magnetic Mount Models

Frequency	Gain	Height	Model
2.4 - 2.5 GHz	5 dBi	12.0 in/31 cm	ECOM5-2400

Specifications			
<b>Frequency:</b>		<b>Trunk Mount Size:</b>	1"H x 3"L x 2.75"W (25 mm x 76 mm x 70 mm)
<b>Gain:</b>	See above	<b>Trunk Mount Method:</b>	Dual set screws, allen wrench supplied
<b>Bandwidth:</b>	See above @2:1 SWR	<b>Cable Length/type:</b>	10 ft of RF-195 (3 meters)
<b>Impedance:</b>	50 Ohm nominal	<b>Connector:</b>	Male TNC, N or SMA. Specify at time of order.
<b>Maximum Power:</b>	10 Watts		
<b>Radome:</b>	Black Fiberglass		
<b>Base/Mount:</b>	ABS plastic & steel		
<b>MAG Base Size:</b>	2.6" D (66 mm)		

## AN480

### High-Performance Worldwide Indoor Wide Band Antenna\*




---

#### Physical Characteristics

---

Dimensions:	Without mounting screws:
	10.2 in. L x 10.2 in. W x 1.32 in. D 25.91 cm L x 25.91 cm W x 3.35 cm D
	With mounting screws:
	10.2 in. L x 10.2 in. W x 1.98 in. D 25.91 cm L x 25.91 cm W x 5.03 cm D

Weight:	2.5 lbs./1.13 kg
---------	------------------

Polarization:	LHCP and RHCP
---------------	---------------

---

#### User Environment

---

Frequency:	865-956 MHz
------------	-------------

Environmental Sealing:	IP54
------------------------	------

Connectors:	Type "N" female
-------------	-----------------

Max. VSWR	1.22:1
-----------	--------

Free Space:

Max. VSW Ground at .15 Meter:	1.3:1
-------------------------------	-------

Nominal Impedance:	50 Ohm
--------------------	--------

Horizontal 3 dB Beam Width:	65°
-----------------------------	-----

Vertical 3 dB Beam Width:	65°
---------------------------	-----

Gain:	6 dBil max.
-------	-------------

Axial Ratio:	1.5 dB max.
--------------	-------------

DC Resistance:	10K Ohm
----------------	---------

Front to Back Ratio:	18 dB
----------------------	-------

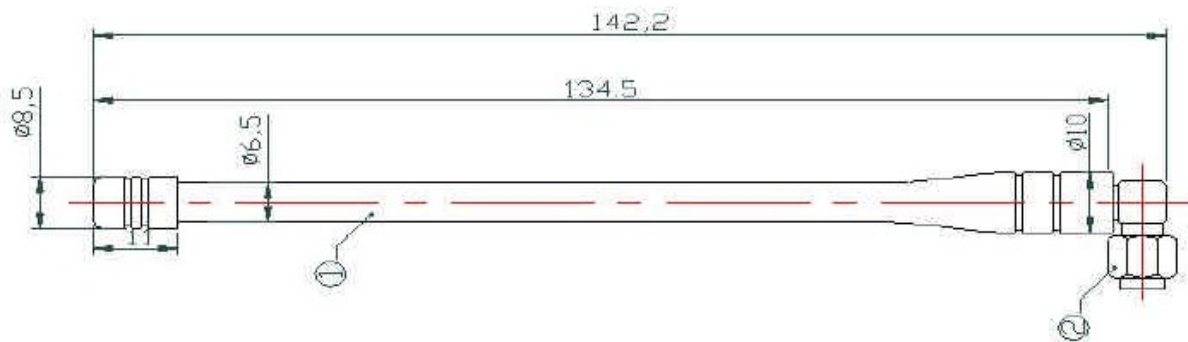
Power:	2 Watts
--------	---------

Transport Vibration:	IEC-68 series
----------------------	---------------

UV Rating:	F2 per UL 746C
------------	----------------

---

## LPRS Antenna 433MHz



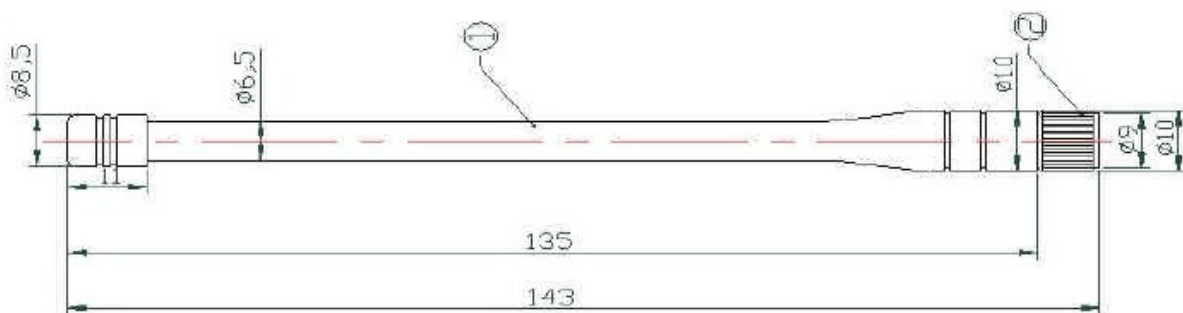
**Figure 1 right-angled SMA**

1. Application: Transmitter Receivers Transceivers.
2. Dimensions: As per drawings
3. Materials:
4. Electrical Characteristics
  - i) Resonant Frequency: 433MHz
  - ii) Return Loss: -17 dB or less
  - iii) Radiation Pattern: Omni Directional
  - iv) Polarization: Vertical
  - v) Standing Wave Ratio(S.W.R.): = 1.7
  - vi) Insulation resistance: 500Mohm @ DC 500V
5. Pulling test performance
  - i) Between sleeve and cap: 6.8Kg for 3 sec
  - ii) Between connector and sleeve: 6.8Kg for 3 sec
  - iii) Between coaxial wire and connector: 6.8Kg for 1min
  - iv)
6. General Characteristics
  - i) Storage Temperature: -30° to + 75°
  - ii) Operating Temperature: -30° to + 75°
  - iii) Vibration Test: There shall be no defects in appearance or the mechanical and electrical functions after the antenna being tested by regular mounting device under the following conditions:
    - a) Displacement:  $\pm 5^\circ$  of axis original position
    - b) Duration: 1000 cycles/minute
    - c) Time: 5 minutes



**Figure 2**

Shock Resistance: Satisfy the electrical and mechanical characteristics after drop down with 100g upon rubber block



**Figure 3 straight SMA**





# FLEXI-SMA90-868

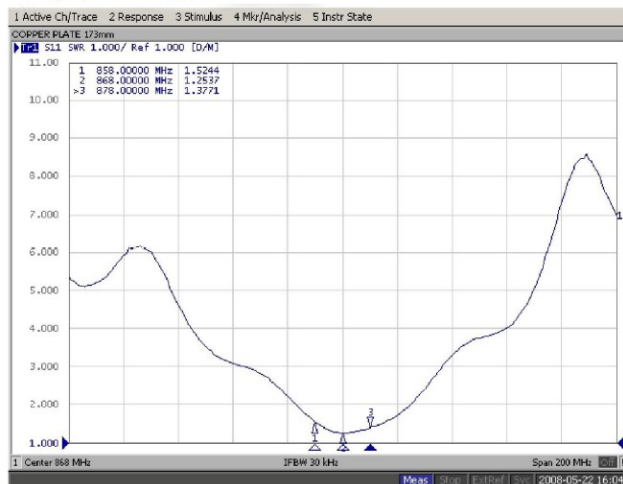
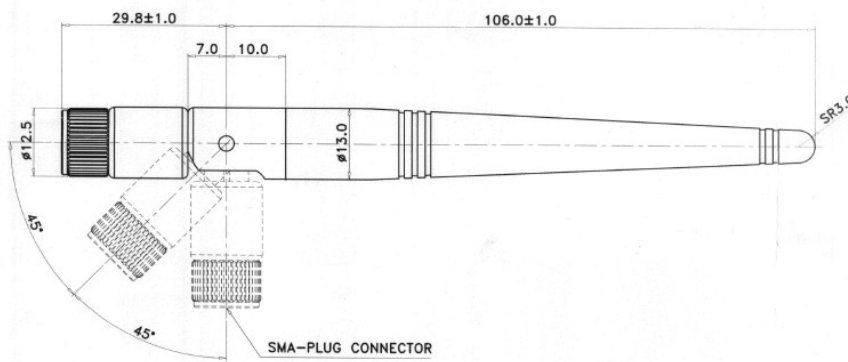
- $\frac{1}{4}$  Wavelength **Whip** Antenna
- Rugged Flexible Plastic Finish.
- Available as BNC, SMA-Plug, M4 Screw Fixing
- Available as Straight or Right Angle
- VSWR <2.0
- Omni-Directional Design
- 50ohm Impedance
- Operating Temp -30 to +60°C
- Insulation resistance 500M $\Omega$  @500Vdc



## Applications

- General Low Power Radio

## Mechanical Dimensions

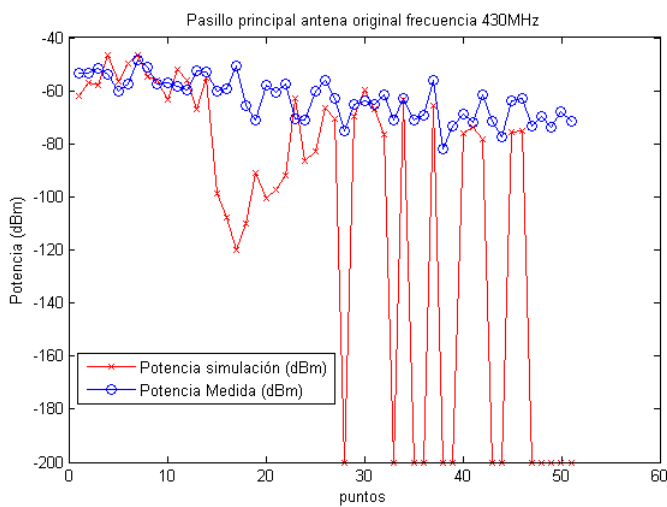


## **B. Más Resultados Y Planos**

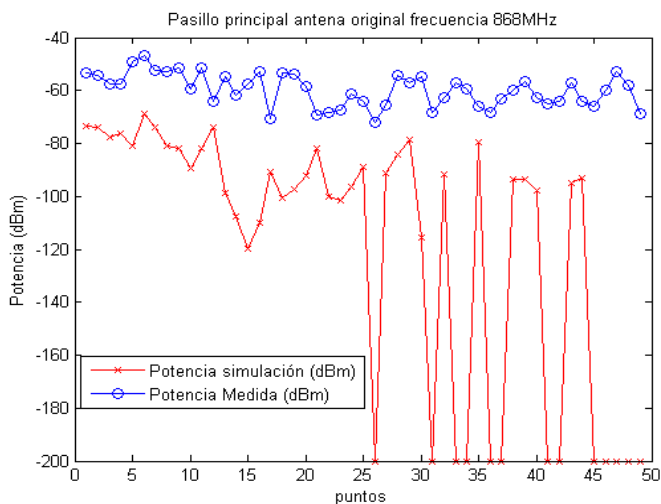
En este apartado se van a incluir más resultados que no se había incluido en los apartados correspondientes. El motivo era no recargar con demasiadas gráficas que no aportaban información nueva.

### **B.1. Radiales**

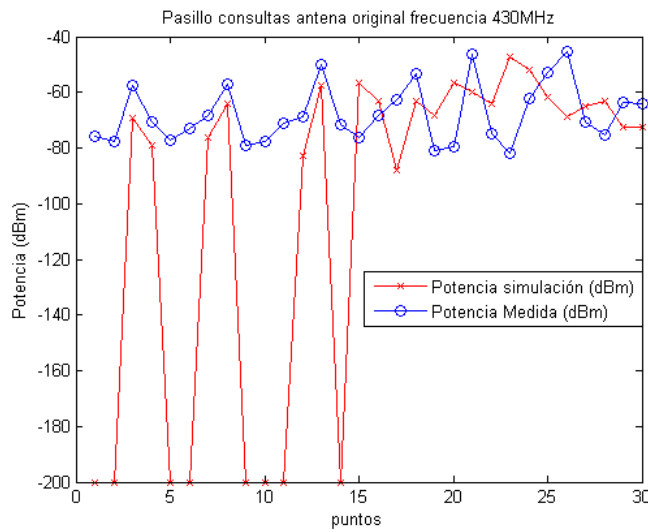
De las medidas tomadas en la primera aproximación sólo se han expuesto previamente las correspondientes a las frecuencia de 2,4 GHz. Así que aquí se expondrán en resto.



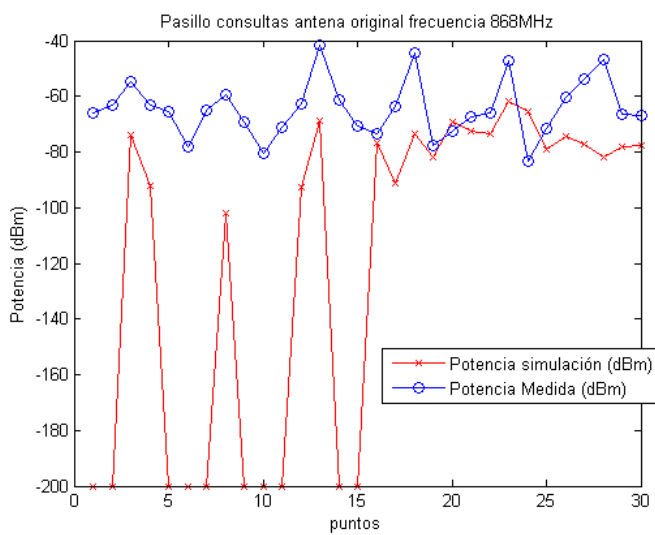
*Figura 8.1: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la primera aproximación 430 MHz, en medida y simulación*



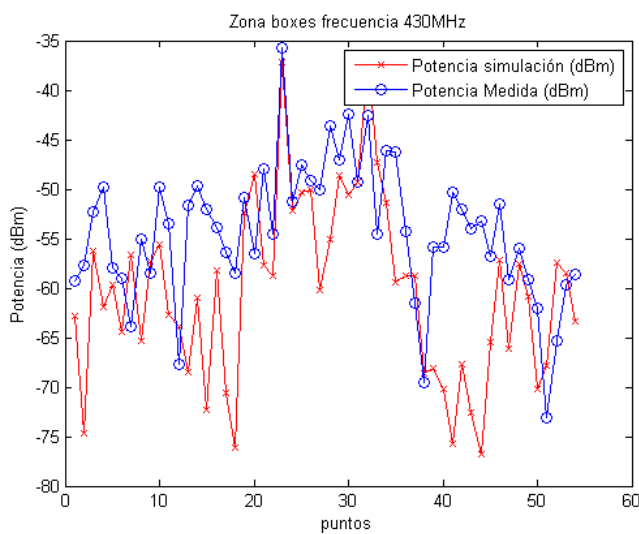
*Figura 8.2: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la primera aproximación 868 MHz, en medida y simulación*



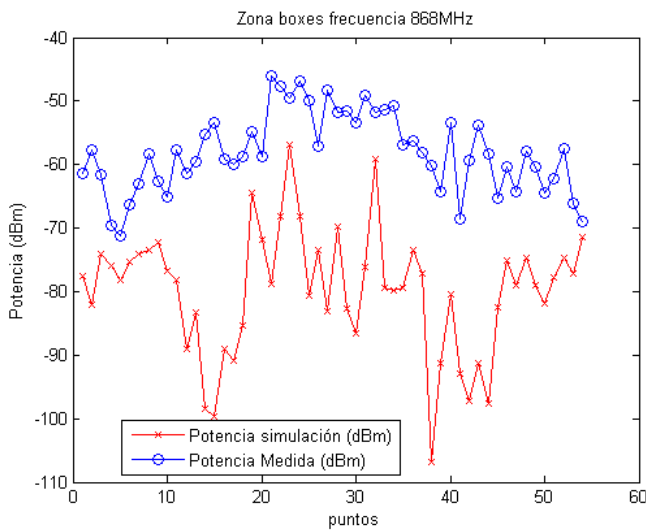
*Figura 8.3: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo consultas en la primera aproximación 430 MHz, en medida y simulación*



*Figura 8.4: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo consultas en la primera aproximación 868 MHz, en medida y simulación*



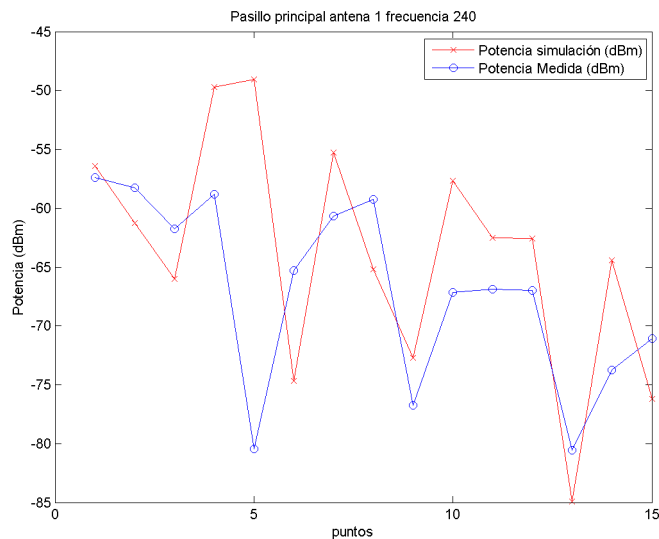
*Figura 8.5: Comparación de potencia recibida en los puntos de la zona de boxes en la primera aproximación 430 MHz, en medida y simulación*



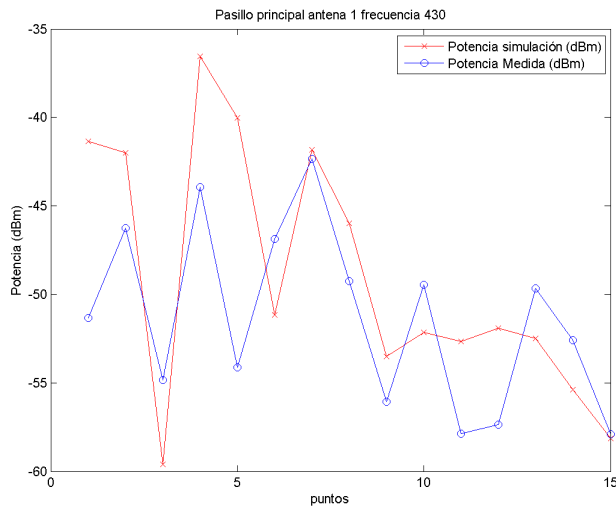
*Figura 8.6: Comparación de potencia recibida en los puntos de la zona de boxes en la primera aproximación 868 MHz, en medida y simulación*

De todas las medidas tomadas para la segunda aproximación, para comprobar la validez del modelado por trazado de rayos, sólo se han expuesto parte de las gráficas, todas las demás se muestran a continuación. Los datos de las mismas si que se han tenido en cuenta para completar la tabla 4.2.

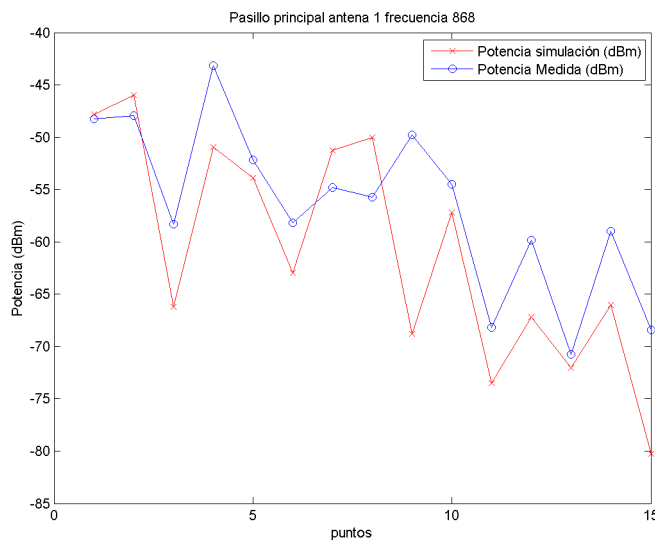
Los nombre de los escenarios vuelven a estar definidos según de las indicaciones de las figuras 4.32 y 4.33.



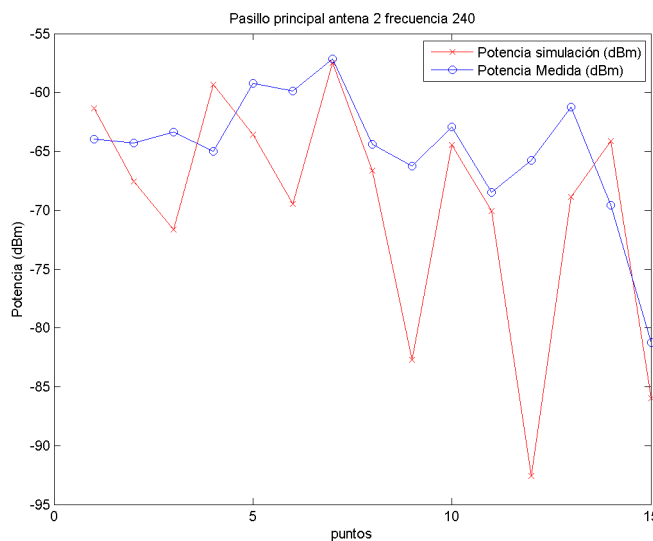
*Figura 8.7: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 1 a 2,4GHz, en medida y simulación*



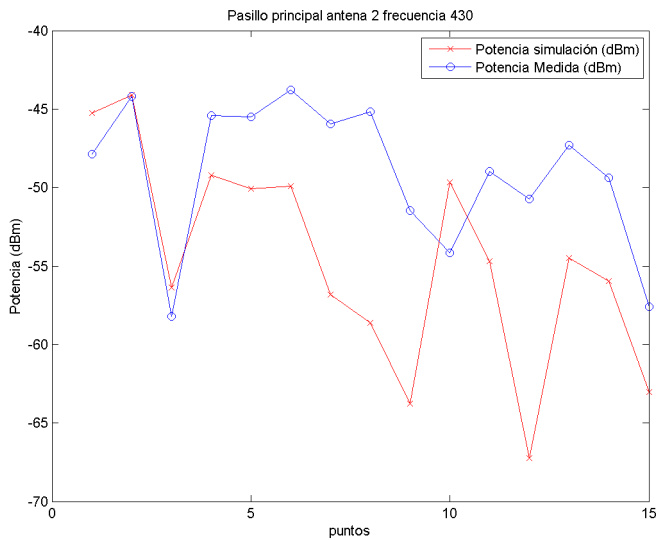
*Figura 8.8: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 1 a 430MHz, en medida y simulación*



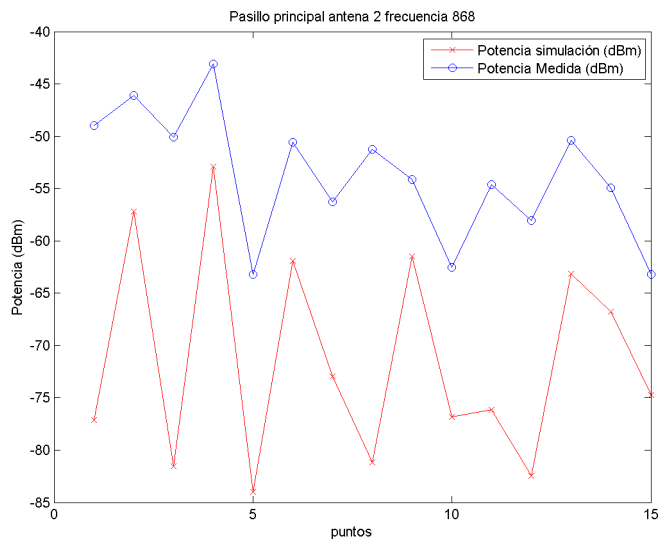
*Figura 8.9: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 1 a 868MHz, en medida y simulación*



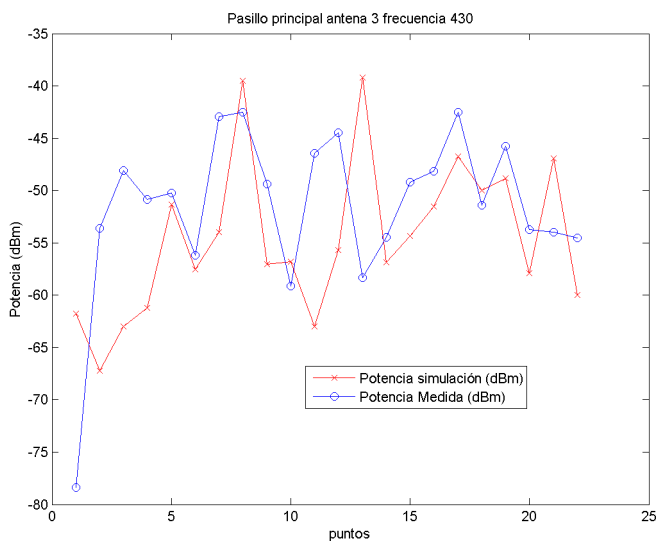
*Figura 8.10: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antena nueva 2 a 2,4GHz, en medida y simulación*



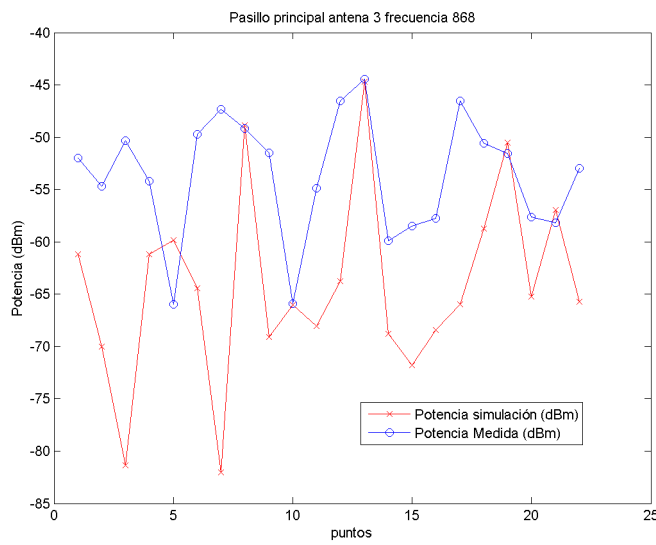
*Figura 8.11: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antenna nueva 2 a 430MHz, en medida y simulación*



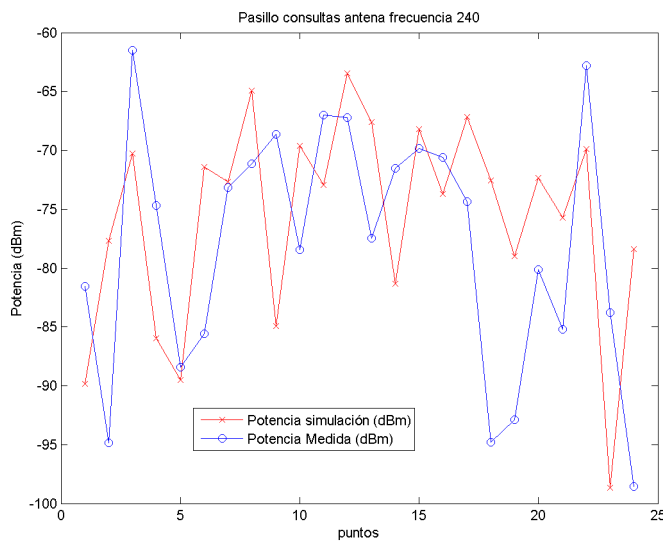
*Figura 8.12: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antenna nueva 2 a 868MHz, en medida y simulación*



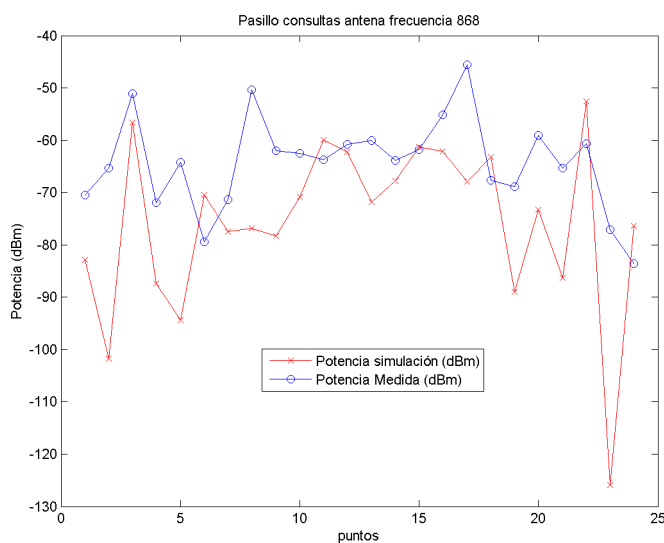
*Figura 8.13: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antenna nueva 3 a 430MHz, en medida y simulación*



*Figura 8.14: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo principal en la segunda aproximación para la antenna nueva 3 a 868MHz, en medida y simulación*



*Figura 8.15: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo de consultas en la segunda aproximación para la antenna nueva a 2,4GHz, en medida y simulación*



*Figura 8.16: Comparación de potencia recibida en los puntos del pasillo de consultas en la segunda aproximación para la antenna nueva a 868MHz, en medida y simulación*

**B.2. Plano general**

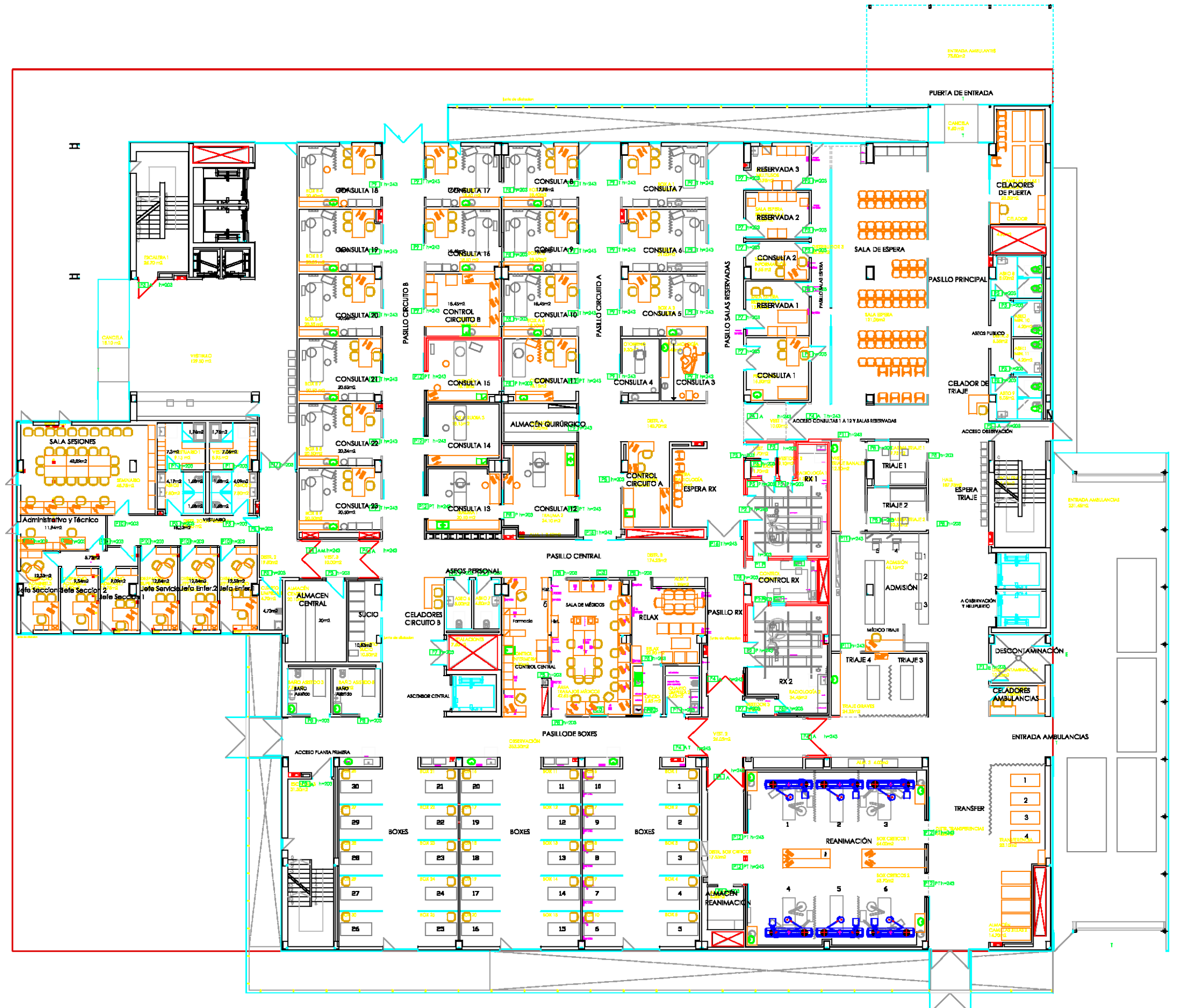


Figura 8.17: Plano de urgencias del CHN en grande



## C. Código De Matlab

### C.1. Descripción del escenario

La descripción del escenario se compone de 9 funciones, donde urgencias.m es la principal y llama a las otras 8 que corresponden a cada una de las zonas. Esto es así porque en una sola función era muy difíciles de manejar todo el código.

#### C.1.1. urgencias.m

```
function [room, conexiones, antenastx, antenasrx]= urgencias
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% CONSTANTES %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Hplan=4;
Hpas=3.5;
Hhab=2.45;
Hpue=2.03;
Hpueg=2.43;

Hsuelo=0.2;
Ht=Hplan+Hsuelo;
%Hc=Hplan/2-Hsuelo;

Htecho=Hplan-Hpas;

% Espacio entre pueratas y techo
Hpt= (Hpas-Hpue) ;
Hptg= (Hpas-Hpueg) ;
%Hptext= (Hplan-Hpue) ;
Hptgext= (Hplan-Hpueg) ;

%Mpuecorr=4;
Mext=2;
Mpvc=3;
MpvcC=6;
Mgres=3;
Mres=3;
Mpla=3;
Mali=7;
Mplo=6;
Mcol=7;
Mpue=4;%Material columna

%alturas=[Hplan, Hpas, Hhab, Hpue, Hpueg, Hsuelo, Ht, Htecho, Hpt, Hptg, Hptgext];
%materiales=[Mext, Mpvc, MpvcC, Mgres, Mres, Mpla, Mali, Mplo, Mcol, Mpue];

%% Zonas
[room1, a1, b1, c1]=zona1 (Hplan, Hpas, Hhab, Hpue, Hpueg, Hsuelo, Ht, Htecho, Hpt, ...
    Hptg, Hptgext, Mext, Mpvc, MpvcC, Mgres, Mres, Mpla, Mali, Mplo, Mcol, Mpue) ;
[room2, a2, b2, c2]=zona2 (Hplan, Hpas, Hhab, Hpue, Hpueg, Hsuelo, Ht, Htecho, Hpt, ...
    Hptg, Hptgext, Mext, Mpvc, MpvcC, Mgres, Mres, Mpla, Mali, Mplo, Mcol, Mpue) ;
[room3, a3, b3, c3]=zona3 (Hplan, Hpas, Hhab, Hpue, Hpueg, Hsuelo, Ht, Htecho, Hpt, ...
    Hptg, Hptgext, Mext, Mpvc, MpvcC, Mgres, Mres, Mpla, Mali, Mplo, Mcol, Mpue) ;
```

```
[room4,a4,b4,c4]=zona4(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,Htecho,Hpt,...
  Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue);
[room5,a5,b5,c5]=zona5(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,Htecho,Hpt,...
  Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue);
[room6,a6,b6,c6]=zona6(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,Htecho,Hpt,...
  Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue);
[room7,a7,b7,c7]=zona7(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,Htecho,Hpt,...
  Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue);
[room8,a8,b8,c8]=zona8(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,Htecho,Hpt,...
  Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue);
```

```
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%% CONEXIONES %%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

```
room=cell(1,7);
room{1}=room1;
room{2}=room2;
room{3}=room3;
room{4}=room4;
room{5}=room5;
room{6}=room6;
room{7}=room7;
room{8}=room8;
%
```

```
conexiones=[
  1,a1/2,b1,Ht/2,a1,10^-9,Ht,3,a3/2,0,Ht/2,a3,10^-9,Ht;
  1,a1,b1/2,Ht/2,10^-9,b1,Ht,2,0,b2/2,Ht/2,10^-9,b2,Ht;
  2,a2/2,b2,Ht/2,a2,10^-9,Ht,6,a6/2,0,Ht/2,a6,10^-9,Ht;
  3,0.96+a5/2,b3,Ht/2,a5,10^-9,Ht,5,a5/2,0,Ht/2,a5,10^-9,Ht;
  3,a3,b3/2,Ht/2,10^-9,b3,Ht,6,0,b3/2,Ht/2,10^-9,b3,Ht;
  4,a4,6.06/2,Ht/2,10^-9,6.06,Ht,3,0,7.94+6.06/2,Ht/2,10^-9,6.06,Ht;
  4,a4,6.06+b8/2,Ht/2,10^-9,b8,Ht,8,0,b8/2,Ht/2,10^-9,b8,Ht;
  5,a5,6.48/2,Ht/2,10^-9,6.48,Ht,6,0,b3+6.48/2,Ht/2,10^-9,6.48,Ht;
  5,a5,6.46+19.1/2,Ht/2,10^-9,19.1,Ht,7,0,19.1/2,Ht/2,10^-9,19.1,Ht;
  6,a6/2,b6,Ht/2,a6,10^-9,Ht,7,a7/2,0,Ht/2,a7,10^-9,Ht;
  8,a8/2,0,Ht/2,a8,10^-9,Ht,3,a8/2,b3,Ht/2,a8,10^-9,Ht;
  8,a8,b8/2,Ht/2,10^-9,b8,Ht,5,0,b5/2,Ht/2,10^-9,b8,Ht;
];
```

```
%
% % CONEXIONES [numerohabitacion,x0,y0,z0,Ax,Ay,Az,numerootrahabitacion,.....]
% % da las coordenadas relativas de la conexion y tal
%
```

```
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%% ANTENAS TX Y RX %%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
antenasTx=[
% 1,7.31,5.33,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
% 1,15.55,5.33,1.2,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,0,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
% 1,23.08,5.33,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 2,8.55,5.98,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
```

```

% 2,17.48,5.98,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 3,6.4+3.92/2,10.56,1.76,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,0,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
3,17.12,7.82,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 3,15.19,1.28,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 3,15.19,12.9,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 3,8.24,7.1,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
4,12.95,5.67,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
5,20.61,6.26,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 5,6.77,19.2,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 5,19.3,6.4,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 5,19.3,19.2,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
6,8.46,10.80,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
6,6.38,1.26,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 6,3.28,4.75,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 6,3.06,17.33,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
7,6.61,2.37,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 7,1.14,19.1/2,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 7,7.2,19.1/2,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
%
% 7,15.8,19.1/2,Hpas-0.05,0,pi/180,2*pi-
2*pi/180,pi/2,pi/180,pi,5,inf,1,0,0,0,0,0,0,2450000000,0;
];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
antenasrx=[0,0,0,0,0,0,0,0];
% plot3(8,6.4+3.92/2,1.3,'or');

```

end

### C.1.2. zona1.m

```

function [room,a1,b1,c1] = zonal(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)
% [Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,Ht/2,Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext]=alturas;
% []=materiales;
%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% ZONA 1: Boxes %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
a1=27.09;
b1=12.46;
c1=Ht;
% Sin resolución
% Resx1=1;
% Resy1=1;
% Resz1=1;
%Para una Resolución de cuboides de 20cm
Resx1=ceil(a1/0.2);
Resy1=ceil(b1/0.2);
Resz1=ceil(c1/0.2);

m1=0;
% Pared conexión
paredconex3zonal=fabricapared(a1/2,b1,Ht/2,a1,10^-9,Ht,0); % pared de aire para
conexion
paredconex2zonal=fabricapared(a1,b1/2,Ht/2,10^-9,b1,Ht,0);
% Paredes principales
paredext1zonal=fabricapared(0,6.42/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,6.42,Hplan,Mext);
%pared izquierda abajo
paredext2zonal=fabricapared(0,7.22+5.24/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,5.24,Hplan,Mext);
%pared izquierda arriba

paredext3zonal=fabricapared(6.42/2,0,Hsuelo+Hplan/2,6.42,10^-9,Hplan,Mext);
%pared delantera
paredext4zonal=fabricapared(8.67+5.2/2,0,Hsuelo+Hplan/2,5.2,10^-9,Hplan,Mext);
%pared delantera
paredext5zonal=fabricapared(16.47+5.2/2,0,Hsuelo+Hplan/2,5.2,10^-9,Hplan,Mext);
%pared delantera
paredext6zonal=fabricapared(24.03+3.06/2,0,Hsuelo+Hplan/2,3.06,10^-
9,Hplan,Mext); %pared delantera

% Ventanas
ventanalzonal=fabricapared(6.42+2.25/2,0,Hsuelo+Hplan/2,2.25,10^-9,Hplan,5);
%ventana box 1
ventana2zonal=fabricapared(13.87+2.6/2,0,Hsuelo+Hplan/2,2.6,10^-9,Hplan,5);
%ventana box 2
ventana3zonal=fabricapared(21.67+2.36/2,0,Hsuelo+Hplan/2,2.36,10^-9,Hplan,5);
%ventana box 3
ventana4zonal=fabricapared(0,6.42+0.8/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,0.8,Hplan,5);
%ventana pared izquierda

puertal1zonal=fabricapared(1.95+1.35/2,b1-
1.44+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.35,0.04,Hpue,Mpue);
puetecl1zonal=fabricapared(1.95+1.35/2,b1-
1.44+0.15/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.35,0.15,Hpt,Mres);

% Paredes internas boxes
paredint1zonal=fabricapared(3.27+0.34/2,12.46/2,Hsuelo+Hpas/2,0.34,12.46,Hpas,Mr
es); %pared
paredint2zonal=fabricapared(11.21+0.06,11.45/2+0.22,Hsuelo+Hhab/2,0.12,11.45,Hha
b,Mres); %pared
paredint3zonal=fabricapared(19.01+0.06,11.45/2+0.22,Hsuelo+Hhab/2,0.12,11.45,Hha
b,Mres); %pared
paredint4zonal=fabricapared(26.58+0.06,11.45/2+0.22,Hsuelo+Hpas/2,0.12,11.45,Hpa
s,Mres); %pared

paredint5zonal=fabricapared(0.39+1.56/2,b1-
```

## Iris Sesma Gracia

1.44+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,1.56,0.15,Hpas,Mres);  
 paredint6zonal=fabricapared(3.64+2.76/2,b1-  
 0.79+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,2.76,0.15,Hpas,Mres);  
 paredint7zonal=fabricapared(6.25+0.15/2,b1-  
 0.79+0.75/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.75,Hpas,Mres);  
 paredint8zonal=fabricapared(8.67+0.15/2,b1-  
 0.79+0.75/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.75,Hpas,Mres);  
 paredint9zonal=fabricapared(8.67+5.2/2,b1-  
 0.79+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,5.2,0.15,Hpas,Mres);  
 paredint10zonal=fabricapared(13.72+0.15/2,b1-  
 0.79+0.75/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.75,Hpas,Mres);  
 paredint11zonal=fabricapared(16.47+0.15/2,b1-  
 0.79+0.75/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.75,Hpas,Mres);

paredint12zonal=fabricapared(16.47+5.2/2,b1-  
 0.79+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,5.2,0.15,Hpas,Mres);

paredint13zonal=fabricapared(21.52+0.15/2,b1-  
 0.79+0.75/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.75,Hpas,Mres);  
 paredint14zonal=fabricapared(24.03+0.15/2,b1-  
 0.79+0.75/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.75,Hpas,Mres);

paredint15zonal=fabricapared(24.03+1.66/2,b1-  
 0.79+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,1.66,0.15,Hpas,Mres);

paredint16zonal=fabricapared(11.04+0.45/2,b1-  
 0.64+0.60/2,Hsuelo+Hpas/2,0.45,0.60,Hpas,Mcol);  
 paredint17zonal=fabricapared(18.84+0.45/2,b1-  
 0.64+0.60/2,Hsuelo+Hpas/2,0.45,0.60,Hpas,Mcol);  
 paredint18zonal=fabricapared(25.69+1.39/2,b1-  
 0.79+0.75/2,Hsuelo+Hpas/2,1.39,0.75,Hpas,Mcol);

### % Barras metalicas

barrax1zonal=fabricapared(3.64+2.76/2,2.48+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.76,0.05,0  
 .05,6);

barrax2zonal=fabricapared(3.64+2.76/2,4.77+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.76,0.05,0  
 .05,6);

barrax3zonal=fabricapared(3.64+2.76/2,7.06+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.76,0.05,0  
 .05,6);

barrax4zonal=fabricapared(3.64+2.76/2,9.35+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.76,0.05,0  
 .05,6);

barrax5zonal=fabricapared(8.67+2.54/2,2.48+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05,0  
 .05,6);

barrax6zonal=fabricapared(8.67+2.54/2,4.77+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05,0  
 .05,6);

barrax7zonal=fabricapared(8.67+2.54/2,7.06+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05,0  
 .05,6);

barrax8zonal=fabricapared(8.67+2.54/2,9.35+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05,0  
 .05,6);

barrax9zonal=fabricapared(11.33+2.54/2,2.48+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05,  
 0.05,6);

barrax10zonal=fabricapared(11.33+2.54/2,4.77+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05  
 ,0.05,6);

barrax11zonal=fabricapared(11.33+2.54/2,7.06+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05  
 ,0.05,6);

barrax12zonal=fabricapared(11.33+2.54/2,9.35+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05  
 ,0.05,6);

barrax13zonal=fabricapared(16.47+2.54/2,2.48+0.05/2,Hsuelo+2.16+0.05/2,2.54,0.05

, 0.05, 6);  
barrax14zonal=fabricapared(16.47+2.54/2, 4.77+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax15zonal=fabricapared(16.47+2.54/2, 7.06+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax16zonal=fabricapared(16.47+2.54/2, 9.35+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
  
barrax17zonal=fabricapared(19.13+2.54/2, 2.48+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax18zonal=fabricapared(19.13+2.54/2, 4.77+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax19zonal=fabricapared(19.13+2.54/2, 7.06+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax20zonal=fabricapared(19.13+2.54/2, 9.35+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
  
barrax21zonal=fabricapared(24.03+2.54/2, 2.48+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax22zonal=fabricapared(24.03+2.54/2, 4.77+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax23zonal=fabricapared(24.03+2.54/2, 7.06+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
barrax24zonal=fabricapared(24.03+2.54/2, 9.35+0.05/2, Hsuelo+2.16+0.05/2, 2.54, 0.05, 0.05, 6);  
  
barray1zonal=fabricapared(6.4-0.1/2, 0.22+11.45/2, 2.16+Hsuelo+0.2/2, 0.1, 11.45, 0.2, 6);  
barray2zonal=fabricapared(8.67+0.1/2, 0.22+11.45/2, 2.16+Hsuelo+0.2/2, 0.1, 11.45, 0.2, 6);  
barray3zonal=fabricapared(13.87-0.1/2, 0.22+11.45/2, 2.16+Hsuelo+0.2/2, 0.1, 11.45, 0.2, 6);  
barray4zonal=fabricapared(16.47+0.1/2, 0.22+11.45/2, 2.16+Hsuelo+0.2/2, 0.1, 11.45, 0.2, 6);  
barray5zonal=fabricapared(21.67-0.1/2, 0.22+11.45/2, 2.16+Hsuelo+0.2/2, 0.1, 11.45, 0.2, 6);  
barray6zonal=fabricapared(24.03+0.1/2, 0.22+11.45/2, 2.16+Hsuelo+0.2/2, 0.1, 11.45, 0.2, 6);  
  
barraz1zonal=fabricapared(6.4-0.05/2, 2.48+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
barraz2zonal=fabricapared(6.4-0.05/2, 4.77+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
barraz3zonal=fabricapared(6.4-0.05/2, 7.06+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
barraz4zonal=fabricapared(6.4-0.05/2, 9.35+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
  
barraz5zonal=fabricapared(8.67+0.05/2, 2.48+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
barraz6zonal=fabricapared(8.67+0.05/2, 4.77+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
barraz7zonal=fabricapared(8.67+0.05/2, 7.06+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
barraz8zonal=fabricapared(8.67+0.05/2, 9.35+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);  
  
barraz9zonal=fabricapared(13.87-0.05/2, 2.48+0.05/2, Hsuelo+2.26+(Hpas-2.26)/2, 0.05, 0.05, Hpas-2.26, 6);

```

barraz10zonal=fabricapared(13.87-0.05/2,4.77+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz11zonal=fabricapared(13.87-0.05/2,7.06+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz12zonal=fabricapared(13.87-0.05/2,9.35+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);

barraz13zonal=fabricapared(16.47+0.05/2,2.48+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz14zonal=fabricapared(16.47+0.05/2,4.77+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz15zonal=fabricapared(16.47+0.05/2,7.06+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz16zonal=fabricapared(16.47+0.05/2,9.35+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);

barraz17zonal=fabricapared(21.67-0.05/2,2.48+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz18zonal=fabricapared(21.67-0.05/2,4.77+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz19zonal=fabricapared(21.67-0.05/2,7.06+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz20zonal=fabricapared(21.67-0.05/2,9.35+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);

barraz21zonal=fabricapared(24.03+0.05/2,2.48+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz22zonal=fabricapared(24.03+0.05/2,4.77+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz23zonal=fabricapared(24.03+0.05/2,7.06+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);
barraz24zonal=fabricapared(24.03+0.05/2,9.35+0.05/2,Hsuelo+2.26+(Hpas-
2.26)/2,0.05,0.05,Hpas-2.26,6);

suelo1zonal=fabricapared(3.64/2,b1/2,0,3.64,b1,10^-9,Mgres); %suelo
suelo2zonal=fabricapared(3.64+23.45/2,b1/2,0,23.45,b1,10^-9,Mpvc);
techozonal=fabricapared(a1/2,b1/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,a1,b1,10^-9,Mpla); %techo

% obstaculos = [x,y,z,Ax,Ay,Az,material]

obstaculos1=[paredint1zonal;paredint2zonal;paredint3zonal;paredint4zonal;...
paredint5zonal;paredint6zonal;paredint7zonal;paredint8zonal;...
paredint9zonal;paredint10zonal;paredint11zonal;paredint12zonal;...
paredint13zonal;paredint14zonal;paredint15zonal;paredint16zonal;...
paredint17zonal;paredint18zonal;puertal1zonal;puetec1zonal;...
barrax1zonal;barrax2zonal;barrax3zonal;barrax4zonal;barrax5zonal;barrax6zonal;
barrax7zonal;barrax8zonal;barrax9zonal;barrax10zonal;barrax11zonal;
barrax12zonal;barrax13zonal;barrax14zonal;barrax15zonal;barrax16zonal;
barrax17zonal;barrax18zonal;barrax19zonal;barrax20zonal;barrax21zonal;
barrax22zonal;barrax23zonal;barrax24zonal;barray1zonal;barray2zonal;
barray3zonal;barray4zonal;barray5zonal;barray6zonal;barraz1zonal;barraz2zonal;
barraz3zonal;barraz4zonal;barraz5zonal;barraz6zonal;barraz7zonal;barraz8zonal;
barraz9zonal;barraz10zonal;barraz11zonal;barraz12zonal;barraz13zonal;
barraz14zonal;barraz15zonal;barraz16zonal;barraz17zonal;barraz18zonal;
barraz19zonal;barraz20zonal;barraz21zonal;barraz22zonal;barraz23zonal;
barraz24zonal;    ];

```

```
%obstaculos1(:,1:6)= obstaculos1(:,1:6)*0.0254

paredes1=[paredconex3zonal,10^-9; %pared pasillo
  paredconex2zonal,10^-9; %pared izquierda
  paredext1zonal,0.39;
  paredext2zonal,0.39;%pared derecha
  paredext3zonal,0.22;
  paredext4zonal,0.22;
  paredext5zonal,0.22;
  paredext6zonal,0.22; %pared delantera
  ventana1zonal,0.06;
  ventana2zonal,0.06;
  ventana3zonal,0.06;
  ventana4zonal,0.06;
  suelo1zonal,Hsuelo;
  suelo2zonal,Hsuelo;
  techozonal,Htecho];

% figure(1);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,obstaculos1);
% pintaobstaculo(a1,b1,c1,paredes1);
% axis([0 a1 0 b1 0 c1])

%paredes1 = [x,y,z,Ax,Ay,Az,material,grosor]

% material0 : aire n= 1
% material1 : madera n= 1.448
% material2 : pared n= 1.68

room=prepararhabitacion(a1,b1,c1,Resx1,Resy1,Resz1,m1,obstaculos1,paredes1);
```

### **C.1.3. zona2.m**

```
function [room,a2,b2,c2] = zona2(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
  Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)
% [Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,Ht/2,Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext]=alturas;
% [Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue]=materiales;

%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%% ZONA 2: Reanimación %%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

a2=21.92;
b2=12.46;
c2=Ht;
% Sin resolución
% Resx2=1;
% Resy2=1;
% Resz2=1;
%Para una Resolución de cuboides de 20cm
Resx2=ceil(a2/0.2);
Resy2=ceil(b2/0.2);
Resz2=ceil(c2/0.2);

m2=0;
```



% Paredes conexiones

```
paredconex6zona2=fabricapared(a2/2,b2,Ht/2,a2,10^-9,Ht,0); % pared de aire para
conexion
paredconex1zona2=fabricapared(0,b2/2,Ht/2,10^-9,b2,Ht,0);
```

% paredes exteriores

```
paredext1zona2=fabricapared(14.05/2,0,Hsuelo+Hplan/2,14.02,10^-9,Hplan,Mext);
paredext2zona2=fabricapared(17.88+3.95/2,0,Hsuelo+Hplan/2,3.95,10^-
9,Hplan,Mext);
paredext3zona2=fabricapared(21.48+0.35,12.42/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-
9,12.42,Hplan,Mext);
```

```
paredext4zona2=fabricapared(16.63+1.25/2,0,Hsuelo+Hplan/2,1.25,10^-
9,Hplan,Mext);
```

% paredes plomadas de la sala de reanimación

```
paredplo1zona2=fabricapared(2.42+11.5/2,0.2+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,11.5,0.12,Hpas,
Mplo);
paredplo2zona2=fabricapared(2.42+0.12/2,0.2+4.05/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,4.05,Hpas,
Mplo);
paredplo3zona2=fabricapared(2.42+0.12/2,5.75+0.3/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,0.3,Hpas,M
plo);
paredplo4zona2=fabricapared(2.42+0.12/2,7.55+4.04/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,4.04,Hpas
,Mplo);
paredplo5zona2=fabricapared(2.42+11.5/2,11.47+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,11.5,0.12,Hpa
s,Mplo);
paredplo6zona2=fabricapared(13.8+0.12/2,8.35+4.07/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,4.07,Hpas
,Mplo);
paredplo7zona2=fabricapared(13.8+0.12/2,4.95+1.9/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,1.9,Hpas,M
plo);
paredplo8zona2=fabricapared(13.8+0.12/2,0.2+3.25/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,3.25,Hpas,
Mplo);
```

% Paredes interiores

```
paredint1zona2=fabricapared(2.29/2,0.18+1.14/2,Hsuelo+Hplan/2,2.29,1.14,Hplan,Mc
ol);
paredint2zona2=fabricapared(2.29+0.12/2,0.18+4.06/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,4.06,Hpas
,Mres);
paredint3zona2=fabricapared(1.63+0.66/2,4.07+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.66,0.1,Hpas,M
res);
paredint4zona2=fabricapared(0.63/2,4.07+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.63,0.1,Hpas,Mres);
paredint5zona2=fabricapared(2.29+0.12/2,5.75+0.3/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,0.3,Hpas,M
res);
paredint6zona2=fabricapared(2.29+0.12/2,7.55+4.17/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,4.17,Hpas
,Mres);
```

```
paredint7zona2=fabricapared(2.23+0.67/2,11.72+0.7/2,Hsuelo+Hpas/2,0.67,0.7,Hpas,
Mres);
paredint8zona2=fabricapared(2.32+11.76/2,11.59+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,11.76,0.12,H
pas,Mres);
paredint9zona2=fabricapared(6.05+1.81/2,11.72+0.7/2,Hsuelo+Hpas/2,1.81,0.7,Hpas,
Mres);
paredint10zona2=fabricapared(13.63+0.42/2,11.72+0.7/2,Hsuelo+Hpas/2,0.42,0.7,Hpa
s,Mres);
```

```
paredint11zona2=fabricapared(13.93+0.12/2,8.35+3.37/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,3.37,Hp
as,Mres);
paredint12zona2=fabricapared(13.93+0.12/2,4.95+1.9/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,1.9,Hpas
```

,Mrs);  
paredint13zona2=fabricapared(13.93+0.12/2,0.18+3.26/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,3.26,Hpas,Mrs);

paredint14zona2=fabricapared(a2-1.31+0.86/2,0.48+5.05/2,Hsuelo+Hpas/2,0.86,5.05,Hpas,Mcol);

#### % Puertas

puerta1zona2=fabricapared(0.63+1/2,4.17-0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec1zona2=fabricapared(0.63+1/2,4.07+0.1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1,0.1,Hpt,Mrs);

puerta2zona2=fabricapared(2.42+0.04/2,4.25+1.5/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,1.5,Hpueg,Mplo);

puetec2zona2=fabricapared(2.42+0.12/2,4.25+1.5/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.5,Hptg,Mplo);

puerta3zona2=fabricapared(2.42+0.04/2,6.05+1.5/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,1.5,Hpueg,Mplo);

puetec3zona2=fabricapared(2.42+0.12/2,6.05+1.5/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.12,1.5,Hptg,Mplo);

puerta4zona2=fabricapared(2.32/2,11.62+0.04/2,Hsuelo+Hpueg/2,2.32,0.04,Hpueg,Mpue);

puetec4zona2=fabricapared(2.32/2,11.62+0.15/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,2.32,0.15,Hptg,Mrs);

puerta5zona2=fabricapared(13.8+0.04/2,6.66+1.5/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,1.5,Hpueg,Mplo);

puetec5zona2=fabricapared(13.8+0.12/2,6.66+1.5/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.12,1.5,Hptg,Mplo);

puerta6zona2=fabricapared(13.8+0.04/2,3.45+1.5/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,1.5,Hpueg,Mplo);

puetec6zona2=fabricapared(13.8+0.12/2,3.45+1.5/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.12,1.5,Hptg,Mplo);

puerta7zona2=fabricapared(14.05+2.58/2,0,Hsuelo+Hpueg/2,1,10^-9,Hpueg,Mpue);

puetec7zona2=fabricapared(14.05+2.58/2,0,Hpueg+Hsuelo+Hptgext/2,1,10^-9,Hptgext,5);

suelo1zona2=fabricapared(2.42/2,b2/2,0,2.42,b2,10^-9,Mpvc); %suelo

suelo2zona2=fabricapared(2.42+11.5/2,b2/2,0,11.5,b2,10^-9,MpvcC); %suelo

suelo3zona2=fabricapared(13.92+8/2,b2/2,0,8,b2,10^-9,Mgres); %suelo

techo1zona2=fabricapared(2.42+11.51/2,0.2+11.27/2,Hsuelo+Hpas+Htecho/2,11.51,11.27,Htecho,Mplo);

techozona2=fabricapared(a2/2,b2/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,a2,b2,10^-9,Mpla); %techo

obstaculos2=[paredplo1zona2;paredplo2zona2;paredplo3zona2;paredplo4zona2;...

paredplo5zona2;paredplo6zona2;paredplo7zona2;paredplo8zona2;...

paredint1zona2;paredint2zona2;paredint3zona2;paredint4zona2;...

paredint5zona2;paredint6zona2;paredint7zona2;paredint8zona2;...

paredint9zona2;paredint10zona2;paredint11zona2;paredint12zona2;...

paredint13zona2;paredint14zona2;...

puerta1zona2;puetec1zona2;puerta2zona2;puetec2zona2;...

puerta3zona2;puetec3zona2;puerta4zona2;puetec4zona2;...

puerta5zona2;puetec5zona2;puerta6zona2;puetec6zona2;...

```

techolzona2...
];

%
paredes2=[paredconex6zona2,10^-9;
          paredconex1zona2,10^-9;
          puerta7zona2,0.04;
          puetec7zona2,0.06;
          paredext1zona2,0.18;
          paredext2zona2,0.48;
          paredext3zona2,0.35;
          paredext4zona2,0.06;
          suelo1zona2,Hsuelo;
          suelo2zona2,Hsuelo;
          suelo3zona2,Hsuelo;
          %a2/2,b2/2,-Hsuelo+0.01/2,a2,b2,0.01,0,0.01; %suelo zona2
          techozona2,Htecho;
          % a2/2,0.01/2,Ht/2,a2,0.01,Ht,0,0.01;
          % a2-0.01/2,b2/2,Ht/2,0.01,b2,Ht,0,0.01
];
% figure
% pintaobstaculo(a2,b2,c2,obstaculos2);
%
% pintaobstaculo(a2,b2,c2,paredes2);
% axis([0 a2 0 b2 0 c2])
%
room=prepararhabitacion(a2,b2,c2,Resx2,Resy2,Resz2,m2,obstaculos2,paredes2);

```

### **C.1.4. zona3.m**

```

function [room,a3,b3,c3] = zona3(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
    Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)

%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%          ZONA 3: Almacenaje y salas personal          %%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
a3=27.09;
b3=14.00;
c3=Ht;
%Sin resolución
% Resx3=1;
% Resy3=1;
% Resz3=1;

%Para una Resolución de cuboides de 20cm
Resx3=ceil(a3/0.2);
Resy3=ceil(b3/0.2);
Resz3=ceil(c3/0.2);

m3=0;

% Paredes exteriores
paredext1zona3=fabricapared(0,2.5+3.61/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,3.61,Hplan,Mext);
paredext2zona3=fabricapared(0,6.11+1.83/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,1.83,Hplan,Mext);

paredext3zona3=fabricapared(0.04+0.18/2,7.94+3.62/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,3.62,Hpas
,Mext);

% Paredes union

```

paredconex1zona3=fabricapared( $a_3/2, 0, Ht/2, a_3, 10^{-9}, Ht, 0$ );  
paredconex4zona3=fabricapared( $0, 7.94+6.06/2, Ht/2, 10^{-9}, 6.06, Ht, 0$ );  
paredconex8zona3=fabricapared( $0.96/2, b_3, Ht/2, 0.96, 10^{-9}, Ht, 0$ );

paredconex5zona3=fabricapared( $0.96+(a_3-0.96)/2, b_3, Ht/2, a_3-0.96, 10^{-9}, Ht, 0$ );  
paredconex6zona3=fabricapared( $a_3, b_3/2, Ht/2, 10^{-9}, b_3, Ht, 0$ );

**% Paredes interiores**

paredint1zona3=fabricapared( $1.82/2, 2.56+0.19/2, Hsuelo+Hpas/2, 1.82, 0.19, Hpas, Mrs$ );  
paredint2zona3=fabricapared( $3.01+1.93/2, 2.56+0.19/2, Hsuelo+Hpas/2, 1.93, 0.19, Hpas, Mrs$ );  
paredint3azona3=fabricapared( $3.12+0.14/2, 2.56+3.1/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.14, 3.1, Hpas, Mrs$ );  
paredint3bzona3=fabricapared( $6.4-0.15/2, 2.56+3.55/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.15, 3.55, Hpas, Mrs$ );

paredint4zona3=fabricapared( $6.4/2, 5.66+0.45/2, Hsuelo+Hpas/2, 6.4, 0.45, Hpas, Mrs$ );  
paredint5zona3=fabricapared( $4.09+0.12/2, 6.11+5.45/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.12, 5.45, Hpas, Mrs$ );  
paredint6zona3=fabricapared( $0.22+2.62/2, b_3-2.44-0.23/2, Hsuelo+Hpas/2, 2.62, 0.23, Hpas, Mrs$ );  
paredint7zona3=fabricapared( $3.94+2.46/2, b_3-2.44-0.23/2, Hsuelo+Hpas/2, 2.46, 0.23, Hpas, Mrs$ );  
paredint8zona3=fabricapared( $6.4-0.1/2, 6.11+2.82/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.1, 2.82, Hpas, Mrs$ );  
paredint9zona3=fabricapared( $6.02+0.3/2, 7.32+0.5/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.3, 0.5, Hpas, 5$ );  
paredint10zona3=fabricapared( $6.4-0.1/2, 6.11+2.82+1.2+1.2/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.1, 1.2, Hpas, Mrs$ );  
paredint11zona3=fabricapared( $5.92+0.4/2, 10.41+0.7/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.4, 0.7, Hpas, 5$ );

paredint12zona3=fabricapared( $10.32+3.8/2, 2.56+0.38/2, Hsuelo+Hpas/2, 3.8, 0.38, Hpas, Mrs$ );  
paredint13zona3=fabricapared( $10.32+3.8/2, 5.27+0.35/2, Hsuelo+Hpas/2, 3.8, 0.35, Hpas, Mrs$ );  
paredint14zona3=fabricapared( $13.65+0.34/2, 2.56+3.02/2, Hsuelo+Hplan/2, 0.34, 3.02, Hplan, 5$ );  
paredint15zona3=fabricapared( $14.12+0.13/2, 2.56+9/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.13, 9, Hpas, Mrs$ );

paredint16zona3=fabricapared( $10.32+3.8/2, 7.86+0.39/2, Hsuelo+Hpas/2, 3.8, 0.39, Hpas, Mrs$ );  
paredint17zona3=fabricapared( $10.32+0.15/2, 5.27+0.67/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.15, 0.67, Hpas, Mrs$ );  
paredint18zona3=fabricapared( $10.32+0.15/2, 7.51+4.06/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.15, 4.06, Hpas, Mrs$ );  
paredint19azona3=fabricapared( $10.32+1.75+0.13/2, 8.25+3.15/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.13, 3.15, Hpas, Mrs$ );  
paredint19bzona3=fabricapared( $10.32+2.06-0.48/2, 8.25+3.15+0.16/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.48, 0.16, Hpas, Mrs$ );  
paredint20azona3=fabricapared( $10.32+3.5+0.13/2, 8.25+3.15/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.13, 3.15, Hpas, Mrs$ );  
paredint20bzona3=fabricapared( $10.32+4.11-0.92/2, 10.36+0.8/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.92, 0.8, Hpas, 5$ );  
paredint21zona3=fabricapared( $10.32+0.68/2, 8.25+3.15+0.16/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.68, 0.16, Hpas, Mrs$ );  
paredint22zona3=fabricapared( $10.32+2.96+0.67/2, 8.25+3.15+0.16/2, Hsuelo+Hpas/2, 0.67, 0.16, Hpas, Mrs$ );

## Iris Sesma Gracia

paredint23zona3=fabricapared(16.54+0.58/2,2.56+2.51/2,Hsuelo+Hpas/2,0.58,2.51,Hpas,Mres);  
 paredint24zona3=fabricapared(16.94+0.18/2,6.02+5.54/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,5.54,Hpas,Mres);  
 paredint25zona3=fabricapared(18.07+4.93/2,2.56+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,4.93,0.18,Hpas,Mres);  
 paredint26zona3=fabricapared(18.07+4.46/2,2.56+8.82+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,4.46,0.18,Hpas,Mres);  
 paredint27zona3=fabricapared(22.17+0.17/2,2.56+3.45/2,Hsuelo+Hpas/2,0.17,3.45,Hpas,Mres);  
 paredint28zona3=fabricapared(22.17+0.11/2,2.56+3.45+5.55/2,Hsuelo+Hpas/2,0.11,5.55,Hpas,Mres);  
 paredint29zona3=fabricapared(22.17+0.83/2,2.56+3.45-0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,0.83,0.18,Hpas,Mres);  
 paredint30azona3=fabricapared(24.1+0.4/2,2.56+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,0.4,0.18,Hpas,Mres);  
 paredint30bzona3=fabricapared(24.25+0.16/2,2.56+3.27/2,Hsuelo+Hpas/2,0.16,3.27,Hpas,Mres);  
 paredint31zona3=fabricapared(24.1+2.48/2,2.56+3.45-0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,2.48,0.18,Hpas,Mres);  
 paredint32zona3=fabricapared(25.6+1.52/2,2.56+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,1.52,0.18,Hpas,Mres);  
 paredint33zona3=fabricapared(23.48+0.12/2,2.56+8.28+0.72/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,0.72,Hpas,Mres);  
 paredint34zona3=fabricapared(23.48+3.47/2,2.56+8.28+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,3.47,0.12,Hpas,Mres);  
 paredint35zona3=fabricapared(26.56+0.51/2,2.56+5.3/2,Hsuelo+Hpas/2,0.51,5.3,Hpas,Mres);  
 paredint36zona3=fabricapared(26.95+0.16/2,7.86+3.7/2,Hsuelo+Hpas/2,0.16,3.7,Hpas,Mres);  
 paredint37zona3=fabricapared(21.47+0.81/2,7.27+0.55/2,Hsuelo+Hpas/2,0.81,0.55,Hpas,Mres);  
 paredint38zona3=fabricapared(21.57+0.71/2,10.35+1.03/2,Hsuelo+Hpas/2,0.71,1.03,Hpas,Mres);

### % Puertas

puertalzona3=fabricapared(0,2.55/2,Hsuelo+Hpueg/2,10^-9,2.55,Hpueg,Mpue);  
 pueteclzona3=fabricapared(0,2.55/2,Hpueg+Hsuelo+Hptgext/2,10^-9,2.55,Hptgext,Mres);  
 puerta2zona3=fabricapared(1.82+1.2/2,2.63+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.2,0.04,Hpue,Mpue);  
 puetecl2zona3=fabricapared(1.82+1.2/2,2.56+0.19/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.2,0.19,Hpt,Mres);  
 puerta3zona3=fabricapared(4.94+1.3/2,2.63+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.3,0.04,Hpue,Mpue);  
 puetecl3zona3=fabricapared(4.94+1.3/2,2.56+0.19/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.3,0.19,Hpt,Mres);  
 puerta4zona3=fabricapared(1.11+0.04/2,b3-2.44/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,2.44,Hpueg,Mpue);  
 puetecl4zona3=fabricapared(1.11+0.15/2,b3-2.44/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.15,2.44,Hptg,Mres);  
 puerta5zona3=fabricapared(2.84+1.1/2,b3-2.44-0.03/2,Hsuelo+Hpue/2,1.1,0.03,Hpue,Mpue);  
 puetecl5zona3=fabricapared(2.84+1.1/2,b3-2.44-0.23/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.1,0.23,Hpt,Mres);

puerta6zona3=fabricapared(4.82+0.04/2,b3-  
2.44/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,2.44,Hpueg,Mpue);  
puetec6zona3=fabricapared(4.82+0.15/2,b3-  
2.44/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.15,2.44,Hptg,Mres);

puerta7zona3=fabricapared(6.4-  
0.03/2,8.93+1.2/2,Hsuelo+Hpue/2,0.03,1.2,Hpue,Mpue);  
puetec7zona3=fabricapared(6.4-  
0.1/2,8.93+1.2/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.1,1.2,Hpt,Mres);  
puerta8zona3=fabricapared(10.32+0.04/2,5.91+1.6/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.6,Hpue,Mpue);  
puetec8zona3=fabricapared(10.32+0.15/2,5.91+1.6/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,1.6,Hpt,Mres);

puerta9zona3=fabricapared(11+0.9/2,b3-2.45-  
0.03/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.03,Hpue,Mpue);  
puetec9zona3=fabricapared(11+0.9/2,b3-2.45-  
0.16/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.16,Hpt,Mres);  
puerta10zona3=fabricapared(12.38+0.9/2,b3-2.45-  
0.03/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.03,Hpue,Mpue);  
puetec10zona3=fabricapared(12.38+0.9/2,b3-2.45-  
0.16/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.16,Hpt,Mres);

puerta11zona3=fabricapared(17.01+0.03/2,5.07+0.95/2,Hsuelo+Hpue/2,0.03,0.95,Hpue,Mpue);  
puetec11zona3=fabricapared(16.94+0.18/2,5.07+0.95/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.18,0.95,Hpt,Mres);  
puerta12zona3=fabricapared(17.12+0.95/2,2.63+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.95,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec12zona3=fabricapared(17.12+0.95/2,2.56+0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.95,0.18,Hpt,Mres);  
puerta13zona3=fabricapared(17.12+0.95/2,b3-2.49-  
0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.95,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec13zona3=fabricapared(17.12+0.95/2,b3-2.44-  
0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.95,0.18,Hpt,Mres);

puerta14zona3=fabricapared(23+1.1/2,2.63+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.1,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec14zona3=fabricapared(23+1.1/2,2.56+0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.1,0.18,Hpt,Mres);  
puerta15zona3=fabricapared(24.5+1.1/2,2.63+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.1,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec15zona3=fabricapared(24.5+1.1/2,2.56+0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.1,0.18,Hpt,Mres);

puerta16zona3=fabricapared(23+1.1/2,2.63+3.27+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.1,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec16zona3=fabricapared(23+1.1/2,2.56+3.27+0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.1,0.18,Hpt,Mres);  
puerta17zona3=fabricapared(a3-3.61-0.95/2,b3-2.49-  
0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.95,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec17zona3=fabricapared(a3-3.61-0.95/2,b3-2.44-  
0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.95,0.18,Hpt,Mres);

puerta18zona3=fabricapared(a3-1.22-  
0.04/2,2.54/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,2.54,Hpueg,Mpue);  
puetec18zona3=fabricapared(a3-1.22-  
0.15/2,2.54/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.15,2.54,Hptg,Mres);

## Iris Sesma Gracia

```
% techo habitaciones

techo1zona3=fabricapared(6.39/2,2.56+9/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,6.39,9,Hpas-
Hhab,Mpla);
techo2zona3=fabricapared(10.32+16.77/2,2.56+9/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-
Hhab)/2,16.77,9,Hpas-Hhab,Mpla);

% Suelo

%
paredes3=[ paredconex1zona3,10^-9; %pared de abajo
  paredconex5zona3,10^-9; %pared arriba
  paredconex4zona3,10^-9;
  paredconex8zona3,10^-9;
  paredconex6zona3,10^-9; % Pared derecha
  paredext1zona3,0.38;
  paredext2zona3,0.22;
  puertal1zona3,0.04;
  puetec1zona3,0.38;
  %0.01/2,b3/2,Ht/2,0.01,b3,Ht,0,0.01; % pared izquierda
  a3/2,b3/2,0,a3,b3,10^-9,Mpvc,Hsuelo;
  a3/2,b3/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,a3,b3,10^-9,Mpla,Htecho];

%

%
obstaculos3=[ paredint1zona3;paredint2zona3;paredint3azona3;paredint3bzona3;.
..
paredint4zona3;paredint5zona3;paredint6zona3;paredint7zona3;paredint8zona3;...
  paredint9zona3;paredint10zona3;paredint11zona3;paredint12zona3;...
  paredint13zona3;paredint14zona3;paredint15zona3;paredint16zona3;...
  paredint17zona3;paredint18zona3;paredint19azona3;paredint19bzona3;...
  paredint20azona3;paredint20bzona3;paredint21zona3;paredint22zona3;...
  paredint23zona3;paredint24zona3;paredint25zona3;paredint26zona3;...
  paredint27zona3;paredint28zona3;paredint29zona3;paredint30azona3;...
  paredint30bzona3;paredint31zona3;paredint32zona3;paredint33zona3;...
  paredint34zona3;paredint35zona3;paredint36zona3;paredint37zona3;...
  paredint38zona3;...
  puerta2zona3;puetec2zona3;...
  puerta3zona3;puetec3zona3;puerta4zona3;puetec4zona3;...
  puerta5zona3;puetec5zona3;puerta6zona3;puetec6zona3;...
  puerta7zona3;puetec7zona3;puerta8zona3;puetec8zona3;...
  puerta9zona3;puetec9zona3;puerta10zona3;puetec10zona3;...
  puerta11zona3;puetec11zona3;puerta12zona3;puetec12zona3;...
  puerta13zona3;puetec13zona3;puerta14zona3;puetec14zona3;...
  puerta15zona3;puetec15zona3;puerta16zona3;puetec16zona3;
  puerta17zona3;puetec17zona3;puerta18zona3;puetec18zona3;
  techo1zona3;techo2zona3;
  paredext3zona3;
];
%
% figure(3);
% pintaobstaculo(a3,b3,c3,obstaculos3);
%
% pintaobstaculo(a3,b3,c3,paredes3);
% axis([0 a3 0 14 0 c3])
room=prepararhabitacion(a3,b3,c3,Resx3,Resy3,Resz3,m3,obstaculos3,paredes3);
```

### C.1.5. zona4.m

```
function [room,a4,b4,c4] = zona4(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
    Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
a4=16.85;
b4=31.64;
c4=Ht;
% Sin resolución
% Resx4=1;
% Resy4=1;
% Resz4=1;
%Para una Resolución de cuboides de 20cm
Resx4=ceil(a4/0.2);
Resy4=ceil(b4/0.2);
Resz4=ceil(c4/0.2);

% Paredes conexion
paredconex3zona4=fabricapared(a4,6.06/2,Ht/2,10^-9,6.06,Ht,0); % pared limite
zona3
paredconex8zona4=fabricapared(a4,6.06+25.58/2,Ht/2,10^-9,25.58,Ht,0);

% Paredes exteriores
%
paredext1zona4=fabricapared(1.02+1.76/2,0,Hsuelo+Hplan/2,1.76,10^-9,Hplan,Mext);
paredext2zona4=fabricapared(3.58+1.76/2,0,Hsuelo+Hplan/2,1.76,10^-9,Hplan,Mext);
paredext3zona4=fabricapared(6.14+1.68/2,0,Hsuelo+Hplan/2,1.68,10^-9,Hplan,Mext);
paredext4zona4=fabricapared(8.63+1.78/2,0,Hsuelo+Hplan/2,1.78,10^-9,Hplan,Mext);
paredext5zona4=fabricapared(11.21+1.73/2,0,Hsuelo+Hplan/2,1.73,10^-
9,Hplan,Mext);
paredext6zona4=fabricapared(13.74+3.11/2,0,Hsuelo+Hplan/2,3.11,10^-
9,Hplan,Mext);

paredext7zona4=fabricapared(0,3.22/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,3.22,Hplan,Mext);
paredext8zona4=fabricapared(0,4.02+2.38/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,2.38,Hplan,Mext);
paredext9zona4=fabricapared(0,7.19+2.38/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-9,2.38,Hplan,Mext);
paredext10zona4=fabricapared(0,10.37+3.27/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-
9,3.27,Hplan,Mext);

paredext11zona4=fabricapared(1.02+1.65/2,13.42+0.22/2,Hsuelo+Hplan/2,1.65,0.22,H
plan,Mext);
paredext12zona4=fabricapared(3.46+5.33/2,13.42+0.22/2,Hsuelo+Hplan/2,5.33,0.22,H
plan,Mext);

paredext13zona4=fabricapared(7.22+0.4/2,13.64+1.93/2,Hsuelo+Hplan/2,0.4,1.93,Hpl
an,Mext);

paredext14zona4=fabricapared(7.13+0.03/2,13.72+17.92/2,Hsuelo+Hplan/2,0.03,17.92
,Hplan,5);

paredext15zona4=fabricapared(7.22+0.4/2,b4-1.97-
6.85/2,Hsuelo+Hplan/2,0.4,6.85,Hplan,Mext);
paredext16zona4=fabricapared(7.22+0.4/2,b4-
1.17/2,Hsuelo+Hplan/2,0.4,1.17,Hplan,Mext);
paredext17zona4=fabricapared(7.22+7.94/2,b4,Hsuelo+Hplan/2,7.94,10^-
9,Hplan,Mext);
```



```

paredext18zona4=fabricapared(15.15+1.71/2,b4,Hsuelo+Hplan/2,1.71,10^-9,Hplan,5);

% Paredes interiores
paredint1zona4=fabricapared(2.62+0.13/2,0.22+4.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,4.1,Hpas,M
pla);
paredint2zona4=fabricapared(5.15+0.13/2,0.22+4.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,4.1,Hpas,M
pla);
paredint3zona4=fabricapared(7.68+0.13/2,0.22+5.45/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,5.45,Hpas
,Mpla);
paredint4zona4=fabricapared(10.22+0.13/2,0.22+5.45/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,5.45,Hpa
s,Mpla);
paredint5zona4=fabricapared(12.75+0.13/2,0.22+5.45/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,5.45,Hpa
s,Mpla);
paredint6zona4=fabricapared(15.29+0.13/2,0.22+6.34/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,6.34,Hpa
s,Mpla);
%
paredint7zona4=fabricapared(0.22+4.36/2,5.32+0.09/2,Hsuelo+Hpas/2,4.36,0.09,Hpas
,Mpla);
paredint8zona4=fabricapared(0.22+6/2,7.61+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,6,0.1,Hpas,Mpla);
paredint9zona4=fabricapared(7.12+1.67/2,7.61+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,1.67,0.1,Hpas,M
pla);
paredint10zona4=fabricapared(3.75+1.63/2,4.19+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,1.63,0.13,Hpa
s,Mpla);
paredint11zona4=fabricapared(6.28+1.41/2,4.19+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,1.41,0.13,Hpa
s,Mpla);
paredint12zona4=fabricapared(5.65+0.09/2,5.32+2.29/2,Hsuelo+Hpas/2,0.09,2.29,Hpa
s,Mpla);
paredint13zona4=fabricapared(5.74+0.87/2,5.57+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.87,0.1,Hpas,
Mpla);
paredint14zona4=fabricapared(8.79+1.63/2,5.57+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,1.63,0.1,Hpas,
Mpla);
paredint15zona4=fabricapared(11.32+1.63/2,5.57+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,1.63,0.1,Hpas
,Mpla);
paredint16zona4=fabricapared(13.85+1.44/2,5.57+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,1.44,0.1,Hpas
,Mpla);
paredint17zona4=fabricapared(8.79+0.13/2,7.61+6.11/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,6.11,Hpa
s,Mpla);
paredint18zona4=fabricapared(11.97+0.28/2,7.61+6.11/2,Hsuelo+Hpas/2,0.28,6.11,Hp
as,Mpla);
paredint19zona4=fabricapared(15.29+0.13/2,7.46+6.61/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,6.61,Hp
as,Mpla);
%
paredint20zona4=fabricapared(8.79+0.74/2,7.61+0.4/2,Hsuelo+Hpas/2,0.74,0.4,Hpas,
Mpla);
paredint21zona4=fabricapared(10.43+3.36/2,7.61+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,3.36,0.14,Hp
as,Mpla);
paredint22zona4=fabricapared(14.69+0.6/2,7.61+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,0.6,0.14,Hpas
,Mpla);
%
paredint23zona4=fabricapared(8.93+0.6/2,10.42+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,0.6,0.15,Hpas
,Mpla);
paredint24zona4=fabricapared(10.43+3.36/2,10.42+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,3.36,0.15,H
pas,Mpla);
paredint25zona4=fabricapared(14.69+0.82/2,10.42+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,0.82,0.15,H
pas,Mpla);
%
paredint26zona4=fabricapared(7.62+7.8/2,13.58+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,7.8,0.14,Hpas
,Mpla);

paredint27zona4=fabricapared(14.92+0.5/2,14.92+0.65/2,Hsuelo+Hplan/2,0.5,0.65,Hp
lan,7);

```

paredint28zona4=fabricapared(8.95+2.26/2,22.82+0.49/2,Hsuelo+Hplan/2,2.26,0.49,Hplan,Mres);

paredint29zona4=fabricapared(10.92+0.3/2,22.97+8.6/2,Hsuelo+Hplan/2,0.3,8.6,Hplan,7);

paredint30zona4=fabricapared(10.92+0.3/2,22.97+8.6/2,Hsuelo+Hplan/2,0.3,8.6,Hplan,7);

#### % Puertas

puerta1zona4=fabricapared(2.62+0.04/2,4.32+1/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1,Hpue,Mpue);  
puetec1zona4=fabricapared(2.62+0.13/2,4.32+1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.13,1,Hpt,Mpla);

puerta2zona4=fabricapared(2.75+1/2,4.19+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec2zona4=fabricapared(2.75+1/2,4.19+0.13/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1,0.13,Hpt,Mpla);

puerta3zona4=fabricapared(5.38+0.9/2,4.19+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec3zona4=fabricapared(5.38+0.9/2,4.19+0.13/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.13,Hpt,Mpla);

puerta4zona4=fabricapared(4.58+0.9/2,5.32+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec4zona4=fabricapared(4.58+0.9/2,5.32+0.09/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.09,Hpt,Mpla);

puerta5zona4=fabricapared(6.61+1.07/2,5.67+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.07,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec5zona4=fabricapared(6.61+1.07/2,5.67+0.1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.07,0.1,Hpt,Mpla);

puerta6zona4=fabricapared(7.81+0.97/2,5.67+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.97,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec6zona4=fabricapared(7.81+0.97/2,5.67+0.1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.97,0.1,Hpt,Mpla);

puerta7zona4=fabricapared(10.42+0.9/2,5.67+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec7zona4=fabricapared(10.42+0.9/2,5.67+0.1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.1,Hpt,Mpla);

puerta8zona4=fabricapared(12.95+0.9/2,5.67+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec8zona4=fabricapared(12.95+0.9/2,5.67+0.1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.1,Hpt,Mpla);

puerta9zona4=fabricapared(6.22+0.9/2,7.61+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec9zona4=fabricapared(6.22+0.9/2,7.61+0.1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.1,Hpt,Mpla);

puerta10zona4=fabricapared(9.53+0.9/2,7.61+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec10zona4=fabricapared(9.53+0.9/2,7.61+0.14/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.14,Hpt,Mpla);

puerta11zona4=fabricapared(9.53+0.9/2,10.42+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);  
puetec11zona4=fabricapared(9.53+0.9/2,10.42+0.15/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.15,Hpt,Mpla);

puerta12zona4=fabricapared(13.79+0.9/2,7.61+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mpue);

## Iris Sesma Gracia

pue) ;  
 puetec12zona4=fabricapared(13.79+0.9/2,7.61+0.14/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.14,Hp  
 t,Mpla) ;  
 puerta13zona4=fabricapared(13.79+0.9/2,10.42+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,  
 Mpue) ;  
 puetec13zona4=fabricapared(13.79+0.9/2,10.42+0.15/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.15,H  
 pt,Mpla) ;

puerta14zona4=fabricapared(15.29+0.04/2,6.56+1/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1,Hpue,Mpue)  
 ;  
 puetec14zona4=fabricapared(15.29+0.13/2,6.56+1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.13,1,Hpt,Mp  
 la) ;

puerta15zona4=fabricapared(a4-  
 1.43/2,3.44+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.43,0.04,Hpue,Mpue) ;  
 puetec15zona4=fabricapared(a4-  
 1.43/2,3.44+0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.43,0.18,Hpt,Mpla) ;

puerta16zona4=fabricapared(a4-  
 1.34/2,10.42+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.34,0.04,Hpue,Mpue) ;  
 puetec16zona4=fabricapared(a4-  
 1.34/2,10.42+0.15/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.34,0.15,Hpt,Mpla) ;

puerta17zona4=fabricapared(15.3+0.04/2,14.07+0.85/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.85,Hpue  
 ,Mpue) ;  
 puetec17zona4=fabricapared(15.3+0.12/2,14.07+0.85/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.12,0.85  
 ,Hpt,Mpla) ;

puerta18zona4=fabricapared(7.59+1.36/2,b4-8.67-  
 0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,1.36,0.04,Hpue,Mpue) ;  
 puetec18zona4=fabricapared(7.59+1.36/2,b4-8.67-  
 0.15/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,1.36,0.15,Hpt,Mpla) ;

### % Ventanas

ventana1zona4=fabricapared(0.22+0.8/2,0,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10<sup>-9</sup>,Hplan,5) ;  
 ventana2zona4=fabricapared(2.78+0.8/2,0,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10<sup>-9</sup>,Hplan,5) ;  
 ventana3zona4=fabricapared(5.34+0.8/2,0,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10<sup>-9</sup>,Hplan,5) ;  
 ventana4zona4=fabricapared(7.83+0.8/2,0,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10<sup>-9</sup>,Hplan,5) ;  
 ventana5zona4=fabricapared(10.41+0.8/2,0,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10<sup>-9</sup>,Hplan,5) ;  
 ventana6zona4=fabricapared(12.94+0.8/2,0,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10<sup>-9</sup>,Hplan,5) ;

ventana7zona4=fabricapared(0,3.22+0.8/2,Hsuelo+Hplan/2,10<sup>-9</sup>,0.8,Hplan,5) ;  
 ventana8zona4=fabricapared(0,6.39+0.8/2,Hsuelo+Hplan/2,10<sup>-9</sup>,0.8,Hplan,5) ;  
 ventana9zona4=fabricapared(0,9.57+0.8/2,Hsuelo+Hplan/2,10<sup>-9</sup>,0.8,Hplan,5) ;

ventana10zona4=fabricapared(0.22+0.8/2,13.58+0.06/2,Hsuelo+Hplan/2,0.8,0.06,Hpla  
 n,5) ;  
 ventana11zona4=fabricapared(2.66+0.8/2,13.58+0.06/2,Hsuelo+Hplan/2,0.8,0.06,Hpla  
 n,5) ;  
 ventana12zona4=fabricapared(7.26+0.06/2,b4-1.17-  
 0.8/2,Hsuelo+Hplan/2,0.06,0.8,Hplan,5) ;

### % techo

techol1zona4=fabricapared(a4/2,13.64/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,a4,13.64,Hpas-  
 Hhab,Mpla) ;

% Suelo

```
suelo1zona4=fabricapared(a4/2,13.64/2,0,a4,13.64,10^-9,Mpvc);
suelo2zona4=fabricapared(7.22+9.63/2,13.64+18/2,0,9.63,18,10^-9,Mgres);
```

```
m4=0;
```

```
obstaculos4 =[
paredint1zona4;paredint2zona4;paredint3zona4;paredint4zona4;...
paredint5zona4;paredint6zona4;paredint7zona4;paredint8zona4;...
paredint9zona4;paredint10zona4;paredint11zona4;paredint12zona4;...
paredint13zona4;paredint14zona4;paredint15zona4;paredint16zona4;...
paredint17zona4;paredint18zona4;paredint19zona4;paredint20zona4;...
paredint21zona4;paredint22zona4;paredint23zona4;paredint24zona4;...
paredint25zona4;paredint26zona4;paredint27zona4;paredint28zona4;...
paredint29zona4;paredint30zona4;...paredint27zona4;paredint28zona4;...
puerta1zona4;puetec1zona4;puerta2zona4;puetec2zona4;...
puerta3zona4;puetec3zona4;puerta4zona4;puetec4zona4;...
puerta5zona4;puetec5zona4;puerta6zona4;puetec6zona4;...
puerta7zona4;puetec7zona4;puerta8zona4;puetec8zona4;...
puerta9zona4;puetec9zona4;puerta10zona4;puetec10zona4;...
puerta11zona4;puetec11zona4;puerta12zona4;puetec12zona4;...
puerta13zona4;puetec13zona4;puerta14zona4;puetec14zona4;...
puerta15zona4;puetec15zona4;puerta16zona4;puetec16zona4;...
puerta17zona4;puetec17zona4;puerta18zona4;puetec18zona4;...
techolzona4; ventana10zona4;ventana11zona4;ventana12zona4;
paredext11zona4; paredext12zona4; paredext13zona4;
paredext14zona4; paredext15zona4; paredext16zona4;

];
```

```
paredes4=[suelo1zona4,Hsuelo;
suelo2zona4,Hsuelo;
paredext1zona4,0.22;
paredext2zona4,0.22;
paredext3zona4,0.22;
paredext4zona4,0.22;
paredext5zona4,0.22;
paredext6zona4,0.22;
paredext7zona4,0.22;
paredext8zona4,0.22;
paredext9zona4,0.22;
paredext10zona4,0.22;
paredext17zona4,0.57;
paredext18zona4,0.06;
ventana1zona4,0.06;
ventana2zona4,0.06;
ventana3zona4,0.06;
ventana4zona4,0.06;
ventana5zona4,0.06;
ventana6zona4,0.06;
ventana7zona4,0.06;
ventana8zona4,0.06;
ventana9zona4,0.06;
% 0.01/2,b4/2,Ht/2,0.01,b4,Ht,0,0.01;
% a4/2,0.01/2,Ht/2,a4,0.01,Ht,0,0.01;
paredconex3zona4,10^-9;
paredconex8zona4,10^-9;
10^-9/2,13.64+18/2,Ht/2,10^-9,18,Ht,0,10^-9;
```

```

    7.22/2,b4-10^-9/2,Ht/2,7.22,10^-9,Ht,0,10^-9;
%   a4/2,b4-0.01/2,Ht/2,a4,0.01,Ht,0,0.01;
%   a4/2,b4/2,-Hsuelo+0.01/2,a4,b4,0.01,0,0.01;
a4/2,13.64/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,a4,13.64,10^-9,Mpla,Htecho;
7.22+9.63/2,13.64+18/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,9.63,18,10^-9,Mpla,Htecho];

% figure(4);
% pintaobstaculo(a4,b4,c4,obstaculos4);
%
% pintaobstaculo(a4,b4,c4,paredes4);
% axis([0 a4 0 b4 0 c4])
%

room=prepararhabitacion(a4,b4,c4,Resx4,Resy4,Resz4,m4,obstaculos4,paredes4);

```

### **C.1.6. zona5.m**

```

function [room,a5,b5,c5] = zona5(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
    Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)
%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
a5=26.13;
b5=25.58;
c5=Ht;
% Sin resolución
% Resx5=1;
% Resy5=1;
% Resz5=1;
%Para una Resolución de cuboides de 20cm
Resx5=ceil(a5/0.2);
Resy5=ceil(b5/0.2);
Resz5=ceil(c5/0.2);
m5=0;

% Paredes conexión

paredconex3zona5=fabricapared(a5/2,0,Ht/2,26.08,10^-9,Ht,0); %pared de aire
paredconex6zona5=fabricapared(a5,6.48/2,Ht/2,10^-9,6.48,Ht,0); %pared de aire
paredconex7zona5=fabricapared(a5,6.46+19.1/2,Ht/2,10^-9,19.1,Ht,0); %pared de
aire
paredconex8zona5=fabricapared(0,b5/2,Ht/2,10^-9,b5,Ht,0);
% Pared exterior
paredext1zona5=fabricapared(2.7/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,2.7,10^-9,Hplan,Mext);
paredext2zona5=fabricapared(3.5+1.94/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,1.94,10^-9,Hplan,Mext);
paredext3zona5=fabricapared(8.1+1.55/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,1.55,10^-9,Hplan,Mext);
paredext4zona5=fabricapared(10.45+5.1/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,5.1,10^-9,Hplan,Mext);
paredext5zona5=fabricapared(16.34+1.57/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,1.57,10^-
9,Hplan,Mext);
paredext6zona5=fabricapared(20.58+1.81/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,1.81,10^-
9,Hplan,Mext);
paredext7zona5=fabricapared(23.19+2.94/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,2.94,10^-
9,Hplan,Mext);

% Paredes consultas 18-23

```

paredint0zona5=fabricapared(0.01+0.15/2,0.01+25.57/2,Ht/2,0.15,25.57,Ht,Mres);  
%ladrillo2 o hormigon7?

paredint1zona5=fabricapared(5.44/2,0.61-  
0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,5.44,0.15,Hpas,Mres);

paredint2zona5=fabricapared(5.44/2,4.59+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.44,0.18,Hpas,Mres);

paredint3zona5=fabricapared(5.44/2,4.59+4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.44,0.18,Hpas,Mres);

paredint4zona5=fabricapared(5.44/2,4.59+2\*4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.44,0.18,Hpas,Mres);

paredint5zona5=fabricapared(5.44/2,4.59+3\*4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.44,0.18,Hpas,Mres);

paredint6zona5=fabricapared(5.44/2,4.59+4\*4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.44,0.18,Hpas,Mres);

paredint7zona5=fabricapared(5.44-0.1/2,1.43/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,1.43,Hpas,Mres);

paredint8zona5=fabricapared(5.44-  
0.1/2,1.43+1.2+2.74/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.74,Hpas,Mres);

paredint9zona5=fabricapared(5.44-  
0.1/2,6.57+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);

paredint10zona5=fabricapared(5.44-  
0.1/2,10.74+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);

paredint11zona5=fabricapared(5.44-  
0.1/2,14.91+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);

paredint12zona5=fabricapared(5.44-  
0.1/2,19.09+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);

paredint13zona5=fabricapared(5.44-  
0.1/2,23.26+2.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.1,Hpas,Mres);

% Paredes consultas 8-17

paredint14azona5=fabricapared(8.1+5.05/2,0.41+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,5.05,0.12,Hpas,Mres);

paredplo14azona5=fabricapared(8.23+4.77/2,0.54+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,4.77,0.12,Hpas,Mplo);

paredint14bzona5=fabricapared(13.02+5.19/2,0.01+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,5.19,0.15,Hpas,Mres);

paredplo14bzona5=fabricapared(13.02+4.77/2,0.18+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,4.77,0.12,Hpas,Mplo);

paredint15azona5=fabricapared(8.1+4.92/2,4.59+0.21-  
0.25/2,Hsuelo+Hpas/2,4.92,0.25,Hpas,Mplo);

paredint15bzona5=fabricapared(13.02+4.9/2,6.19+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,4.9,0.12,Hpas,Mres);

paredplo15bzona5=fabricapared(13.02+4.77/2,6.06+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,4.77,0.12,Hpas,Mplo);

paredint16azona5=fabricapared(8.1+4.92/2,4.59+4.17+0.21-  
0.25/2,Hsuelo+Hpas/2,4.92,0.25,Hpas,Mres);

paredint16bzona5=fabricapared(8.1+4.92+4.89/2,4.59+4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,4.89,0.18,Hpas,Mres);

paredint17azona5=fabricapared(8.1+4.92/2,13+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,4.92,0.12,Hpas,Mres);

paredplo17azona5=fabricapared(8.23+4.76/2,12.87+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,4.76,0.12,Hpas,Mplo);

paredint17bzona5=fabricapared(8.1+4.92+4.89/2,4.59+2\*4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,4.89,0.18,Hpas,Mres);

## Iris Sesma Gracia

paredint18zona5=fabricapared(8.1+9.81/2,4.59+3\*4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,9.81,0.18,Hpas,Mres);

paredint19zona5=fabricapared(8.1+9.81/2,4.59+4\*4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,9.81,0.18,Hpas,Mres);

¶

paredint20zona5=fabricapared(8.1+0.12/2,0.01+1.33/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,1.33,Hpas,Mres);

paredplo20zona5=fabricapared(8.23+0.12/2,0.54+0.8/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,0.8,Hpas,Mplo);

paredint21zona5=fabricapared(8.1+0.12/2,2.84+2.61/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,2.61,Hpas,Mres);

paredplo21zona5=fabricapared(8.23+0.12/2,2.84+2.61/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,2.61,Hpas,Mplo);

paredint22zona5=fabricapared(8.1+0.12/2,6.65+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,2.97,Hpas,Mres);

paredplo22zona5=fabricapared(8.23+0.12/2,6.65+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,2.97,Hpas,Mplo);

paredint23azona5=fabricapared(8.1+0.12/2,10.82+2.29/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,2.29,Hpas,Mres);

paredplo23azona5=fabricapared(8.23+0.12/2,10.82+2.16/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,2.16,Hpas,Mplo);

paredint23bzona5=fabricapared(8.1+0.1/2,13.11+0.6/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,0.6,Hpas,Mres);

paredint24zona5=fabricapared(8.1+0.1/2,14.91+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);

paredint25zona5=fabricapared(8.1+0.1/2,19.09+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);

paredint26zona5=fabricapared(8.1+0.1/2,23.26+2.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.1,Hpas,Mres);

paredint27zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,0.01+1.32/2,Hsuelo+Hpas/2,0.28,1.32,Hpas,Mplo);

paredint28zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,2.24+7.3/2,Hsuelo+Hpas/2,0.28,7.3,Hpas,Mplo);

paredint29zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,10.53+3.17/2,Hsuelo+Hpas/2,0.28,3.17,Hpas,Mplo);

paredint30zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,14.7+3.17/2,Hsuelo+Hpas/2,0.28,3.17,Hpas,Mres);

paredint31zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,18.88+3.17/2,Hsuelo+Hpas/2,0.28,3.17,Hpas,Mres);

paredint32zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,23.05+2.52/2,Hsuelo+Hpas/2,0.28,2.52,Hpas,Mres);

paredint33zona5=fabricapared(17.81+0.12/2,0.01+1.28/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,1.28,Hpas,Mres);

paredplo33zona5=fabricapared(17.68+0.12/2,0.18+1.12/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,1.12,Hpas,Mplo);

paredint34azona5=fabricapared(17.81+0.12/2,2.79+3.51/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,3.51,Hpas,Mres);

paredplo34azona5=fabricapared(17.68+0.12/2,2.79+3.27/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,3.27,Hpas,Mplo);

paredint34bzona5=fabricapared(17.91-0.1/2,6.3+0.6/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,0.6,Hpas,Mres);

paredint35azona5=fabricapared(17.91-0.1/2,8.1+0.66/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,0.66,Hpas,Mres);

paredint35bzona5=fabricapared(17.91-0.18/2,8.76+0.78/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,0.78,Hpas,Mres);

paredint36azona5=fabricapared(17.91-  
0.18/2,10.74+2.37/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,2.37,Hpas,Mres);  
paredint36bazona5=fabricapared(17.91-  
0.1/2,13.11+0.6/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,0.6,Hpas,Mres);  
paredint37azona5=fabricapared(17.91-  
0.1/2,14.91+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);  
paredint38azona5=fabricapared(17.91-  
0.1/2,19.09+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas,Mres);  
paredint39azona5=fabricapared(17.91-  
0.1/2,23.26+2.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.1,Hpas,Mres);

% Paredes consultas 3-7 + control circA

paredint40azona5=fabricapared(20.61+0.18/2,0.01+3.29/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,3.29,Hp  
as,Mres);  
paredint41azona5=fabricapared(20.61+0.5/2,4.3+2/2,Hsuelo+Hpas/2,0.5,2,Hpas,Mres);  
paredint42azona5=fabricapared(20.58+0.53/2,8.75+0.78/2,Hsuelo+Hpas/2,0.53,0.78,Hp  
as,Mres);  
paredint43azona5=fabricapared(20.58+0.1/2,10.73+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpa  
s,Mres);  
paredint44azona5=fabricapared(20.58+0.1/2,14.9+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpas  
,Mres);  
paredint45azona5=fabricapared(20.58+0.1/2,19.08+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.97,Hpa  
s,Mres);  
paredint46azona5=fabricapared(20.58+0.1/2,23.25+2.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,2.1,Hpas,  
Mres);

paredint47azona5=fabricapared(a5-  
2.43+0.18/2,0.8+5.5/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,5.5,Hpas,Mres);  
paredint48azona5=fabricapared(20.58+2.45+0.1/2,8.75+4.35/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,4.35  
,Hpas,Mres);  
paredint49azona5=fabricapared(20.58+5.42+0.1/2,8.75+0.78/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,0.78  
,Hpas,Mres);  
paredint50azona5=fabricapared(20.58+5.42+0.1/2,8.75+1.98+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1  
,2.97,Hpas,Mres);  
paredint51azona5=fabricapared(20.58+5.42+0.1/2,8.75+6.15+2.97/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1  
,2.97,Hpas,Mres);  
paredint52azona5=fabricapared(20.58+5.42+0.1/2,8.75+10.32+2.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1  
,2.1,Hpas,Mres);  
paredint53azona5=fabricapared(20.58+5.42+0.1/2,8.75+14.5+2.1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,  
2.1,Hpas,Mres);

paredint54azona5=fabricapared(20.31+0.3+5.46/2,0.65+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,5.46,0.1  
5,Hpas,Mres);  
paredint55azona5=fabricapared(20.31+5.76-  
2.38/2,5.68+0.44/2,Hsuelo+Hpas/2,2.38,0.44,Hpas,Mres);  
paredint56azona5=fabricapared(20.58+5.45/2,8.75+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.45,0.18,Hp  
as,Mres);  
paredint57azona5=fabricapared(20.58+5.45/2,8.75+4.17+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.45,0.  
18,Hpas,Mres);  
paredint58azona5=fabricapared(20.58+5.45/2,8.75+8.34+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.45,0.  
18,Hpas,Mres);  
paredint59azona5=fabricapared(20.58+5.45/2,8.75+12.52+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.45,0  
.18,Hpas,Mres);

% varios

paredint60azona5=fabricapared(5.44/2,0.01+0.18/2,Hsuelo+Hpas/2,5.44,0.18,Hpas,Mre  
s);  
paredint61azona5=fabricapared(5.44-  
0.18/2,0.01+0.61/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,0.61,Hpas,Mres);  
paredint62azona5=fabricapared(20.31+5.76/2,0.01+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,5.76,0.15,Hp



## Iris Sesma Gracia

as,Mres);  
 paredint63zona5=fabricapared(26.08-  
 0.18/2,0.01+0.8/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,0.8,Hpas,Mres);

### % Puertas

puertal1zona5=fabricapared(5.44+0.03/2,1.43+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl1zona5=fabricapared(5.44+0.1/2,1.43+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta2zona5=fabricapared(5.44+0.03/2,5.37+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl2zona5=fabricapared(5.44+0.1/2,5.37+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta3zona5=fabricapared(5.44+0.03/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl3zona5=fabricapared(5.44+0.1/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta4zona5=fabricapared(5.44+0.03/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl4zona5=fabricapared(5.44+0.1/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta5zona5=fabricapared(5.44+0.03/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl5zona5=fabricapared(5.44+0.1/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta6zona5=fabricapared(5.44+0.03/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl6zona5=fabricapared(5.44+0.1/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta7zona5=fabricapared(8.1-  
 0.03/2,1.33+1.5/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.5,Hpueg,Mplo);  
 puetecl7zona5=fabricapared(8.1+0.25/2,1.33+1.5/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.25,1.5,Hptg,Mplo);  
 puerta8zona5=fabricapared(8.1-  
 0.03/2,5.37+0.08+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,Mplo);  
 puetecl8zona5=fabricapared(8.1+0.25/2,5.37+0.08+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.25,1.2,Hptg,Mplo);  
 puerta9zona5=fabricapared(8.1-  
 0.03/2,9.54+0.08+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,Mplo);  
 puetecl9zona5=fabricapared(8.1+0.25/2,9.54+0.08+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.25,1.2,Hptg,Mplo);  
 puerta10zona5=fabricapared(8.1-  
 0.03/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl10zona5=fabricapared(8.1+0.1/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta11zona5=fabricapared(8.1-  
 0.03/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl11zona5=fabricapared(8.1+0.1/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta12zona5=fabricapared(8.1-  
 0.03/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetecl12zona5=fabricapared(8.1+0.1/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta13zona5=fabricapared(13.07+0.03/2,1.33+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.03,0.9,Hpue,Mplo);  
 puetecl13zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,1.33-  
 0.05+1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.28,1,Hpt,Mplo);

puerta14zona5=fabricapared(13.07+0.03/2,9.54+0.05+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.03,0.9,Hpue,Mplo);  
puetec14zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,9.54+1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.28,1,Hpt,Mplo);  
puerta15zona5=fabricapared(13.07+0.03/2,13.71+0.05+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.03,0.9,Hpue,4);  
puetec15zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,13.71+1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.28,1,Hpt,Mres);  
puerta16zona5=fabricapared(13.07+0.03/2,17.89+0.05+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.03,0.9,Hpue,4);  
puetec16zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,17.89+1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.28,1,Hpt,Mres);  
puerta17zona5=fabricapared(13.07+0.03/2,22.06+0.05+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.03,0.9,Hpue,4);  
puetec17zona5=fabricapared(12.87+0.28/2,22.06+1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.28,1,Hpt,Mres);

puerta18zona5=fabricapared(17.81+0.03/2,1.28+1.5/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.5,Hpueg,Mplo);  
puetec18zona5=fabricapared(17.81+0.1/2,1.28+1.5/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.5,Hptg,Mplo);  
puerta19zona5=fabricapared(17.81+0.03/2,6.9+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec19zona5=fabricapared(17.81+0.1/2,6.9+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
puerta20zona5=fabricapared(17.81+0.03/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec20zona5=fabricapared(17.74+0.18/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.18,1.2,Hptg,Mres);  
puerta21zona5=fabricapared(17.81+0.03/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec21zona5=fabricapared(17.81+0.1/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
puerta22zona5=fabricapared(17.81+0.03/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec22zona5=fabricapared(17.81+0.1/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
puerta23zona5=fabricapared(17.81+0.03/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec23zona5=fabricapared(17.81+0.1/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);

puerta24zona5=fabricapared(20.61+0.04/2,3.35+0.9/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,0.9,Hpueg,4);  
puetec24zona5=fabricapared(20.61+0.18/2,3.3+1/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.18,1,Hptg,Mres);

puerta25zona5=fabricapared(20.58+0.03/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec25zona5=fabricapared(20.58+0.1/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
puerta26zona5=fabricapared(20.58+0.03/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec26zona5=fabricapared(20.58+0.1/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
puerta27zona5=fabricapared(20.58+0.03/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
puetec27zona5=fabricapared(20.58+0.1/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);

## Iris Sesma Gracia

puerta28zona5=fabricapared(20.58+0.03/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetec28zona5=fabricapared(20.58+0.1/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);

puerta29zona5=fabricapared(a5-0.01-0.03/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetec29zona5=fabricapared(a5-0.01-0.1/2,9.54+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta30zona5=fabricapared(a5-0.01-0.03/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetec30zona5=fabricapared(a5-0.01-0.1/2,13.71+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta31zona5=fabricapared(a5-0.01-0.03/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetec31zona5=fabricapared(a5-0.01-0.1/2,17.89+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);  
 puerta32zona5=fabricapared(a5-0.01-0.03/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.2,Hpueg,4);  
 puetec32zona5=fabricapared(a5-0.01-0.1/2,22.06+1.2/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.2,Hptg,Mres);

puerta33zona5=fabricapared(18.21+2.1/2,0.04/2,Hsuelo+Hpueg/2,2.1,0.04,Hpueg,4);  
 puetec33zona5=fabricapared(18.21+2.1/2,0.15/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,2.1,0.15,Hptg,Mres);

### % Venatanas

ventana1zona5=fabricapared(2.7+0.8/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10^-9,Hplan,5);  
 ventana2zona5=fabricapared(5.44+2.66/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,2.66,10^-9,Hplan,5);  
 ventana3zona5=fabricapared(9.65+0.8/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10^-9,Hplan,5);  
 ventana4zona5=fabricapared(15.54+0.8/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10^-9,Hplan,5);  
 ventana5zona5=fabricapared(17.91+2.67/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,2.67,10^-9,Hplan,5);  
 ventana6zona5=fabricapared(22.39+0.8/2,b5,Hsuelo+Hplan/2,0.8,10^-9,Hplan,5);

### % Techo

techo1zona5=fabricapared(5.44/2,25.58/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,5.44,25.58,Hpas-Hhab,Mpla);  
 techo2zona5=fabricapared(8.1+9.81/2,13+12.58/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,9.81,12.58,Hpas-Hhab,Mpla);  
 techo3zona5=fabricapared(20.58+5.55/2,8.75+16.82/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,5.55,16.82,Hpas-Hhab,Mpla);  
 techo4zona5=fabricapared(8.1+4.92/2,0.01+12.99/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,4.92,12.99,Hpas-Hhab,Mplo);  
 techo5zona5=fabricapared(8.1+4.92+4.92/2,0.01+6.19/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,4.92,6.19,Hpas-Hhab,Mplo);  
 techo6zona5=fabricapared(8.1+4.92+4.92/2,6.2+6.81/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-Hhab)/2,4.92,6.81,Hpas-Hhab,Mpla);

### % Suelo

suelo1zona5=fabricapared(8.1+9.82/2,13.1/2,Hsuelo/2,9.82,13.1,Hsuelo,MpvcC);

### % obstaculos

obstaculos5 = [

paredint0zona5;paredint1zona5;paredint2zona5;paredint3zona5;paredint4zona5;...  
 paredint5zona5;paredint6zona5;paredint7zona5;paredint8zona5;...

```

paredint9zona5;paredint10zona5;paredint11zona5;paredint12zona5;...
paredint13zona5;paredint14azona5;paredint14bzona5;paredint15azona5;paredint15bzo
na5;...
paredint16azona5;paredint16bzona5;paredint17azona5;...
paredint17bzona5;paredint18zona5;paredint19zona5;paredint20zona5;...

paredint21zona5;paredint22zona5;paredint23azona5;paredint23bzona5;paredint24zona
5;...
paredint25zona5;paredint26zona5;paredint27zona5;paredint28zona5;...
paredint29zona5;paredint30zona5;paredint31zona5;paredint32zona5;...
paredint33zona5;paredint34azona5;paredint34bzona5;paredint35azona5;...
paredint35bzona5;paredint36azona5;paredint36bzona5;paredint37zona5;...
paredint38zona5;paredint39zona5;paredint40zona5;paredint41zona5;...
paredint42zona5;paredint43zona5;paredint44zona5;paredint45zona5;...
paredint46zona5;paredint47zona5;paredint48zona5;paredint49zona5;...
paredint50zona5;paredint51zona5;paredint52zona5;paredint53zona5;...
paredint54zona5;paredint55zona5;paredint56zona5;paredint57zona5;...
paredint58zona5;paredint59zona5;paredint60zona5;paredint61zona5;...
paredint62zona5;paredint63zona5;...%paredint60zona5;paredint61zona5;...
puerta1zona5;puetec1zona5;puerta2zona5;puetec2zona5;...
puerta3zona5;puetec3zona5;puerta4zona5;puetec4zona5;...
puerta5zona5;puetec5zona5;puerta6zona5;puetec6zona5;...
puerta7zona5;puetec7zona5;puerta8zona5;puetec8zona5;...
puerta9zona5;puetec9zona5;puerta10zona5;puetec10zona5;...
puerta11zona5;puetec11zona5;puerta12zona5;puetec12zona5;...
puerta13zona5;puetec13zona5;puerta14zona5;puetec14zona5;...
puerta15zona5;puetec15zona5;puerta16zona5;puetec16zona5;...
puerta17zona5;puetec17zona5;puerta18zona5;puetec18zona5;...
puerta19zona5;puetec19zona5;puerta20zona5;puetec20zona5;...
puerta21zona5;puetec21zona5;puerta22zona5;puetec22zona5;...
puerta23zona5;puetec23zona5;puerta24zona5;puetec24zona5;...
puerta25zona5;puetec25zona5;puerta26zona5;puetec26zona5;...
puerta27zona5;puetec27zona5;puerta28zona5;puetec28zona5;...
puerta29zona5;puetec29zona5;puerta30zona5;puetec30zona5;...
puerta31zona5;puetec31zona5;puerta32zona5;puetec32zona5;...
puerta33zona5;puetec33zona5;...;puerta24zona5;puetec24zona5;...
techo1zona5;techo2zona5;techo3zona5;suelo1zona5;...
paredplo14azona5;paredplo14bzona5;paredplo15bzona5;paredplo17azona5;
paredplo20zona5;paredplo21zona5;paredplo22zona5;paredplo23azona5;
paredplo33zona5;paredplo34azona5;
techo4zona5;techo5zona5;techo6zona5;
];

paredes=[ paredconex8zona5,10^-9;
paredconex3zona5,10^-9;
paredconex6zona5,10^-9;
paredconex7zona5,10^-9;
% a5/2,b5-0.01/2,Ht/2,a5,0.01,Ht,0,0.01;
paredext1zona5,0.22;
paredext2zona5,0.22;
paredext3zona5,0.22;
paredext4zona5,0.22;...
paredext5zona5,0.22;
paredext6zona5,0.22;
paredext7zona5,0.22;...
ventana1zona5,0.06;
ventana2zona5,0.06;
ventana3zona5,0.06;
ventana4zona5,0.06;...

```

```

    ventana5zona5,0.06;
    ventana6zona5,0.06;...
    a5/2,b5/2,0,a5,b5,10^-9,Mpvc,Hsuelo;
a5/2,b5/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,a5,b5,10^-9,Mpla,Htecho

```

```
];
```

```

% figure(5);
% pintaobstaculo(a5,b5,c5,obstaculos5);
%
% pintaobstaculo(a5,b5,c5,paredes5);
% axis([0 a5 0 b5 0 c5])
%
room=prepararhabitacion(a5,b5,c5,Resx5,Resy5,Resz5,m5,obstaculos5,paredes5);
%

```

### C.1.7. zona6.m

```

function [room,a6,b6,c6] = zona6(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
    Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)

```

```

%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%

```

```

a6=21.92;
b6=20.48;
c6=Ht;

```

```

% Sin resolución
% Resx6=1;
% Resy6=1;
% Resz6=1;

```

```
%Para una Resolución de cuboides de 20cm
```

```

Resx6=ceil(a6/0.2);
Resy6=ceil(b6/0.2);
Resz6=ceil(c6/0.2);
m6=0;

```

```
% Paredes conexión
```

```

paredconex2zona6=fabricapared(a6/2,0,Ht/2,a6,10^-9,Ht,0); %pared de aire
paredconex3zona6=fabricapared(0,14/2,Ht/2,10^-9,14,Ht,0); %pared de aire
paredconex5zona6=fabricapared(0,14+6.48/2,Ht/2,10^-9,6.48,Ht,0); %pared de aire
paredconex7zona6=fabricapared(a6/2,b6,Ht/2,a6,10^-9,Ht,0); %pared de aire

```

```
%
```

```
% % Paredes exteriores
```

```

paredext1zona6=fabricapared(a6-0.09-
0.35/2,2.59+3.32/2,Hsuelo+Hplan/2,0.35,3.32,Hplan,Mext);
paredext2zona6=fabricapared(a6-0.09-
0.32/2,7.17+13.19/2,Hsuelo+Hplan/2,0.32,13.19,Hplan,Mext);

```

```
% Paredes plomadas
```

```

paredplo1zona6=fabricapared(4.4+3.33/2,2.69+0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,3.33,0.12,Hpla
n,Mplo);
paredplo2zona6=fabricapared(7.61+0.12/2,2.69+7.15/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,7.15,Hpl
an,Mplo);
paredplo3zona6=fabricapared(3.8+3.92/2,2.69+7.15+0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,3.92,0.12
,Hplan,Mplo);
paredplo4azona6=fabricapared(2.41+2.1/2,3.91+0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,2.1,0.12,Hpla
n,Mplo);

```

paredplo4bzona6=fabricapared(4.4+0.12/2,3.68+0.35/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,0.35,Hplan,Mplo);

paredplo5zona6=fabricapared(2.41+0.12/2,3.91+1.88/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,1.88,Hplan,Mplo);

paredplo6zona6=fabricapared(2.41+0.12/2,7.38+2.46/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,2.46,Hplan,Mplo);

paredplo7zona6=fabricapared(2.41+0.49/2,9.73+0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,0.49,0.12,Hplan,Mplo);

paredplo8zona6=fabricapared(3.8+3.92/2,12.8+0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,3.92,0.12,Hplan,Mplo);

paredplo9zona6=fabricapared(7.61+0.12/2,12.8+7.47/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,7.47,Hplan,Mplo);

paredplo10zona6=fabricapared(5.64+2.12/2,b6-0.21-0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,2.12,0.12,Hplan,Mplo);

paredplo11zona6=fabricapared(5.64+0.12/2,b6-0.21-2.45/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,2.45,Hplan,Mplo);

paredplo12zona6=fabricapared(5.42+0.34/2,b6-2.54-0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,0.34,0.12,Hplan,Mplo);

paredplo13zona6=fabricapared(4.26+0.36/2,b6-2.54-0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,0.36,0.12,Hplan,Mplo);

paredplo14zona6=fabricapared(2.41+1.04/2,b6-2.54-0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,1.04,0.12,Hplan,Mplo);

paredplo15zona6=fabricapared(2.41+0.12/2,b6-2.54-1.09/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,1.09,Hplan,Mplo);

paredplo16zona6=fabricapared(2.41+0.12/2,12.8+2.44/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,2.44,Hplan,Mplo);

paredplo17zona6=fabricapared(2.41+0.49/2,12.8+0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,0.49,0.12,Hplan,Mplo);

#### % Paredes interiores

paredint1zona6=fabricapared(2.23+6.23/2,2.56+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,6.23,0.12,Hpas,Mres);

paredint2zona6=fabricapared(2.23+2.16/2,3.78+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,2.16,0.13,Hpas,Mres);

paredint3zona6=fabricapared(2.32+0.12/2,3.91+1.88/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,1.88,Hpas,Mres);

paredint4azona6=fabricapared(2.23+0.12/2,7.38+3.9/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,3.9,Hpas,Mres);

paredint4bzona6=fabricapared(2.43+0.41/2,9.97+1.22/2,Hsuelo+Hpas/2,0.41,1.22,Hpas,Mres);

paredint5azona6=fabricapared(2.28+0.13/2,12.17+3.06/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,3.06,Hpas,Mres);

paredint5bzona6=fabricapared(2.28+0.62/2,12.67+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,0.62,0.12,Hpas,Mres);

paredint6azona6=fabricapared(2.28+0.12/2,16.84+2.41/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,2.41,Hpas,Mres);

paredint6bzona6=fabricapared(2.7+0.38/2,18.07+1/2,Hsuelo+Hpas/2,0.38,1,Hpas,Mres);

paredint7zona6=fabricapared(2.4+1.05/2,b6-2.41-0.12/2,Hsuelo+Hplan/2,1.04,0.12,Hplan,Mres);

paredint8zona6=fabricapared(2.46+1.12/2,b6-1.23-0.18/2,Hsuelo+Hplan/2,1.12,0.18,Hplan,Mres);

paredint9zona6=fabricapared(2.28+6.22/2,b6-0.01-0.18/2,Hsuelo+Hplan/2,6.22,0.18,Hplan,Mres);

paredint10zona6=fabricapared(4.35+0.18/2,b6-1.2-1.33/2,Hsuelo+Hplan/2,0.14,1.33,Hplan,Mres);

## Iris Sesma Gracia

paredint11zona6=fabricapared(5.51+0.12/2,b6-0.25-  
 2.33/2,Hsuelo+Hplan/2,0.12,2.33,Hplan,Mres);

%

paredint12zona6=fabricapared(3.8+3.94/2,12.67+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,3.94,0.12,Hpa  
 s,Mres);

paredint13zona6=fabricapared(3.8+3.94/2,9.86+0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,3.94,0.12,Hpas  
 ,Mres);

%

paredint14azona6=fabricapared(7.74+0.12/2,2.56+17.91/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,17.91,  
 Hpas,Mres);

%paredint14bzona6=fabricapared(7.74+0.12/2,2.56+17.91/2,Hsuelo+Hpas/2,0.12,17.91  
 ,Hpas,Mres);

%

%

paredint15zona6=fabricapared(7.86+0.65/2,6.67+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,0.65,0.13,Hpa  
 s,Mres);

paredint16zona6=fabricapared(7.86+0.65/2,14.4+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,0.65,0.13,Hpa  
 s,Mres);

%

paredint17zona6=fabricapared(13.95+0.1/2,2.56+4.24/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,4.24,Hpas  
 ,Mres);

paredint18zona6=fabricapared(9.71+4.34/2,6.67+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,4.34,0.13,Hpa  
 s,Mres);

paredint19zona6=fabricapared(9.71+4.34/2,14.4+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,4.34,0.13,Hpa  
 s,Mres);

%

paredint20azona6=fabricapared(10.03+0.13/2,b6-1.28-  
 3.36/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,3.36,Hpas,Mres);

%

%paredint20bzona6=fabricapared(10.01+0.13/2,15.77+3.36/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,3.36  
 ,Hpas,Mres);

paredint21zona6=fabricapared(10.03+3.76/2,b6-3-  
 0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,3.76,0.13,Hpas,Mres);

paredint22zona6=fabricapared(9.71+4.34/2,b6-0.01-  
 0.12/2,Hsuelo+Hpas/2,4.34,0.12,Hpas,Mres);

paredint23zona6=fabricapared(13.92+0.13/2,b6-1.28-  
 3.36/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,3.36,Hpas,Mres);

paredint24zona6=fabricapared(17.88+3.95/2,2.59+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,3.95,0.1,Hpas  
 ,Mres);

paredint25zona6=fabricapared(17.88+0.1/2,2.59+1.01/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,1.01,Hpas  
 ,Mres);

paredint26zona6=fabricapared(17.88+3.95/2,4.59+0.16/2,Hsuelo+Hpas/2,3.95,0.16,Hp  
 as,Mres);

paredint27zona6=fabricapared(17.88+0.16/2,6+1.85/2,Hsuelo+Hpas/2,0.16,1.85,Hpas,  
 Mres);

paredint28zona6=fabricapared(17.88+3.95/2,7.85+0.51/2,Hsuelo+Hpas/2,3.95,0.51,Hp  
 as,Mres);

paredint29zona6=fabricapared(18.32+3.22/2,10.67+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,3.22,0.13,H  
 pas,Mres);

paredint30zona6=fabricapared(17.88+3.95/2,13.11+0.37/2,Hsuelo+Hpas/2,3.95,0.37,H  
 pas,Mres);

paredint31zona6=fabricapared(17.88+0.38/2,13.11+7.23/2,Hsuelo+Hplan/2,0.38,7.23,  
 Hplan,7);

% %

%

% % Puertas

puerta1zona6=fabricapared(6.23+0.04/2,0.01+2.55/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,2.55,Hpueg,Mpue);

puetec1zona6=fabricapared(6.23+0.15/2,0.01+2.55/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.15,2.55,Hptg,Mres);

‰

puerta2zona6=fabricapared(a6-0.09-0.03/2,0.01+2.58/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,2.58,Hpueg,5);

puetec2zona6=fabricapared(a6-0.09-0.35/2,0.01+2.58/2,Hpueg+Hsuelo+Hptgext/2,0.35,2.58,Hptgext,Mext);

‰

puerta3zona6=fabricapared(2.23+0.04/2,2.68+1.1/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.1,Hpue,Mpue);

puetec3zona6=fabricapared(2.23+0.12/2,2.68+1.1/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.12,1.1,Hpt,Mres);

puerta4zona6=fabricapared(4.4+0.04/2,2.81+0.87/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.87,Hpue,Mplo);

puetec4zona6=fabricapared(4.4+0.12/2,2.81+0.87/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.12,0.87,Hpt,Mplo);

‰

puerta5zona6=fabricapared(0.01+2.27/2,5.21+0.04/2,Hsuelo+Hpueg/2,2.27,0.04,Hpueg,Mpue);

puetec5zona6=fabricapared(0.01+2.27/2,5.21+0.15/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,2.27,0.15,Hptg,Mres);

puerta6zona6=fabricapared(a6-3.94-0.03/2,3.59+1/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1,Hpueg,Mpue);

puetec6zona6=fabricapared(a6-3.94-0.1/2,3.59+1/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1,Hptg,Mres);

puerta7zona6=fabricapared(a6-3.88-0.04/2,4.75+1.25/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,1.25,Hpueg,Mpue);

puetec7zona6=fabricapared(a6-3.88-0.16/2,4.75+1.25/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.16,1.25,Hptg,Mres);

puerta8zona6=fabricapared(a6-0.09-0.03/2,5.9+1.25/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,2.59,Hpueg,5);

puetec8zona6=fabricapared(a6-0.09-0.35/2,5.9+1.25/2,Hpueg+Hsuelo+Hptgext/2,0.35,2.59,Hptgext,Mext);

puerta9zona6=fabricapared(2.41+0.04/2,5.78+1.6/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,1.6,Hpueg,Mplo);

puetec9zona6=fabricapared(2.41+0.12/2,5.78+1.6/2,Hpueg+Hpt/2,0.12,1.6,Hptg,Mplo);

;

puerta10zona6=fabricapared(8.51+1.2/2,6.67+0.04/2,Hsuelo+Hpueg/2,1.2,0.04,Hpueg,Mpue);

puetec10zona6=fabricapared(8.51+1.2/2,6.67+0.13/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,1.2,0.13,Hptg,Mres);

puerta11zona6=fabricapared(2.9+0.9/2,9.73+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mplo);

puetec11zona6=fabricapared(2.9+0.9/2,9.73+0.12/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.12,Hpt,Mplo);

puerta12zona6=fabricapared(2.28+0.04/2,11.28+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.9,Hpue,Mpue);

puetec12zona6=fabricapared(2.28+0.15/2,11.28+0.9/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,0.9,Hpt,Mres);

puerta13zona6=fabricapared(2.9+0.9/2,12.8+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,Mplo);

;



## Iris Sesma Gracia

puetec13zona6=fabricapared(2.9+0.9/2,12.8+0.12/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.12,Hpt,Mplo);

puerta14zona6=fabricapared(0.01+2.27/2,14.01+0.04/2,Hsuelo+Hpueg/2,2.27,0.04,Hpueg,Mpue);

puetec14zona6=fabricapared(0.01+2.27/2,14.01+0.18/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,2.27,0.15,Hptg,Mres);

puerta15zona6=fabricapared(2.41+0.04/2,15.24+1.6/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,1.6,Hpueg,Mplo);

puetec15zona6=fabricapared(2.41+0.12/2,15.24+1.6/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.12,1.6,Hptg,Mplo);

puerta16zona6=fabricapared(3.41+0.8/2,b6-2.53+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.8,0.04,Hpue,Mplo);

puetec16zona6=fabricapared(3.41+0.8/2,b6-2.53+0.12/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.8,0.12,Hpt,Mplo);

puerta17zona6=fabricapared(4.62+0.8/2,b6-2.53+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.8,0.04,Hpue,Mplo);

puetec17zona6=fabricapared(4.62+0.8/2,b6-2.53+0.12/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.8,0.12,Hpt,Mplo);

puerta18zona6=fabricapared(3.4+0.95/2,b6-1.41+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.95,0.04,Hpue,Mpue);

puetec18zona6=fabricapared(3.4+0.95/2,b6-1.41+0.18/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.95,0.18,Hpt,Mres);

puerta19zona6=fabricapared(4.35+0.04/2,b6-0.3-0.98/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.98,Hpue,Mpue);

puetec19zona6=fabricapared(4.35+0.18/2,b6-0.3-0.98/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.18,0.98,Hpt,Mres);

puerta20zona6=fabricapared(2.28+0.04/2,b6-0.2-0.95/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.95,Hpue,Mpue);

puetec20zona6=fabricapared(2.28+0.18/2,b6-0.2-0.95/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.18,0.95,Hpt,Mres);

puerta21zona6=fabricapared(8.51+1.2/2,14.4+0.04/2,Hsuelo+Hpueg/2,1.2,0.04,Hpueg,Mpue);

puetec21zona6=fabricapared(8.51+1.2/2,14.4+0.13/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,1.2,0.13,Hptg,Mres);

puerta22zona6=fabricapared(10.03+0.04/2,b6-4.74-1.2/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.2,Hpue,Mpue);

puetec22zona6=fabricapared(10.03+0.13/2,b6-4.74-1.2/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.13,1.2,Hpt,Mres);

puerta23zona6=fabricapared(13.92+0.04/2,b6-4.74-1.2/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.2,Hpue,Mpue);

puetec23zona6=fabricapared(13.92+0.13/2,b6-4.74-1.2/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.13,1.2,Hpt,Mres);

puerta24zona6=fabricapared(10.03+0.04/2,b6-0.13-1.15/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.15,Hpue,Mpue);

puetec24zona6=fabricapared(10.03+0.13/2,b6-0.13-1.15/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.13,1.15,Hpt,Mres);

puerta25zona6=fabricapared(13.92+0.04/2,b6-0.13-1.25/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.25,Hpue,Mpue);

puetec25zona6=fabricapared(13.92+0.13/2,b6-0.13-

1.25/2, Hsuelo+Hpue+Hpt/2, 0.13, 1.25, Hpt, Mrs) ;

puerta26zona6=fabricapared(8.51+1.2/2, b6-0.01-0.04/2, Hsuelo+Hpueg/2, 1.2, 0.04, Hpueg, Mpue) ;

puetec26zona6=fabricapared(8.51+1.2/2, b6-0.01-0.12/2, Hsuelo+Hpueg+Hptg/2, 1.2, 0.12, Hptg, Mrs) ;

#### % Techos

techo1zona6=fabricapared(4.4+3.33/2, 2.69+1.22/2, Hsuelo+Hhab+ (Hpas-Hhab) /2, 3.33, 1.22, Hpas-Hhab, Mplo) ;

techo2zona6=fabricapared(2.41+5.31/2, 3.91+5.93/2, Hsuelo+Hhab+ (Hpas-Hhab) /2, 5.31, 5.93, Hpas-Hhab, Mplo) ;

techo3zona6=fabricapared(2.41+5.31/2, 9.86+2.82/2, Hsuelo+Hhab+ (Hpas-Hhab) /2, 5.31, 2.82, Hpas-Hhab, Mpla) ;

techo4zona6=fabricapared(2.41+5.31/2, 12.8+5.14/2, Hsuelo+Hhab+ (Hpas-Hhab) /2, 5.31, 5.14, Hpas-Hhab, Mplo) ;

techo5zona6=fabricapared(5.64+2.09/2, 17.94+2.33/2, Hsuelo+Hhab+ (Hpas-Hhab) /2, 2.09, 2.33, Hpas-Hhab, Mplo) ;

#### % suelos

suelo1zona6=fabricapared(4.4+3.33/2, 2.69+1.22/2, 0, 3.33, 1.22, 10<sup>-9</sup>, Mplo) ;

suelo2zona6=fabricapared(2.41+5.31/2, 3.91+5.93/2, 0, 5.31, 5.93, 10<sup>-9</sup>, Mplo) ;

suelo3zona6=fabricapared(2.41+5.31/2, 12.8+5.14/2, 0, 5.31, 5.14, 10<sup>-9</sup>, Mplo) ;

suelo4zona6=fabricapared(5.64+2.09/2, 17.94+2.33/2, 0, 2.09, 2.33, 10<sup>-9</sup>, Mplo) ;

suelo5zona6=fabricapared(7.73/2, b6/2, 0, 7.73, b6, 10<sup>-9</sup>, Mpv) ;

suelo6zona6=fabricapared(7.73+14.19/2, b6/2, 0, 14.19, b6, 10<sup>-9</sup>, Mg) ;

%

paredes6=[paredconex7zona6, 10<sup>-9</sup>;

paredconex5zona6, 10<sup>-9</sup>;

paredconex3zona6, 10<sup>-9</sup>;

paredconex2zona6, 10<sup>-9</sup>;

a6, b6/2, Ht/2, 10<sup>-9</sup>, b6, Ht, 0, 10<sup>-9</sup>;

%a6-0.01, b6/2, Ht/2, 0.01, b6, Ht, 0, 0.01;

%a6/2, b6/2, -Hsuelo+0.01/2, a6, b6, 0.01, 0, 0.01;

suelo1zona6, Hsuelo;

suelo2zona6, Hsuelo;

suelo3zona6, Hsuelo;

suelo4zona6, Hsuelo;

suelo5zona6, Hsuelo;

suelo6zona6, Hsuelo;

a6/2, b6/2, Hsuelo+Hpas+Htecho, a6, b6, 10<sup>-9</sup>, Mpla, Htecho] ;

obstaculos6=[paredplo1zona6;paredplo2zona6;paredplo3zona6;paredplo4azona6;...

paredplo4bazona6;paredplo5zona6;paredplo6zona6;paredplo7zona6;...

paredplo8zona6;paredplo9zona6;paredplo10zona6;paredplo11zona6;...

paredplo12zona6;paredplo13zona6;...

paredplo14zona6;paredplo15zona6;paredplo16zona6;paredplo17zona6;...

paredint1zona6;paredint2zona6;paredint3zona6;paredint4azona6;...

paredint4bazona6;paredint5azona6;paredint5bazona6;paredint6azona6;...

paredint6bazona6;paredint7zona6;paredint8zona6;...

paredint9zona6;paredint10zona6;...

paredint11zona6;paredint12zona6;paredint13zona6;paredint14azona6;...

paredint15zona6;paredint16zona6;paredint17zona6;paredint18zona6;...

paredint19zona6;paredint20azona6;paredint21zona6;paredint22zona6;...

paredint23zona6;paredint24zona6;paredint25zona6;paredint26zona6;...

paredint27zona6;paredint28zona6;...

paredint29zona6;paredint30zona6;paredint31zona6;...

```

    puerta1zona6;puetec1zona6;
    puerta3zona6;puetec3zona6;puerta4zona6;puetec4zona6;...
    puerta5zona6;puetec5zona6;puerta6zona6;puetec6zona6;...
    puerta7zona6;puetec7zona6;
    puerta9zona6;puetec9zona6;puerta10zona6;puetec10zona6;...
    puerta11zona6;puetec11zona6;puerta12zona6;puetec12zona6;...
    puerta13zona6;puetec13zona6;puerta14zona6;puetec14zona6;...
    puerta15zona6;puetec15zona6;puerta16zona6;puetec16zona6;...
    puerta17zona6;puetec17zona6;puerta18zona6;puetec18zona6;...
    puerta19zona6;puetec19zona6;puerta20zona6;puetec20zona6;...
    puerta21zona6;puetec21zona6;puerta22zona6;puetec22zona6;...
    puerta23zona6;puetec23zona6;puerta24zona6;puetec24zona6;...
    puerta25zona6;puetec25zona6;puerta26zona6;puetec26zona6;...
    techo1zona6;techo2zona6;techo3zona6;techo4zona6;techo5zona6;...
    paredext1zona6; paredext2zona6;...
    puerta2zona6;
        puetec2zona6;...
        puerta8zona6;
        puetec8zona6;...
    ];

```

```

% figure(6);
% pintaobstaculo(a6,b6,c6,obstaculos6);
%
% pintaobstaculo(a6,b6,c6,paredes6);
% axis([0 a6 0 b6 0 c6])

```

```
room=prepararhabitacion(a6,b6,c6,Resx6,Resy6,Resz6,m6,obstaculos6,paredes6);
```

### **C.1.8. zona7.m**

```
function [room,a7,b7,c7] = zona7(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
    Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)
```

```

%% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

a7 = 21.92;
b7=21.58;
c7=Ht;

```

```

% Sin resolución
% Resx7=1;
% Resy7=1;
% Resz7=1;

```

```
%Para una Resolución de cuboides de 20cm
```

```

Resx7=ceil(a7/0.2);
Resy7=ceil(b7/0.2);
Resz7=ceil(c7/0.2);
m7=0;

```

```
% Paredes conexión
```

```

paredconex5zona7=fabricapared(0,19.1/2,Ht/2,10^-9,19.1,Ht,0); %pared de aire
paredconex6zona7=fabricapared(a7/2,0,Ht/2,a7,10^-9,Ht,0); %pared de aire

```

```
% Paredes exteriores arriba
```

```

paredext1zona7=fabricapared(0.01+2.27/2,19.1-
0.03,Hsuelo+Hplan/2,2.27,0.06,Hplan,5); %pared cristalera
paredext2zona7=fabricapared(2.28+1.03/2,19.1-

```

```
0.22/2,Hsuelo+Hplan/2,1.03,0.22,Hplan,2); %pared ladrillo
paredext3zona7=fabricapared(2.28+1.03+0.8/2,19.1-
0.06/2,Hsuelo+Hplan/2,0.8,0.06,Hplan,5); %Ventana
paredext4zona7=fabricapared(2.28+1.03+0.8+2.49/2,19.1-
0.22/2,Hsuelo+Hplan/2,2.49,0.22,Hplan,2); %pared de ladrillo
paredext5zona7=fabricapared(6.6+3.47/2,19.1-
0.06/2,Hsuelo+Hplan/2,3.47,0.06,Hplan,5); %pared cristalera
paredext6zona7=fabricapared(10.07+3.95/2,19.1-
0.25/2,Hsuelo+Hplan/2,3.95,0.25,Hplan,2); %pared de ladrillo

paredext7zona7=fabricapared(14.03+0.01/2,19.1+2.48/2,Hsuelo+Hplan/2,0.01,2.48,Hp
lan,5); %pared cristalera
paredext8zona7=fabricapared(14.03+7.89/2,b7,Hsuelo+Hplan/2,7.89,10^-9,Hplan,5);
%pared cristalera

paredext9zona7=fabricapared(18.23+3.6/2,a7,Hsuelo+Hplan/2,3.6,10^-9,Hplan,2);
%pared de ladrillo
% Pared exterior izquierda
paredext10zona7=fabricapared(21.48+0.35/2,1.16+20.42/2,Hsuelo+Hplan/2,10^-
9,20.42,Hplan,2); %pared de ladrillo

% Paredes interiores
paredint1zona7=fabricapared(2.28+0.18/2,2.37+2.11/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,2.11,Hpas
,Mres);
paredint2zona7=fabricapared(2.28+0.18/2,5.98+1.15/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,1.15,Hpas
,Mres);
paredint3zona7=fabricapared(2.28+0.15/2,8.33+3.42/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,3.42,Hpas
,Mpla);
paredint4zona7=fabricapared(2.28+0.15/2,14.21+1.89/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,1.89,Hpa
s,Mpla);
paredint5zona7=fabricapared(2.28+0.5/2,17.3+1.81/2,Hsuelo+Hpas/2,0.5,1.81,Hpas,M
pla);

paredint6zona7=fabricapared(2.28+4.33/2,2.37+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,4.33,0.13,Hpas
,Mres);
paredint7zona7=fabricapared(2.28+4.33/2,6.53+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,4.33,0.13,Hpas
,Mres);
paredint8zona7=fabricapared(2.28+4.33/2,10.18+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,4.33,0.13,Hpa
s,Mpla);
paredint9zona7=fabricapared(2.28+4.33/2,12.76+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,4.33,0.13,Hpa
s,Mpla);
paredint9azona7=fabricapared(2.28+0.15/2,12.65+0.36/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.36,Hp
as,Mpla);
paredint9bazona7=fabricapared(2.28+4.33-
0.15/2,12.65+0.36/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,0.36,Hpas,Mpla);
paredint10zona7=fabricapared(2.28+4.33/2,15.92+0.13/2,Hsuelo+Hpas/2,4.33,0.13,Hp
as,Mpla);

paredint11zona7=fabricapared(6.61-
0.18/2,2.37+2.71/2,Hsuelo+Hpas/2,0.18,2.71,Hpas,Mres);
paredint12zona7=fabricapared(6.61-
0.15/2,5.98+3.25/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,3.25,Hpas,Mpla);
paredint13zona7=fabricapared(6.61-
0.15/2,10.13+1.62/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,1.62,Hpas,Mpla);
paredint14zona7=fabricapared(6.61-
0.15/2,13.91+2.19/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,2.19,Hpas,Mpla);
paredint15zona7=fabricapared(6.61-
0.15/2,17+2.11/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,2.11,Hpas,Mpla);
```

## Iris Sesma Gracia

paredint16zona7=fabricapared(7.81+0.1/2,2.25+15.21/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,15.21,Hpas,5);  
paredint17zona7=fabricapared(10.08+0.5/2,2.2+0.69/2,Hsuelo+Hpas/2,0.5,0.69,Hpas,7);  
paredint18zona7=fabricapared(10.08+0.5/2,10.29+0.85/2,Hsuelo+Hpas/2,0.5,0.85,Hpas,7);  
paredint19zona7=fabricapared(10.08+0.5/2,17.77+1.33/2,Hsuelo+Hpas/2,0.5,1.33,Hpas,7);  
  
paredint20zona7=fabricapared(10.58+3.47/2,2.2+0.1/2,Hsuelo+Hpas/2,3.47,0.1,Hpas,Mres);  
paredint21zona7=fabricapared(13.95+0.1/2,2.2+0.66/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,0.66,Hpas,Mres);  
paredint22zona7=fabricapared(13.95+0.1/2,4.06+3.2/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,3.2,Hpas,Mres);  
paredint23zona7=fabricapared(13.95+0.1/2,8.46+3.2/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,3.2,Hpas,Mres);  
paredint24zona7=fabricapared(13.95+0.1/2,12.86+3.2/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,3.2,Hpas,Mres);  
paredint25zona7=fabricapared(13.95+0.1/2,17.26+1.59/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,1.59,Hpas,Mres);  
  
paredint26zona7=fabricapared(17.88+0.51/2,1.16+1.74/2,Hsuelo+Hpas/2,0.51,1.74,Hpas,7);  
paredint27zona7=fabricapared(17.88+0.13/2,1.16+1.74+2.93/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,2.93,Hpas,Mali);  
paredint27azona7=fabricapared(17.88+0.41/2,3.99+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,0.41,0.14,Hpas,Mali);  
paredint28zona7=fabricapared(17.88+0.13/2,7.33+2.95/2,Hsuelo+Hpas/2,0.13,2.95,Hpas,Mali);  
paredint28azona7=fabricapared(17.88+0.41/2,8.94+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,0.41,0.14,Hpas,Mali);  
paredint29zona7=fabricapared(17.88+0.51/2,10.28+1.6/2,Hsuelo+Hpas/2,0.51,1.6,Hpas,7);  
  
paredint30zona7=fabricapared(17.88+0.22/2,11.88+2.02/2,Hsuelo+Hpas/2,0.22,2.02,Hpas,7);  
paredint31azona7=fabricapared(17.88+0.1/2,13.9+1.36/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,1.36,Hpas,Mres);  
paredint31bzona7=fabricapared(17.88+0.1/2,16.76+1.5/2,Hsuelo+Hpas/2,0.1,1.5,Hpas,Mres);  
  
paredint32zona7=fabricapared(17.88+0.5/2,18.26+0.8/2,Hsuelo+Hpas/2,0.5,0.8,Hpas,7);  
paredint33zona7=fabricapared(18.23+0.15/2,18.26+0.8+2.34/2,Hsuelo+Hpas/2,0.15,2.34,Hpas,7);  
  
paredint34zona7=fabricapared(17.88+4.03/2,1.16+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,4.03,0.14,Hpas,Mali);  
paredint35zona7=fabricapared(19.19+2.3/2,3.99+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,2.3,0.14,Hpas,Mali);  
paredint36zona7=fabricapared(17.88+1.43+2.18/2,6.46+0.15/2,Hsuelo+Hpas/2,2.18,0.15,Hpas,Mali);  
paredint37zona7=fabricapared(17.88+1.43+0.14/2,5.16+2.76/2,Hsuelo+Hpas/2,0.14,2.76,Hpas,Mali);  
paredint38zona7=fabricapared(19.19+2.3/2,8.94+0.14/2,Hsuelo+Hpas/2,2.3,0.14,Hpas,Mali);  
  
paredint39zona7=fabricapared(17.88+3.95/2,11.88+0.11/2,Hsuelo+Hpas/2,3.95,0.11,Hpas,7);  
paredint40zona7=fabricapared(17.88+3.95/2,13.69+0.21/2,Hsuelo+Hpas/2,3.95,0.21,Hpas,7);

pas, 7) ;

% Puertas

puerta1zona7=fabricapared(2.28+0.04/2,0.01+2.36/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,2.36,Hpueg,Mpue) ;

puetec1zona7=fabricapared(2.28+0.15/2,0.01+2.36/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.15,2.36,Hptg,Mres) ;

puerta2zona7=fabricapared(2.28+0.04/2,4.47+1.5/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.5,Hpue,Mpue) ;

puetec2zona7=fabricapared(2.28+0.18/2,4.47+1.5/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.18,1.5,Hpt,Mres) ;

puerta3zona7=fabricapared(2.28+0.04/2,7.12+1.2/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.2,Hpue,Mpue) ;

puetec3zona7=fabricapared(2.28+0.15/2,7.12+1.2/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,1.2,Hpt,Mpla) ;

puerta4zona7=fabricapared(2.28+0.04/2,11.74+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.9,Hpue,Mpue) ;

puetec4zona7=fabricapared(2.28+0.15/2,11.74+0.9/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,0.9,Hpt,Mpla) ;

puerta5zona7=fabricapared(2.28+0.04/2,13+1.2/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.2,Hpue,Mpue) ;

puetec5zona7=fabricapared(2.28+0.15/2,13+1.2/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,1.2,Hpt,Mpla) ;

puerta6zona7=fabricapared(2.28+0.04/2,16.09+1.2/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.2,Hpue,Mpue) ;

puetec6zona7=fabricapared(2.28+0.15/2,16.09+1.2/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,1.2,Hpt,Mpla) ;

puerta7zona7=fabricapared(4.98+0.04/2,0.01+2.36/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.04,2.36,Hpueg,Mpue) ;

puetec7zona7=fabricapared(4.98+0.15/2,0.01+2.36/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.15,2.36,Hptg,Mres) ;

puerta8zona7=fabricapared(6.46+0.04/2,5.08+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.9,Hpue,Mpue) ;

puetec8zona7=fabricapared(6.46+0.18/2,5.08+0.9/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.18,0.9,Hpt,Mres) ;

puerta9zona7=fabricapared(6.46+0.04/2,9.23+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.9,Hpue,Mpue) ;

puetec9zona7=fabricapared(6.46+0.15/2,9.23+0.9/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,0.9,Hpt,Mpla) ;

puerta10zona7=fabricapared(6.46+0.04/2,11.75+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.9,Hpue,Mpue) ;

puetec10zona7=fabricapared(6.46+0.15/2,11.75+0.9/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,0.9,Hpt,Mpla) ;

puerta11zona7=fabricapared(6.46+0.04/2,13.01+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.9,Hpue,Mpue) ;

puetec11zona7=fabricapared(6.46+0.15/2,13.01+0.9/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,0.9,Hpt,Mpla) ;

puerta12zona7=fabricapared(6.46+0.04/2,16.1+0.9/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,0.9,Hpue,Mpue) ;

puetec12zona7=fabricapared(6.46+0.15/2,16.1+0.9/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.15,0.9,Hpt,Mpla) ;

puerta13zona7=fabricapared(17.88+0.04/2,0.01+1.15/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.15,Hpue,Mpue) ;

puetec13zona7=fabricapared(17.88+0.16/2,0.01+1.15/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.16,1.15,Hpt,Mpla) ;

```

puerta14zona7=fabricapared(18.29+0.9/2,3.99+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,M
pue);
puetec14zona7=fabricapared(18.29+0.9/2,3.99+0.14/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.14,Hp
t,Mpla);

puerta15zona7=fabricapared(19.31+0.04/2,4.13+1.03/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.03,Hpue
,Mpue);
puetec15zona7=fabricapared(19.31+0.14/2,4.13+1.03/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.14,1.03,
Hpt,Mpla);
puerta16zona7=fabricapared(19.31+0.04/2,7.91+1.03/2,Hsuelo+Hpue/2,0.04,1.03,Hpue
,Mpue);
puetec16zona7=fabricapared(19.31+0.14/2,7.91+1.03/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.14,1.03,
Hpt,Mpla);

puerta17zona7=fabricapared(18.29+0.9/2,8.94+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,0.9,0.04,Hpue,M
pue);
puetec17zona7=fabricapared(18.29+0.9/2,8.94+0.14/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,0.9,0.14,Hp
t,Mpla);

puerta18zona7=fabricapared(17.88+0.03/2,16.76-
1.5/2,Hsuelo+Hpueg/2,0.03,1.5,Hpueg,Mpue);
puetec18zona7=fabricapared(17.88+0.1/2,16.76-
1.5/2,Hsuelo+Hpueg+Hptg/2,0.1,1.5,Hptg,Mres);

puerta19zona7=fabricapared(a7,0.01+1.16/2,Hsuelo+Hpue/2,10^-9,1.16,Hpue,Mpue);
puetec19zona7=fabricapared(a7,0.01+1.16/2,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,10^-
9,1.16,Hpt,Mali);

puerta20zona7=fabricapared(14.03+4.2/2,b7-2.43-
0.03,Hsuelo+Hplan/2,4.2,0.06,Hplan,5); %pared cristalera

% Techo
techo1zona7=fabricapared(2.28+4.32/2,2.37+16.73/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-
Hhab)/2,4.32,16.73,Hpas-Hhab,Mpla);
techo2zona7=fabricapared(17.88+3.99/2,1.16+20.31/2,Hsuelo+Hhab+(Hpas-
Hhab)/2,3.99,20.31,Hpas-Hhab,Mpla);

% Suelo
suelo1zona7=fabricapared(6.61/2,b7/2,0,6.61,b7,10^-9,Mpvc);
suelo2zona7=fabricapared(6.61+15.31/2,b7/2,0,15.31,b7,10^-9,Mgres);

paredes7=[ paredconex6zona7,10^-9; %pared abajo
paredconex5zona7,10^-9;
10^-9/2,19.1+2.48/2,Ht/2,10^-9,2.48,Ht,0,10^-9;
14.03/2,b7-10^-9/2,Ht/2,14.03,10^-9,Ht,0,10^-9;
paredext8zona7,0.06;...
paredext9zona7,0.22;
paredext10zona7,0.35;...
puerta19zona7,0.04;
puetec19zona7,0.16;
a7/2,b7/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,a7,b7,10^-9,Mpla,Htecho;
suelo1zona7,Hsuelo;
suelo2zona7,Hsuelo];

obstaculos7=[paredint1zona7;paredint2zona7;paredint3zona7;paredint4zona7;...
paredint5zona7;paredint6zona7;paredint7zona7;paredint8zona7;...
paredint5zona7;paredint6zona7;paredint7zona7;paredint8zona7;...

```

```

paredint9zona7;paredint9azona7;paredint9bzona7;paredint10zona7;...
paredint11zona7;paredint12zona7;paredint13zona7;paredint14zona7;...
paredint15zona7;paredint16zona7;paredint17zona7;paredint18zona7;...
paredint19zona7;paredint20zona7;paredint21zona7;paredint22zona7;...
paredint23zona7;paredint24zona7;paredint25zona7;paredint26zona7;...
paredint27zona7;paredint27azona7;paredint28zona7;paredint28azona7;...
paredint29zona7;paredint30zona7;paredint31azona7;paredint31bzona7;...
paredint32zona7;paredint33zona7;paredint34zona7;paredint35zona7;...
paredint36zona7;paredint37zona7;paredint38zona7;paredint39zona7;...
paredint40zona7;...paredint41zona7;...
puerta1zona7;puetec1zona7;puerta2zona7;puetec2zona7;...
puerta3zona7;puetec3zona7;puerta4zona7;puetec4zona7;...
puerta5zona7;puetec5zona7;puerta6zona7;puetec6zona7;...
puerta7zona7;puetec7zona7;puerta8zona7;puetec8zona7;...
puerta9zona7;puetec9zona7;puerta10zona7;puetec10zona7;...
puerta11zona7;puetec11zona7;puerta12zona7;puetec12zona7;...
puerta13zona7;puetec13zona7;puerta14zona7;puetec14zona7;...
puerta15zona7;puetec15zona7;puerta16zona7;puetec16zona7;...
puerta17zona7;puetec17zona7;puerta18zona7;puetec18zona7;...
puerta20zona7;...
paredext1zona7;paredext2zona7;paredext3zona7;
paredext4zona7; paredext5zona7;paredext6zona7;
paredext7zona7;
techo1zona7;techo2zona7;...
];
% figure(7);
% pintaobstaculo(a7,b7,c7,obstaculos7);
%
% pintaobstaculo(a7,b7,c7,paredes7);
% axis([0 a7 0 b7 0 c7])
room=prepararhabitacion(a7,b7,c7,Resx7,Resy7,Resz7,m7,obstaculos7,paredes7);

```

## C.1.9. zona8.m

```

function [room,a8,b8,c8] = zona8(Hplan,Hpas,Hhab,Hpue,Hpueg,Hsuelo,Ht,...
    Htecho,Hpt,Hptg,Hptgext,Mext,Mpvc,MpvcC,Mgres,Mres,Mpla,Mali,Mplo,Mcol,Mpue)

% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%                ZONA 8:                %%%%%%%%%%
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
a8 = 0.96;
b8=25.58;
c8=Ht;
% Sin resolución
% Resx8=1;
% Resy8=1;
% Resz8=1;
%Para una Resolución de cuboides de 20cm
Resx8=ceil(a8/0.2);
Resy8=ceil(b8/0.2);
Resz8=ceil(c8/0.2);
m8=0;

% Paredes conexión
paredconex3zona8=fabricapared(a8/2,0,Ht/2,a8,10^-9,Ht,0); %pared de aire
paredconex4zona8=fabricapared(0,b8/2,Ht/2,10^-9,b8,Ht,0); %pared de aire
paredconex5zona8=fabricapared(a8,b8/2,Ht/2,10^-9,b8,Ht,0); %pared de aire
% Paredes exteriores arriba

```



```
paredextzona8=fabricapared(a8/2,b8,Hsuelo+Hplan/2,a8,10^-9,Hplan,5); %pared
cristalera

puertazona8=fabricapared(a8/2,4.36+0.04/2,Hsuelo+Hpue/2,a8,0.04,Hpue,Mpue);
pueteczona8=fabricapared(a8/2,4.36+0.15,Hsuelo+Hpue+Hpt/2,a8,0.15,Hpt,Mres);

% Techo
techozona8=fabricapared(a8/2,b8/2,Hsuelo+Hpas+Htecho,a8,b8,10^-9,Mpla);

suelozona8=fabricapared(a8/2,b8/2,0,a8,b8,10^-9,Mgres);

paredes8=[ paredconex3zona8,10^-9;
  paredconex4zona8,10^-9;
  paredconex5zona8,10^-9;
  paredextzona8,0.06;
  suelozona8,Hsuelo;
  techozona8,Htecho];

obstaculos8=[puertazona8;pueteczona8;
  ];
% figure(8);
% pintaobstaculo(a8,b8,c8,obstaculos8);
%
% pintaobstaculo(a8,b8,c8,paredes8);
% axis([0 a8 0 b8 0 c8])
room=prepararhabitacion(a8,b8,c8,Resx8,Resy8,Resz8,m8,obstaculos8,paredes8);
```

## **C.2.Funciones para extraer la información**

### **C.2.1. Ejemplo de obtener potencias: zonacamillas.m**

```
% Obtener los datos de simulaciones de la zona de las camillas
%clear all
close all
clear PotSim PotMed

load xy_camillas.mat;
freq=['240';'430';'868'];
% pas='3';
cubo=0.2; % Tamaño de los cubos en metros
for i=1:1 %Introducción de los datos medidos en PotMed

for i=1:3
  f=freq(i,:);
  PotSim(:,i)=sacarpotcam(xy_camillas,cubo,f);

  dif=PotMed(:,i)-PotSim(:,i);

  media_error{1,7}(i)=sum(dif)/length(dif);

  vari_error{1,7}(i)=var(dif);
  destip_error{1,7}(i)=std(dif);

  % grafica

  h=figure(i);
  plot(PotSim(:,i),'-rx');hold on
```

```

hold on
plot(PotMed(:,i),'-bo');

xlabel('puntos')
ylabel('Potencia (dBm)');

title(sprintf('Zona Camillas frecuencia %s',f));
legend('Potencia simulación (dBm)', 'Potencia Medida (dBm)');
cd ..

hgsave(sprintf('camillas%s',f));
saveas(h,sprintf('camillas%s',f),'png')

end

% h=figure(4);
% plot(PotSim(:,1),'-.rx');% '--rs'
% hold on
% plot(PotMed(:,1),'-ro');
% plot(PotSim(:,2),'-.bs');% '--rs'
% plot(PotMed(:,2),'-b*');
% plot(PotSim(:,3),'-.g+');% '--rs'
% plot(PotMed(:,3),'-gv');
% xlabel('puntos')
% ylabel('Potencia (dBm)');
% title(sprintf('Zona camillas todas las frecuencia'));
% legend('Potencia simulación 2.4GHz (dBm)', 'Potencia Medida 2.4GHz (dBm)',...
% 'Potencia simulación 430MHz (dBm)', 'Potencia Medida 430MHz (dBm)',...
% 'Potencia simulación 868MHz (dBm)', 'Potencia Medida 868MHz (dBm)');
% hgsave(sprintf('consultasNEWftodas'));
% saveas(h,sprintf('pasilloant%cftodas',pas),'png')

% error=[error; (PotMed-PotSim)];

figure(5);
hold on
plot(error(:,1),'-rx');% '--rs'
plot(error(:,2),'-bs');% '--rs'
plot(error(:,3),'-g+');% '--rs'
xlabel('puntos')
ylabel('Diferencia de potencias (dB)');
title(sprintf('Pasillo principal antena %c todas las frecuencia error medida vs
simulación',pas));
legend('Error a 2.4GHz (dB)',...
'Error a 430MHz (dB)',...
'Error a 868MHz (dB)');

media=[mean(error(:,1));mean(error(:,2));mean(error(:,3)) ];
varianza=[std(error(:,1));std(error(:,2));std(error(:,3))];

% hgsave(sprintf('errorpasilloant%cftodas',pas));
%
% saveas(h,sprintf('errorpasilloant%cftodas',pas),'png')
%
media=media';
varianza=varianza';

todo=sprintf('%2.2fdB %2.2fdB %2.2fdB %2.2fdB %2.2fdB
%2.2fdB',media(2),varianza(2),media(3),varianza(3),media(1),varianza(1));

```

### C.2.1.1. sacarpotcam.m

Función dependiente de zonacamillas.m

```
function potencia = sacarpotcam(xy_pos,cubos,freq)

x=ceil(xy_pos(:,2)/cubos);
y=ceil(xy_pos(:,3)/cubos);
cd (sprintf('Resultados%sboxes',freq));
% cd Resultados12jun
cd GuardoParametros
potencia=zeros(length(x),1);

for i=1:length(x)
    hab=xy_pos(i,1);
    cd(sprintf('Habitacion%d',hab));
    if strcmp(freq,'240')
        load PotenciadBRX11.mat
        p1=PotenciadBRX{1,1}(x(i),y(i));
        load PotenciadBRX12.mat
        p2=PotenciadBRX{1,1}(x(i),y(i));
        potencia(i,1)=(p1+p2)/2;
    else
        load PotenciadBRX8.mat
        potencia(i,1)=PotenciadBRX{1,1}(x(i),y(i));
    end
    cd ..
end
cd ..
end
```

### C.2.2. Retardopotencia.m

```
%%% Obtiene las graficas PDP para todos los puntos medidos del escenario
clear all
close all

load xy_pasillo3.mat;
freq=['240';'430';'868'];
load xy_camillas.mat
load xy_consultas.mat
load xy_consultasOri.mat
load xy_pasillo1.mat
load xy_pasillo2.mat
load xy_pasillo3.mat
load xy_pasilloOri.mat
xy={xy_camillas;xy_consultas;xy_consultasOri;
xy_pasillo1;xy_pasillo2;xy_pasillo3;xy_pasilloOri};
cubos=0.2;

% turno=cell(7,1);
turno={'xy_camillas';
'xy_consultas';
'xy_consultasOri';
'xy_pasillo1';
'xy_pasillo2';
'xy_pasillo3';
'xy_pasilloOri'};
```

```
nam={'boxes';'consultasantNew';'consultasantOri';'pasillo1';'pasillo2';'pasillo3';'pasilloOri'};

for i=1:7
    for j=1:3
        f=freq(j,:);

        for m=1:length(xy{i,1})
            cd(sprintf('Resultados%s%s/GuardoParametros',f,nam{i,1}));
            aux=xy{i,1}(m,1);
            cd(sprintf('Habitacion%d',aux));
            load RetPotdBRX7.mat

            aux1=xy{i,1}(m,2);
            aux2=xy{i,1}(m,3);
            aux1=ceil(aux1/cubos);
            aux2=ceil(aux2/cubos);

            datos=RetPotdBRX{1,1}{aux1,aux2};
            datosx=datos(1,:); %pot
            datosy=datos(2,:)*10^9; %Tiempo

            h=figure(m);
            stem(datosy,datosx,'o')
            hold on
            linea=-100*ones(1,length(datos));
            plot(datosy,linea,'r');
            xlabel('Tiempo (ns)')
            ylabel('Potencia (dBm)');
            title(sprintf('Retardo potencia en %s punto %d a freq de
%s',nam{i,1},m,f));
            hold off
            delay{i,j}(m)=max(datosy)-min(datosy);
            med(i,j)=mean(delay{i,j});
            med2(j)=mean(med(:,j));

            cd .. %guardaparametro
            cd .. %resultados...
            cd ..
            cd .. %RESULTADOS SIMULACION
            cd ..
            cd DATOSYGRAFICAS
            cd PDP
            cd (sprintf('%s',f));

            hgsave(sprintf('%sf%spunto%d',nam{i,1},f,m));
            saveas(h,sprintf('%sf%spunto%d',nam{i,1},f,m),'png');
            cd .. % zonal
            cd .. % frec
            cd .. % pdp
            cd .. %datos y graficas
            cd RESULTADOSSIMULACIONES
            close all
        end
    end
end
```

### **C.2.3. Retardopotenciaquitandomenos100.m**

```

% Obtiene los PDP de todo el escenario, pero eliminando aquellos datos con
% potencias menores de -100 dBm
clear all
close all

load xy_pasillo3.mat;
freq=['240';'430';'868'];
load xy_camillas.mat
load xy_consultas.mat
load xy_consultasOri.mat
load xy_pasillo1.mat
load xy_pasillo2.mat
load xy_pasillo3.mat
load xy_pasilloOri.mat
xy={xy_camillas;xy_consultas;xy_consultasOri;
xy_pasillo1;xy_pasillo2;xy_pasillo3;xy_pasilloOri};
cubos=0.2;

% turno=cell(7,1);
turno={'xy_camillas';
'xy_consultas';
'xy_consultasOri';
'xy_pasillo1';
'xy_pasillo2';
'xy_pasillo3';
'xy_pasilloOri'};

nam={'boxes';'consultasantNew';'consultasantOri';'pasillo1';'pasillo2';'pasillo3';
'pasilloOri'};
maximo=0;
minimo=0;

for i=1:7
    for j=1:3
        f=freq(j,:);

        for m=1:length(xy{i,1})
            cd(sprintf('Resultados%s%s/GuardoParametros',f,nam{i,1}));
            aux=xy{i,1}(m,1);
            cd(sprintf('Habitacion%d',aux));
            load RetPotdBRX7.mat

            aux1=xy{i,1}(m,2);
            aux2=xy{i,1}(m,3);
            aux1=ceil(aux1/cubos);
            aux2=ceil(aux2/cubos);

            datos=RetPotdBRX{1,1}{aux1,aux2};
            datosx=[];
            datosy=[];
            p=1;
            for n=1:length(datos)
                if datos(1,n) > -100
                    datosx(1,p)=datos(1,n); %pot
                    datosy(1,p)=datos(2,n)*10^9; %Tiempo
                end
            end
        end
    end
end

```

```
        p=p+1;
    end
end

if length(datosx) ~=0
    h=figure(m);
    stem(datosy,datosx,'o')

    xlabel('Tiempo (ns)')
    ylabel('Potencia (dBm)');

    title(sprintf('Retardo potencia en %s punto %d a freq de
%s',nam{i,1},m,f));

    cd .. %guardaparametro
    cd .. %resultados...
    cd .. %RESULTADOS SIMULACION
    cd ..
    cd DATOSYGRAFICAS
    cd PDP
    cd quitadatos
    cd (sprintf('%s',f));

    hgsave(sprintf('%sf%spunto%d',nam{i,1},f,m));
    saveas(h,sprintf('%sf%spunto%d',nam{i,1},f,m),'png');
    cd .. % zonal
    cd ..
    cd .. % frec
    cd .. % pdp
    cd .. %datos y graficas
    cd RESULTADOSSIMULACIONES
else
    cd ..
    cd ..
    cd ..
end
a = max (datosy);
b= min(datosy);
if ((maximo<a) && (j==1))
    maximo=a;
end
if minimo>b
    minimo=b;
end
end
        cd ..
        cd ..
        cd ..
close all
clear datosx datosy aux1 aux2 datos RetPotdBRX h
end

end
```