

**PREDICCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE LA SEÑAL RECIBIDA (RSSI) EN  
UNA RED INALÁMBRICA (WLAN 802.11b) MEDIANTE UN MODELO  
NEURONAL**

**LUIS RAFAEL DE LUQUE VILLA  
IRINA MARCELA DÍAZ ÁLVAREZ  
SANDRA MILENA VÁSQUEZ FUENTES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2005**

**PREDICCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE LA SEÑAL RECIBIDA (RSSI) EN  
UNA RED INALÁMBRICA (WLAN 802.11b) MEDIANTE UN MODELO  
NEURONAL**

**LUIS RAFAEL DE LUQUE VILLA  
IRINA MARCELA DÍAZ ÁLVAREZ  
SANDRA MILENA VÁSQUEZ FUENTES**

Este proyecto es presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Electrónico

**Director**

**PhD. OSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ**

**Codirector**

**MI (c). SAMUEL GONZALO PINZÓN BARRIOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2005**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento y reconocimiento a:

Nuestras familias por su apoyo incondicional.

Doctor Oscar Gualdrón González, director del proyecto y al Ingeniero Samuel Gonzalo Pinzón, codirector del proyecto, por su orientación y colaboración.

Al grupo de investigación CPS.

La Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

La Universidad Industrial de Santander.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. ESTADO DEL ARTE	4
1.1 REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS	4
1.2 ESTÁNDAR 802.11b	6
1.3 RSSI (Received Signal Strength Indicador)	7
1.4 PARÁMETROS QUE AFECTAN LA PROPAGACIÓN	7
1.4.1 Atenuación por propagación en espacio libre (Free Space)	8
1.4.2 Pérdidas de transmisión	9
1.4.3 Atenuación por multicaminos (multipath)	9
1.5 MODELOS DE PROPAGACIÓN	11
1.5.1 Modelo Empírico	11
1.5.2 Modelo Determinístico	12
1.5.3 Otras alternativas	13
2. MODELO ALTERNATIVO PARA LA PREDICCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE LA SEÑAL RECIBIDA (RSSI) EN UNA RED INALÁMBRICA (WLAN 802.11b)	15
2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES	16
2.1.1 Plano del edificio	17

2.1.2	Modelo alternativo de predicción	18
2.1.3	Definición y distorsión de puntos reflectores	19
2.1.4	Elección de la trayectoria más corta	26
2.1.5	Cálculo del RSSI	28
2.1.5.1	Pérdidas por espacio libre	29
2.1.5.2	Pérdidas por transmisión	33
2.1.5	Interpolación	33
2.1.7	Visualización	37
3.	VALIDACIÓN DEL MODELO	39
3.1	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL REGISTRO DE RSSI	40
3.1.1	Consideraciones generales	40
3.1.2	Esquema para la caracterización de los materiales de construcción	40
3.2	HERRAMIENTA SOFTWARE OPENWireless	45
3.3	ESQUEMA DE VALIDACIÓN DEL MODELO	47
3.3.1	Validación del modelo en el Edificio de Alta Tensión	47
3.3.2	Validación del modelo en el Edificio de Pesados	52
3.3.3	Validación del modelo de predicción en el edificio de Alta Tensión para otra posición del AP	55
4.	CONCLUSIONES	59
5.	RECOMENDACIONES	64
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	ANEXO A. ALGORITMO DE DIJKSTRA	68

ANEXO B. REDES DE BASE RADIAL	72
ANEXO C. ESP. TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS	76

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Principales estándares WLAN	5
Tabla 2. Atenuación de potencia por material de construcción a 2.4GHz	22
Tabla 3. Datos obtenidos en espacio libre	30
Tabla 4. Errores absolutos obtenidos en la predicción según el esquema de distribución y el tipo de interpolación utilizado en el Edificio de Eléctrica Antigua	36
Tabla 5. Errores máximos de la predicción	36
Tabla 6. Resultados de la caracterización de la mampostería en ladrillo	43
Tabla 7. Resultados de la caracterización de la madera	44
Tabla 8. Resultados de la predicción de RSSI en el Edif. de Alta Tensión	50
Tabla 9. Resultados generales de la predicción de RSSI en el Edif. de Alta Tensión	51
Tabla 10. Resultados de la predicción de RSSI en el Edif. de Pesados	54
Tabla 11. Resultados generales de la predicción de RSSI en el Edif. de Pesados	54
Tabla 12. Resultados de la predicción del RSSI en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP	57

Tabla 13. Resultados generales de la predicción de RSSI en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP 57

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema general de una WLAN	4
Figura 2. Distribución de canales	6
Figura 3. Gráfica de la ecuación de Friis	8
Figura 4. Efecto por multicaminos	9
Figura 5. Reflexión de una onda	10
Figura 6. Difracción de una onda	10
Figura 7. Dispersión de una onda	11
Figura 8. Modelo Empírico	12
Figura 9. Modelo Determinístico	13
Figura 10. Diagrama de bloques del modelo de predicción	16
Figura 11. Interfaz gráfica de la herramienta software	17
Figura 12. Técnica de distorsión-UIS	19
Figura 13. Puntos reflectores en un escenario	20
Figura 14. Técnica Distorsión	21
Figura 15. Ubicación en la ecuación de espacio libre de la distancia de separación	22
Figura 16. Ubicación en la ecuación de espacio libre, del valor de pérdida de potencia del obstáculo	23
Figura 17. Intervalo de atenuación de potencia, en la Ecuación de Friis	25
Figura 18. Valor de desplazamiento del punto reflector	26

Figura 19. Posibles trayectorias entre el AP y una sala del escenario	27
Figura 20. Regresión exponencial de los datos obtenidos en espacio libre	30
Figura 21. Gráficas de espacio libre	31
Figura 22. Esquema de selección 1, de puntos de predicción	33
Figura 23. Esquema de selección 2, de puntos de predicción	34
Figura 24. Esquema de selección 3, de puntos de predicción	35
Figura 25. Esquema de interpolación seleccionado	37
Figura 26. Visualización de la distribución de potencia en un escenario de predicción	38
Figura 27. Esquema para la caracterización de los materiales de construcción (mampostería de ladrillo)	41
Figura 28. Esquema para la caracterización de los materiales de construcción (puertas de madera)	44
Figura 29. Construcción de un plano en la herramienta	46
Figura 30. Distribución de potencia generada por la herramienta	46
Figura 31. Plano del Edif. de Alta Tensión	48
Figura 32. Ubicación del AP en el Edif. de Alta Tensión	48
Figura 33. Ubicación de los puntos de predicción en el Edif. de Alta Tensión	49
Figura 34. Distribución de potencia en el Edif. de Alta Tensión	49
Figura 35. Distribución de puntos de validación en el Edif. de Alta Tensión	50
Figura 36. Plano del Edif. de Pesados	52
Figura 37. Distribución de potencia en el Edif. de Pesados	53
Figura 38. Distribución de puntos de validación en el Edif. de Pesados	53

Figura 39. Ubicación del AP en el Edif. de Alta Tensión con posición alternativa del AP	55
Figura 40. Distribución de potencia en el Edif. de Alta tensión con posición alternativa del AP	56
Figura 41. Distribución de puntos de validación en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP	56

## **LISTA DE ANEXOS**

	pág.
ANEXO A. ESTÁNDAR 802.11b	68
ANEXO B. ALGORITMO DE DIJKSTRA	72
ANEXO C. ESP. TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS	76

## TITULO

# PREDICCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE LA SEÑAL RECIBIDA (RSSI) EN UNA RED INALÁMBRICA (WLAN 802.11b) MEDIANTE UN MODELO NEURONAL\*

## AUTORES

Luis Rafael De Luque Villa  
Irina Marcela Díaz Álvarez  
Sandra Milena Vásquez Fuentes\*\*

## Palabras Claves

WLAN, RSSI, indoor, Algoritmo de Dijkstra, Efecto Mutipath.

## Descripción

La implementación de redes de área local inalámbricas, WLANs, ha tenido su mayor auge, debido a la solución de las necesidades de movilidad, flexibilidad, provisionalidad y cobertura de lugares difíciles de cablear. Pese a ello los profesionales en redes de datos no cuentan con herramientas óptimas para realizar la planeación e instalación de WLAN en ambientes indoor, pues las alternativas software existentes en el mercado poseen un costo elevado limitando su adquisición y aplicación en el entorno regional, por lo cual acuden a su experiencia para determinar la configuración, el número y la distribución de los dispositivos de red, obteniendo, en la mayoría de los casos, ambientes saturados, sistemas ineficientes y con poca cobertura.

El modelo propuesto para la predicción del nivel de intensidad de la señal recibida (RSSI), considera algunos de los factores que más afectan la propagación de las ondas de radio, como son: la atenuación de potencia por espacio libre, la pérdida de transmisión a lo largo de las paredes y la influencia de los reflectores locales del sitio receptor, combinando las ventajas de los modelos de propagación conocidos actualmente, como son el incremento en la exactitud y una disminución en el consumo de tiempo computacional. A su vez se desarrolló en MATLAB 7.0 una herramienta software denominada OPENWireless, la cual posee una interfaz gráfica que le permite al usuario construir la edificación sobre la cual se va a realizar la predicción como una combinación de formas rectangulares de dimensiones reales con diversos materiales; ubicar el punto de acceso y obtener una distribución de potencia sobre dicho escenario.

Los bajos errores obtenidos durante la predicción y la rapidez de los cálculos constituyen al modelo de predicción y a la herramienta software OPENWireless como un aporte significativo para los profesionales encargados del diseño y planeación de WLANs.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Director de Proyecto: PhD. Oscar Gualdrón González.

## TITLE

# PREDICTION OF THE LEVEL OF INTENSITY OF THE RECEIVED SIGN (RSSI) IN A WIRELESS NETWORK (WLAN 802.11b) BY MEANS A NEURONAL MODEL

## AUTHORS

Luis Rafael De Luque Villa  
Irina Marcela Díaz Álvarez  
Sandra Milena Vásquez Fuentes

## Keywords

WLAN, RSSI, indoor, Dijkstra algorithm, multipath effect

## Abstract

The wireless local area networks (WLANs) usage has had its biggest boom because of the solutions to mobility needs, flexibility, provisional nature and covering in places hard to wire up. However, data network professionals usually don't have the optimal tools to design and install WLANs in indoor environments since the alternatives in software that they can find on the market are pretty expensive limiting its acquisition and application in regional surroundings, whereby they trust their expertise to determine the configuration, the number and distribution of network devices, having as a result, in most cases, saturated environments, inefficient systems and poor covering.

The proposed model for the Received Signal Strength Indicator (RSSI), considers some of the most severe disturbing factors that affect the radio waves propagation such as: free space power attenuation, transmission loss along the walls and the influence of local reflectors at the receptor room, mixing the advantages of the known existing propagation models like increasing the accuracy and reducing the consumption of computational time. At the same time it was developed, in Matlab 7.0, a software tool called OPENWireless, that works with a graphical interface that allows the user to build the structure in which the prediction is going to be made as a combination of rectangular shapes with real dimensions and diverse materials, place the access point and get a power distribution from this scenario.

The few errors obtained during the prediction and the fast calculations set up the prediction model and the software tool OPENWireless as a significant contribution for professionals in charge of designing WLANs.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la implementación de redes de área local inalámbricas<sup>1</sup> ha tenido su mayor auge, debido a que estas redes en comparación con las redes cableadas están diseñadas para satisfacer necesidades de movilidad, y cobertura de lugares difíciles de cablear, tales como, edificios de gran superficie, plantas de fabricación, plantas comerciales, almacenes, edificios históricos y pequeñas oficinas. Se estima que para el año 2007, más de 20 millones de personas en todo el mundo utilizarán accesos inalámbricos a Internet, según se reveló en un reciente encuentro de la Unión Internacional de Telecomunicaciones de la ONU<sup>2</sup>.

Colombia no es ajena al impacto que a nivel mundial han tenido las tecnologías inalámbricas. El gobierno Colombiano a través del Ministerio de Comunicaciones, expidió la resolución 689 del 21 de Abril del 2004 que se considera la "norma inalámbrica unificada". Esta Resolución, hace que sea más económica la implementación de una LAN inalámbrica, ya que garantiza el "uso libre y público del espectro", se aplica a los sistemas de radiocomunicación de acceso inalámbrico y a las redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia<sup>3</sup>.

El desarrollo satisfactorio de redes inalámbricas requiere por lo menos las siguientes etapas: diseño, planeación, implementación, operación y mantenimiento; de las cuales las más relevantes, por ser soporte de las otras, son las etapas de diseño y

---

<sup>1</sup> De aquí en adelante se llamará WLAN, a la red de datos de área local inalámbrica que opera bajo el estándar 802.11b.

<sup>2</sup> Tomado de Cintel, Comunicaciones Móviles e Inalámbricas. "¿Viaja por negocios? Bienvenido a la tecnología Wi-Fi. Julio 21 de 2003."

<sup>3</sup> Tomado de Cintel, RCT On Line. "Una realidad: Colombia ya cuenta con una norma nacional inalámbrica". Julio 7 de 2004.

planeación. En la etapa de diseño se analiza la ubicación de la red inalámbrica, se escoge la clase de estándar a instalar, equipos y demás, mientras que en la planeación se realizan actividades de ubicación de los elementos de la red, como lo son los puntos de acceso (*Access Point*) y enlaces externos, siempre teniendo presente la cobertura de la red inalámbrica en el sitio que se instalará. Este punto, tiene gran importancia, porque según sea la planeación de la red inalámbrica ésta ofrecerá a sus usuarios acceso y servicio de calidad.

A pesar de la gran popularidad y acogida que han ido adquiriendo las redes inalámbricas, y a la implementación de las mismas en los diferentes escenarios de la industria y la educación, pocos son los estudios que se han desarrollado en cuanto a la planeación. La mayoría de redes instaladas no tienen en cuenta la cobertura real y no se aprovechan al máximo los recursos acudiendo a la experiencia de los ingenieros a cargo para definir las configuraciones inalámbricas, obteniendo, en la mayoría de los casos, ambientes saturados o sistemas con poca cobertura e ineficientes. Esta planeación se conoce con el nombre de *site surveying* o inspección en sitio, en la cual el profesional a cargo ubica los puntos de acceso y mediante mediciones del RSSI en diferentes puntos y con el método de prueba-error determina tras varios intentos la mejor ubicación de estos.

Otro método, consiste en utilizar herramientas de tipo software que permiten simular y predecir el nivel de intensidad, y en algunos casos determinar la posición óptima de estos. Algunos ejemplos son: WinProp<sup>4</sup>, SitePlanner<sup>5</sup>, CINDOOR<sup>6</sup>, o herramientas propietarias. Sin embargo, su costo es elevado, lo cual limita su adquisición y aplicación en el entorno regional.

Es por ello que al interior del Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado

---

<sup>4</sup> AWE Communications, [www.awe-communications.com](http://www.awe-communications.com)

<sup>5</sup> Wireless Valley, [www.wvcomm.com](http://www.wvcomm.com)

<sup>6</sup> University of Cantabria, España, [www.gsr.unican.es](http://www.gsr.unican.es)

de Señal<sup>7</sup> (CPS) de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, se plantea el presente proyecto, el cual propone modelar los factores que afectan la propagación de ondas RF en escenarios indoor para realizar la predicción del nivel de intensidad de señal recibida (RSSI) en una red inalámbrica de área local (WLAN 802.11b) partiendo del hecho de que el RSSI se constituye como una aproximación de la cobertura de la red como paso previo a la etapa de planeación.

El proyecto contribuye con un aporte significativo al desarrollo y fortalecimiento del Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señal (CPS). De igual forma, el proyecto desarrollado aporta al trabajo de investigación de Maestría, del Ingeniero Samuel Gonzalo Pinzón Barrios, "Predicción de la tasa de throughput en una red de área local inalámbrica (WLAN 802.11b)".

---

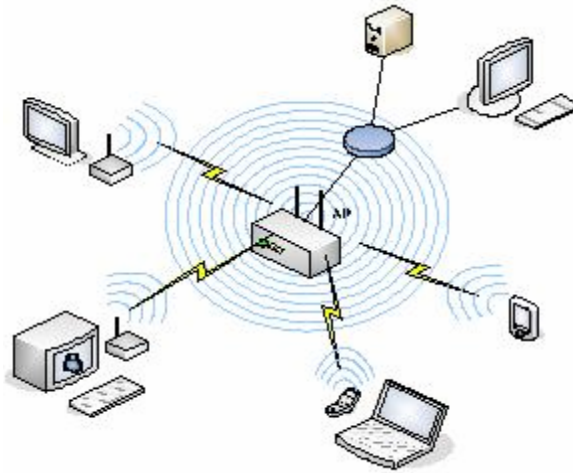
<sup>7</sup> El grupo de investigación en conectividad y procesado de señal, CPS, clasificado B por Colciencias, realiza proyectos de investigación en sistemas digitales, redes neuronales, gestión redes de datos, procesamiento digital de imágenes, pruebas en fibra óptica, redes multiservicio, procesadores digitales de señal (DSP) y redes de próxima generación.

## 1. ESTADO DEL ARTE

### 1.1 REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS

Las redes de área local inalámbrica WLAN utilizan tecnología de radio frecuencia (RF) para la transmisión y recepción de datos entre el punto de acceso (AP)<sup>8</sup> y los dispositivos cliente, en lugar de medios guiados (par trenzado, coaxial o fibra óptica), brindando mayor flexibilidad, provisionalidad y movilidad a los usuarios en comparación con las redes cableadas, a cambio de una velocidad de transmisión menor pero suficiente para la mayoría de aplicaciones de los clientes, en las que se desea un acceso oportuno.

**Figura 1. Esquema general de una WLAN**



Diseño de los autores

En una red cableada las estaciones receptoras se encuentran en una disposición predeterminada, lo cual limita el ingreso a la red por parte de los usuarios y los

---

<sup>8</sup> Se utilizará el término AP para hacer referencia al Punto de Acceso en una WLAN.

obliga a permanecer en un solo sitio, pero para un usuario móvil la disponibilidad de ingreso a la red depende del área en la que está trabajando; además las WLANs pueden soportar un número elevado de usuarios transitorios mientras que las redes cableadas están limitadas a las conexiones existentes. Estos dos problemas lo solucionan las redes inalámbricas [1].

Para garantizar la interoperabilidad de los dispositivos inalámbricos de diferentes fabricantes, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), desarrolló el estándar 802.11 en el cual se dan especificaciones tanto físicas como a nivel MAC<sup>9</sup> necesarias para implementar una WLAN. Las características de las diversas extensiones del estándar están presentes en la tabla 1.

**Tabla 1. Principales estándares WLAN**

ESTÁNDAR	VELOCIDAD MÁXIMA	INTERFACE DE AIRE	ANCHO DE BANDA DE CANAL	FRECUENCIA
<b>802.11a</b>	54 Mbps	OFDM <sup>10</sup>	22 MHz	5.0 GHz
<b>802.11b</b>	11 Mbps	DSSS <sup>11</sup>	22 MHz	2.4 GHz
<b>802.11g</b>	54 Mbps	OFDM/DSSS	22 MHz	2.4 GHz

Diseño de los autores

Las tasas máximas de transmisión sólo se consiguen en ambientes libres de interferencia y a muy cortas distancias, por lo cual, se consideran velocidades de 1,

<sup>9</sup> Medium Access Control. Subcapa de la capa de enlace de datos, denominada de Control de Acceso al Medio pues gestiona y controla el acceso al canal de transmisión, utilizando para ello el protocolo de CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).

<sup>10</sup> Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Técnica de modulación FDM (Multiplexación por división de frecuencia) que divide la señal de radio en diferentes frecuencias (52 en total, 48 para datos y 4 para sincronización) para realizar la transmisión de forma simultánea, obteniendo mejor inmunidad a la interferencia de bandas estrechas y la posibilidad de utilizar bandas no contiguas.

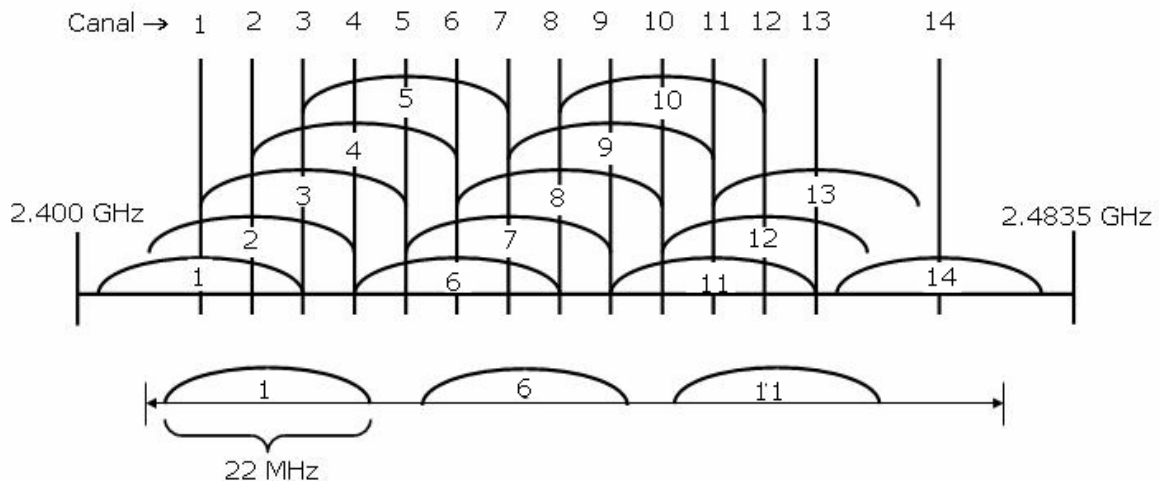
<sup>11</sup> Direct Sequence Spread Spectrum. Técnica de modulación de Secuencia Directa de Espectro Expandido, que genera un patrón de bits redundantes (chip) por cada bit a ser transmitido, utiliza modulación por desplazamiento de fase a 1 Mbaudio, transmite 1 bit por baudio cuando opera a 1 Mbps y 2 bits por baudio cuando opera a 2 Mbps.

2, 5.5 y 11 Mbps para 802.11b y de 6, 9, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps para 802.11a y 802.11g.

## 1.2 ESTÁNDAR 802.11b

El estándar 802.11b opera en la banda de frecuencia de 2.4 a 2.4835 GHz<sup>12</sup>, con una tasa máxima de transmisión de 11 Mbps. Cuenta con 3 canales diferentes que no se traslapan en frecuencia (canales 1, 6 y 11) y soporta cerca de 32 estaciones por AP. Utiliza como técnica de modulación DSSS. Este estándar se recomienda cuando se desea implementar redes inalámbricas en grandes instalaciones que requieran un gran alcance, con requerimientos moderados en el desempeño, esto es, donde la tasa de transmisión sea menor a 11Mbps.

Figura 2. Distribución de canales



Diseño de los autores

En Colombia la implementación de redes inalámbricas se encuentra reglamentada por el Ministerio de Comunicaciones mediante la Resolución 689 del 21 de Abril del

<sup>12</sup> La banda de 2,400 a 2,4835 MHz, se encuentra atribuida para la Región 2 (América), a las aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM).

2004, la cual es considerada como la “norma inalámbrica unificada”. Esta resolución garantiza el “uso libre y público del espectro” y aplica a los sistemas de radiocomunicación de acceso inalámbrico y a las redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia [2].

### **1.3 RSSI<sup>13</sup> (Received Signal Strength Indicator)**

El RSSI o medida de la intensidad de la señal que recibe la estación móvil ante emisiones de energía RF del AP se ve afectada por la distancia que separa al AP de las estaciones móviles y por la presencia de obstáculos entre ellos. Este parámetro puede ser considerado como un indicador de la calidad de la transmisión de la red, esto es, un valor alto de RSSI indica la existencia de una mejor condición de transmisión.

El valor de intensidad es obtenido por la capa física midiendo la energía RF de la antena del AP y determinando la intensidad de la señal recibida en la estación móvil (cliente). La unidad de medida utilizada para su registro es el decibel (dB)<sup>14</sup>.

### **1.4 PARÁMETROS QUE AFECTAN LA PROPAGACIÓN**

La propagación de las ondas en ambientes *indoor* se ve afectada por aspectos como la arquitectura del escenario donde se implementa la red, los materiales de construcción presentes en la edificación y la visibilidad existente entre el AP y el

---

<sup>13</sup> En el texto el término RSSI representará al Nivel de Intensidad de Señal Recibida en una WLAN.

<sup>14</sup> Equivale a la décima parte de un bel. Unidad de referencia utilizada para determinar la ganancia o atenuación de una señal.

punto receptor, evidenciados en una disminución en el RSSI y/o creación de múltiples trayectorias de propagación.

### 1.4.1 Atenuación por propagación en espacio libre (Free Space)

Representa la diferencia en dB de la intensidad de señal entre el transmisor y el receptor cuando entre ellos existe una clara línea de vista, en función de la frecuencia de operación,  $f$ , y la distancia,  $d$ , que los separa. Según [5] estas pérdidas están dadas por la ecuación 1,

$$L_{fs}(d) = 20 \log_{10} \frac{4\pi * d * f}{c} \quad (1)$$

donde:

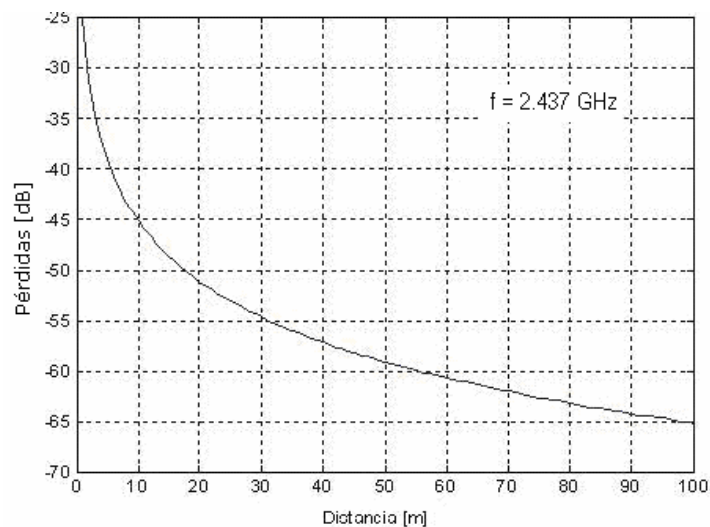
$L_{FS}$  = Atenuación [dB]

$d$  = Distancia de separación entre el transmisor y el receptor [m].

$f$  = Frecuencia del canal de transmisión. (Canal 6,  $f = 2.437$  GHz)

$c$  = Velocidad de la luz,  $c = 3 \times 10^8$  m/s

Figura 3. Gráfica de la ecuación de Friis



Diseño de los autores

En la figura 3, se presenta la gráfica de la ecuación 1, también conocida como la ecuación de Friis. En ella se observa una disminución en el nivel de RSSI al incrementarse la distancia de separación entre el AP y el punto receptor.

### 1.4.2 Pérdidas de transmisión

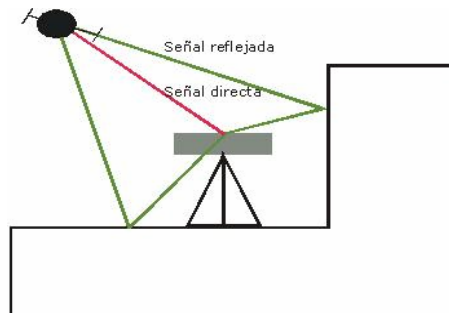
Representan la pérdida de señal causada por los obstáculos que atraviesan los rayos que se propagan. Si el camino intersecta con  $n$  obstáculos de pérdida de transmisión individual ( $L_i$ )<sup>15</sup>, las pérdidas totales ( $L_T$ ) estarán dadas por la ecuación 2,

$$L_T = \sum_{i=1}^n L_i \quad (2)$$

### 1.4.3 Atenuación por multicaminos (multipath)

Representa la pérdida ocasionada por los múltiples caminos que puede seguir una onda para llegar a su destino debido a fenómenos de propagación como reflexión, refracción y dispersión, y que generan ya sea un incremento ó atenuación en la señal al interferir constructiva ó destructivamente los diferentes frentes de onda.

Figura 4. Efecto por multicaminos

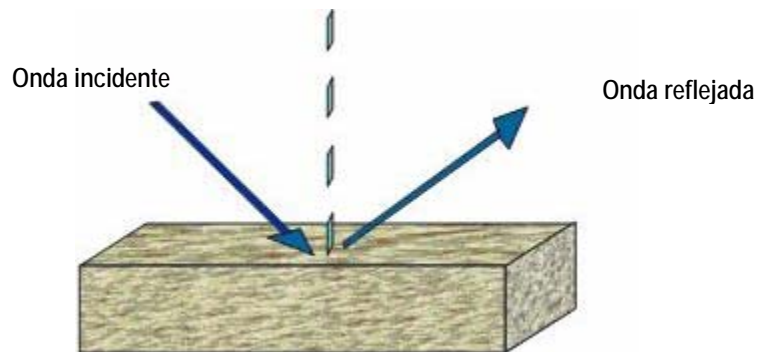


Diseño de los autores

<sup>15</sup>  $L_i$  depende del material de construcción y espesor del obstáculo.

**Reflexión:** Se presenta cuando una onda electromagnética incide sobre un objeto de dimensión mayor a su longitud de onda. La onda reflejada sigue el principio de Snell y su desvanecimiento se reduce en proporción al coeficiente de reflectividad del material.

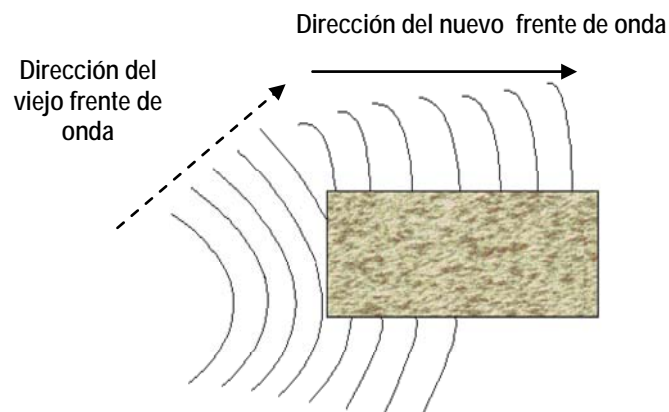
Figura 5. Reflexión de una onda



Diseño de los autores

**Difracción:** Se presenta cuando una onda electromagnética es obstruida por una superficie con bordes irregulares. Este fenómeno permite que una onda viaje alrededor de esquinas y otros bordes, y lograr así que la señal alcance su destino cuando no existe línea de vista.

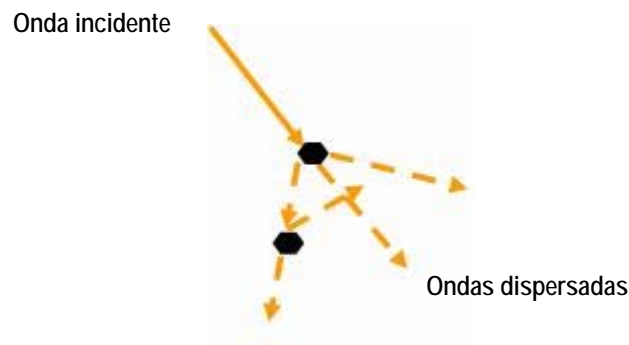
Figura 6. Difracción de una onda



Diseño de los autores

**Dispersión:** Ocurre cuando una onda electromagnética es obstruida por un objeto con dimensiones más pequeñas que su longitud de onda, lo cual genera dispersión de la señal y un efecto similar al de la reflexión en el cual la señal dispersada puede seguir diversas trayectorias de propagación.

**Figura 7. Dispersión de una onda**



Diseño de los autores

## 1.5 MODELOS DE PROPAGACIÓN

Existen básicamente dos modelos de radio propagación que permiten realizar una predicción aproximada del Nivel de Intensidad de Señal (RSSI) en ambientes indoor<sup>16</sup> donde se haya implementado una WLAN: el modelo empírico [3] y el modelo determinístico [4].

### 1.5.1. Modelo Empirico

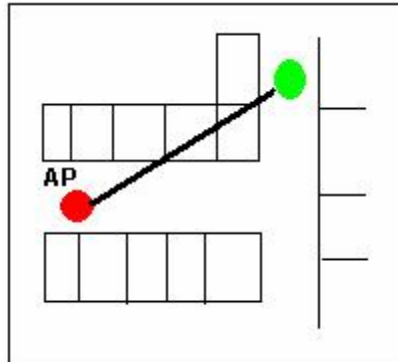
El primero de ellos, el modelo empírico, determina un rayo directo entre el transmisor y el receptor como una transmisión a través de los obstáculos. Figura 8. Este modelo no considera la difracción de las ondas en las esquinas ni el efecto de waveguiding o concentración de las ondas en un camino principal ocasionado por la

---

<sup>16</sup> La propagación *indoor* hace referencia a la propagación de ondas de radio dentro de edificaciones o ambientes cerrados.

disposición de los muros en los corredores.

**Figura 8. Modelo Empírico**



Diseño de los autores

Los parámetros considerados para el cálculo del RSSI son:

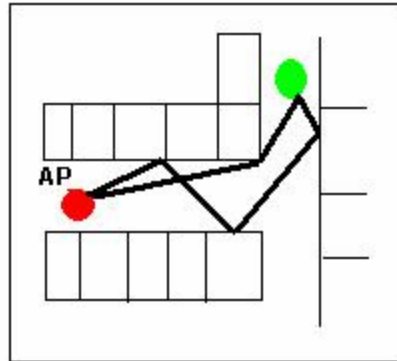
- Longitud del rayo directo (distancia de separación entre el transmisor y el receptor).
- El número y el material de los muros o estructuras atravesadas.

Este modelo está caracterizado por su rapidez y su limitada exactitud, se basa en la regresión de datos provenientes de campañas de medición realizadas en sitios específicos del escenario a modelar.

### **1.5.2. Modelo Determinístico**

El modelo determinístico, o modelo de trazado de rayos (ray tracing), considera el efecto que sobre la propagación de las ondas desde el transmisor y el receptor puedan generar la presencia de obstáculos y/o la arquitectura misma del escenario, como son los fenómenos de reflexión, difracción y dispersión de dichas ondas [5].

**Figura 9. Modelo Determinístico**



Diseño de los autores

Su principal característica es el incremento en la precisión de la predicción debido a la consideración de las múltiples reflexiones, la propagación por las esquinas y el efecto del waveguidien en los corredores y túneles. No obstante, requiere de una base de datos exacta y un consumo de tiempo computacional mayor que el del modelo empírico.

### **1.5.3 Otras Alternativas**

Igualmente, como alternativa a los modelos anteriores, surgen otros modelos de predicción, basados en redes neuronales y algoritmos genéticos. Estas redes se inspiran en el funcionamiento del cerebro humano ya que no requieren que se les programe para realizar una tarea sino que aprenden de la experiencia. Los parámetros de entrada durante el proceso de entrenamiento son los datos provenientes de campañas de medición y la caracterización del escenario a modelar. La salida de la red representa el RSSI en cada uno de los puntos que compone la edificación [6].

Otro modelo alternativo, creado en los últimos años, se basa en definir caminos dominantes entre el transmisor y el receptor para describir todos los rayos que

pasan los mismos obstáculos. Dado que no todos los caminos que siguen las ondas para alcanzar su destino, contribuyen equitativamente a la intensidad de la señal recibida, aquella trayectoria que represente una menor atenuación de la señal tendrá mayor incidencia en el modelo y será considerada como la trayectoria dominante. El camino dominante de menor atenuación es seleccionado usando una fórmula empírica que tiene en cuenta la pérdida por espacio libre, las pérdidas de transmisión y las pérdidas por interacción de la señal [7].

## **2. MODELO ALTERNATIVO PARA LA PREDICCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE LA SEÑAL RECIBIDA (RSSI) EN UNA RED INALÁMBRICA (WLAN 802.11b)**

En este capítulo, se explica detalladamente mediante un diagrama de bloques, el modelo desarrollado para predecir el RSSI en una WLAN.

El modelo alternativo considera algunos de los factores que más afectan la propagación de las ondas de radio, como son: la atenuación de potencia por espacio libre, la pérdida de transmisión a lo largo de las paredes y la influencia de los reflectores locales de potencia del sitio receptor, al igual que combina las ventajas de los modelos de propagación conocidos actualmente, como son el incremento en la exactitud y una disminución en el consumo de tiempo computacional<sup>17</sup>

Junto al desarrollo de este modelo, se implementa en Matlab 7.0, una herramienta tipo software llamada OPENWireless, que permite diseñar el plano del edificio donde se instalará la red, ubicar los dispositivos de red y visualizar la distribución de potencia en todo el escenario<sup>18</sup>.

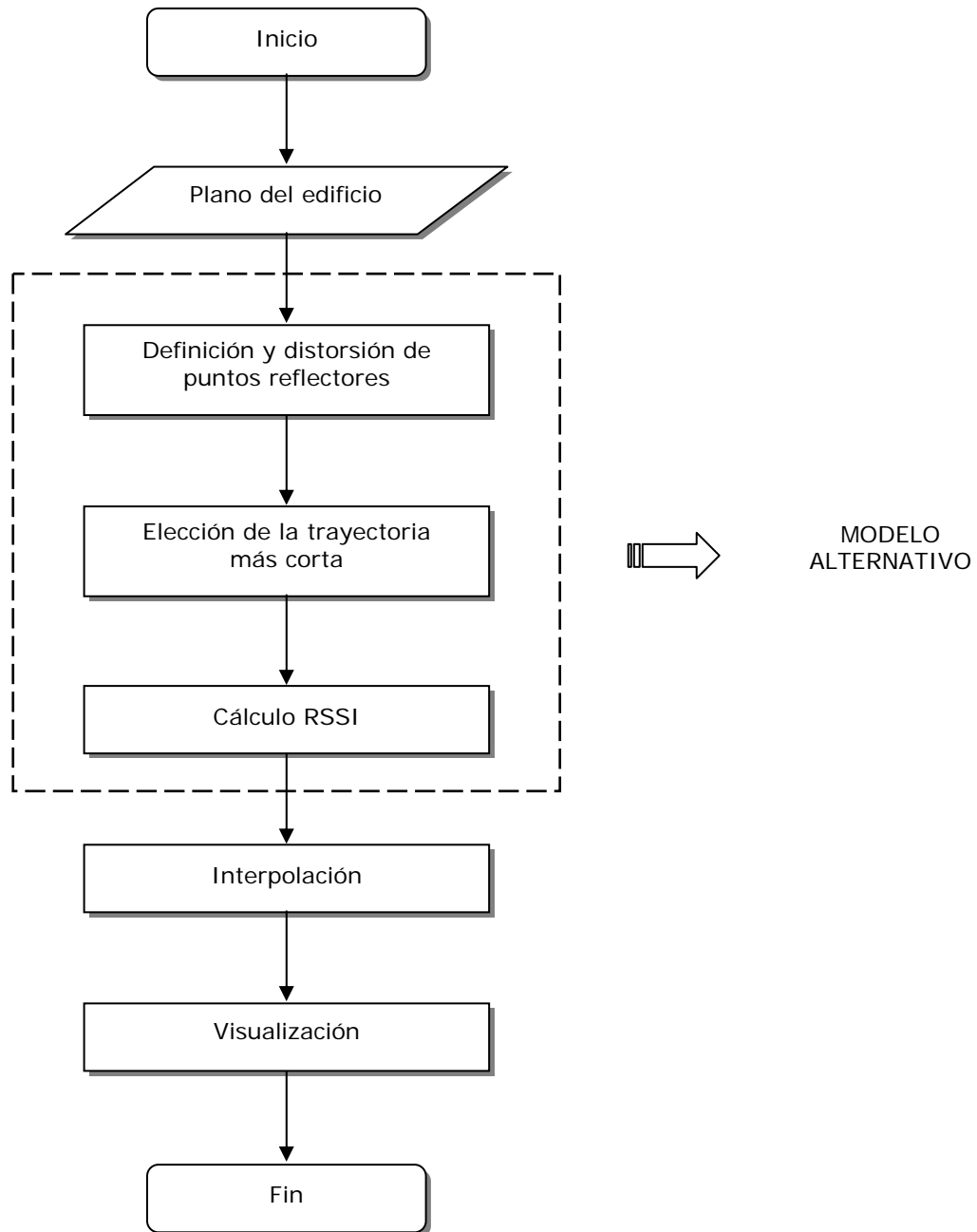
---

<sup>17</sup> En el Capítulo III, se analizan los resultados obtenidos con este modelo.

<sup>15</sup> En el Capítulo III, se explica con detalle esta herramienta.

## 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

Figura 10. Diagrama de bloques del modelo de predicción



Diseño de los autores

### 2.1.1 Plano del edificio

El plano del edificio, sobre el cual se va a realizar la predicción, se dibuja en la interfaz gráfica de la herramienta software desarrollada, insertando cuadros de dibujo con las dimensiones de cada uno de los cuartos y corredores que lo componen, los cuales se van ubicando conforme a la disposición que tengan dentro del plano. Así mismo al introducir ya sea un cuarto o corredor, se debe seleccionar el material de construcción de cada una de las estructuras que lo conforman (ya sea mampostería de ladrillo o madera, materiales disponibles en la herramienta) , ya que éste es un parámetro importante en el desarrollo del modelo de predicción<sup>19</sup>.

Una vez implementado el plano del edificio, se ubica el AP, de acuerdo a la configuración inalámbrica que se desee implementar.

**Figura 11. Plano del edificio**



Diseño de los autores

---

<sup>19</sup> Las pérdidas de transmisión dependen de la pérdida de potencia que ocurre en cada obstáculo, asimismo ésta pérdida depende del material de construcción del obstáculo.

### 2.1.2 Modelo alternativo de predicción

Por medio de los fenómenos de propagación se transmiten las ondas de radio, cuando no existe línea de vista entre el AP y el punto receptor. Estos fenómenos en ambientes indoor, originan el efecto multipath, que consiste en la creación de múltiples caminos de propagación de la onda<sup>20</sup>.

Este efecto es considerado en los modelos de propagación determinísticos, en el que se analizan las múltiples reflexiones y difracciones que crea la onda de radio dentro de su trayectoria. En este modelo de propagación, se determinan todos los rayos entre el transmisor y el receptor, lo que hace del modelo uno de los más exactos y uno de los que consume mayor tiempo computacional en el proceso de predicción, convirtiéndose ésta en su principal desventaja.

Según [8], dónde se trabajó con modelos de propagación determinísticos, se establece que “un alto número de los rayos, penetran las mismas paredes y pasan las mismas salas, la contribución de todos estos rayos es similarmente cercana”.

Partiendo de este estudio se crea un nuevo modelo de predicción, de tipo semi-determinístico. Basándose en modelos empíricos, toma la ecuación de espacio libre para calcular la pérdida de potencia por rayo directo entre el AP y el punto receptor<sup>21</sup> y entre el reflector local<sup>22</sup> y el punto receptor, de igual forma se sustenta en los modelos determinísticos, para determinar las pérdidas por transmisión; las cuales son causadas por los obstáculos que se encuentran en la trayectoria de transmisión de la onda. Estas pérdidas se calculan mediante una técnica desarrollada en este trabajo, la cual fue denominada Distorsión-UIS, en la que los obstáculos se representan mediante puntos llamados puntos reflectores, a través de

---

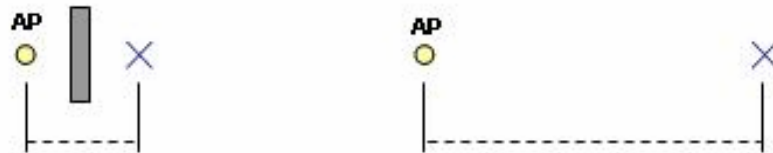
<sup>20</sup> En el capítulo I, se define éste fenómeno.

<sup>21</sup> Punto receptor hace referencia al sitio en el cual se encuentra ubicado el usuario final.

<sup>22</sup> Más adelante se define el concepto de reflector local.

los cuales se considera que se propaga la onda; el alejamiento de estos puntos simula la disminución de señal ocasionada por la estructura del escenario de predicción. Figura 12.

**Figura 12. Técnica de distorsión-UIS**



Al poner en secuencia dichos puntos, se definen las posibles trayectorias de propagación. Posteriormente se selecciona como la ruta más corta aquella que ocasione una menor atenuación de RSSI, y se asume que este camino representa las pérdidas por transmisión. Conociendo la distancia de separación entre el AP y el punto receptor se determinan las pérdidas por espacio libre. La influencia de los reflectores locales se determina al calcular las pérdidas por espacio libre tomando como distancia la separación existente entre el punto reflector perteneciente a la ruta de propagación seleccionada y el punto receptor.

La combinación de estos tres parámetros fija las pérdidas por propagación, así mismo el nivel de RSSI, el cual se calcula sólo para ciertas posiciones del plano, cuyos valores se interpolan para obtener la distribución de potencia en todo el escenario de predicción.

### **2.1.3 Definición y distorsión de puntos reflectores**

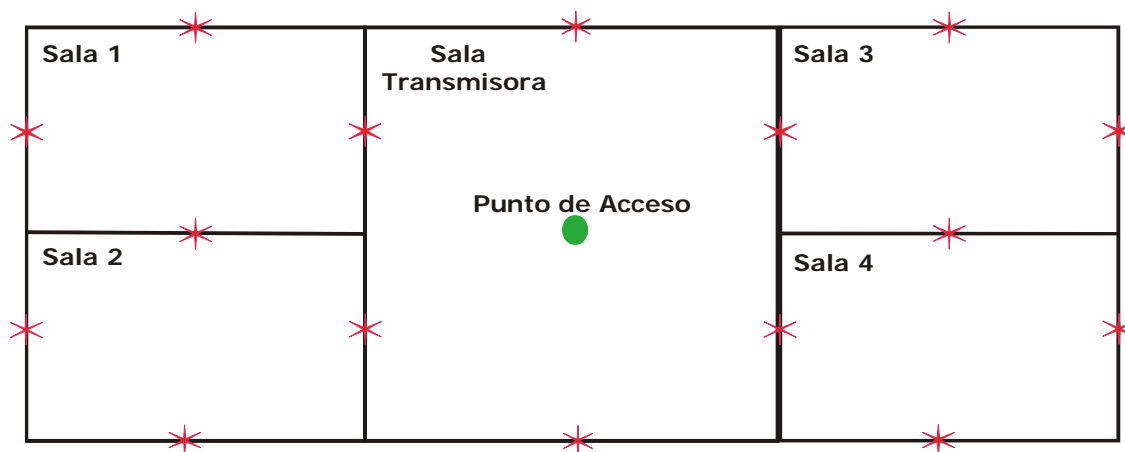
Uno de los fenómenos de propagación que ocurre con mayor frecuencia, es la reflexión, la cual se produce cuando un frente de onda incide sobre un obstáculo. El

frente de onda se divide en dos: Un frente transmitido a través del obstáculo y otro que se refleja en una dirección distinta a la del frente original.

Ésta disminución de señal, causada por los obstáculos que se encuentran en la trayectoria de transmisión de un frente de onda, depende de la distancia de separación entre el obstáculo y el AP y del material de construcción y espesor<sup>23</sup> del mismo.

En el modelo, cada obstáculo se representa mediante un punto ubicado en el centro del mismo. Este punto es llamado punto reflector, pues se considera que la onda de radio se propaga sólo a través de ellos. En la figura 13, los puntos de color rojo representan los puntos reflectores en un escenario ejemplo y el punto de color verde simboliza al AP. De la gráfica se concluye que el número de puntos reflectores varía según los obstáculos y los materiales de construcción que estén presentes en la edificación.

**Figura 13. Puntos reflectores en un escenario**



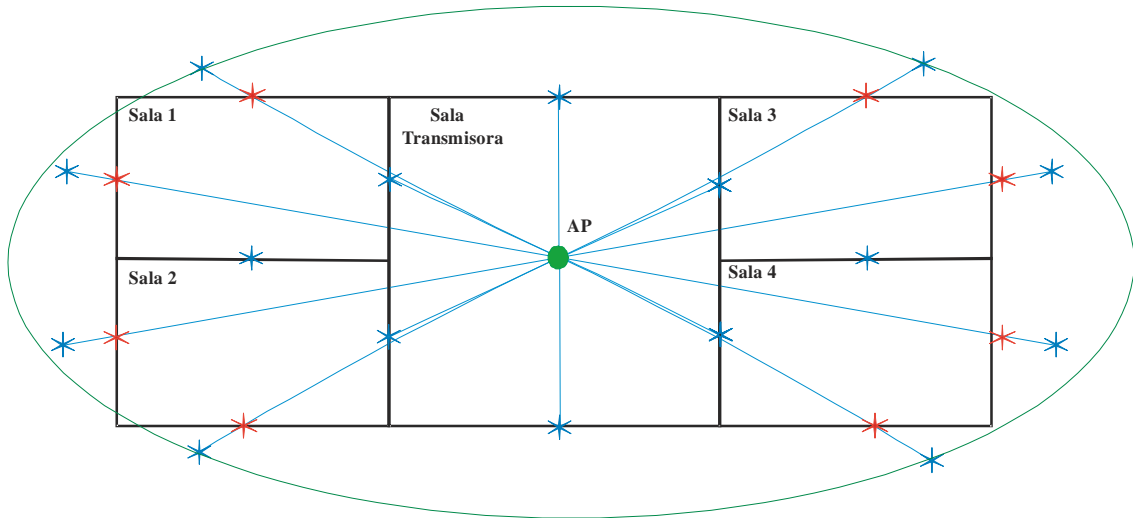
Diseño de los autores

<sup>23</sup> El modelo de predicción propuesto, no considera el espesor de las estructuras que componen el escenario, debido a la complejidad que implica su caracterización. Este análisis se propone como recomendación para un estudio posterior.

El modelo de predicción propuesto, está basado en la técnica Distorsión-UIS, la cual simula la pérdida de potencia ocurrida en cada obstáculo, como un desplazamiento radial que aleja los puntos reflectores del plano del AP.

En la siguiente figura, los puntos de color azul representan los reflectores ya distorsionados. En este escenario ejemplo, todos los obstáculos están compuestos por el mismo material de construcción, por lo cual se desplazan la misma proporción en torno al AP. La línea de color verde, evidencia que el desplazamiento de los puntos reflectores es radial.

**Figura 14. Técnica Distorsión**



Diseño de los autores

Dado que el valor de desplazamiento de cada punto reflector, depende de la pérdida de potencia en el material de construcción del obstáculo, algunos proyectos relacionados con la predicción de RSSI en la cobertura de una WLAN [9], han fijado éstas pérdidas a la frecuencia de 2.4 GHz, para los materiales que se encuentran comúnmente en las edificaciones, Tabla 2.

**Tabla 2. Atenuación de potencia por material de construcción a 2.4GHz**

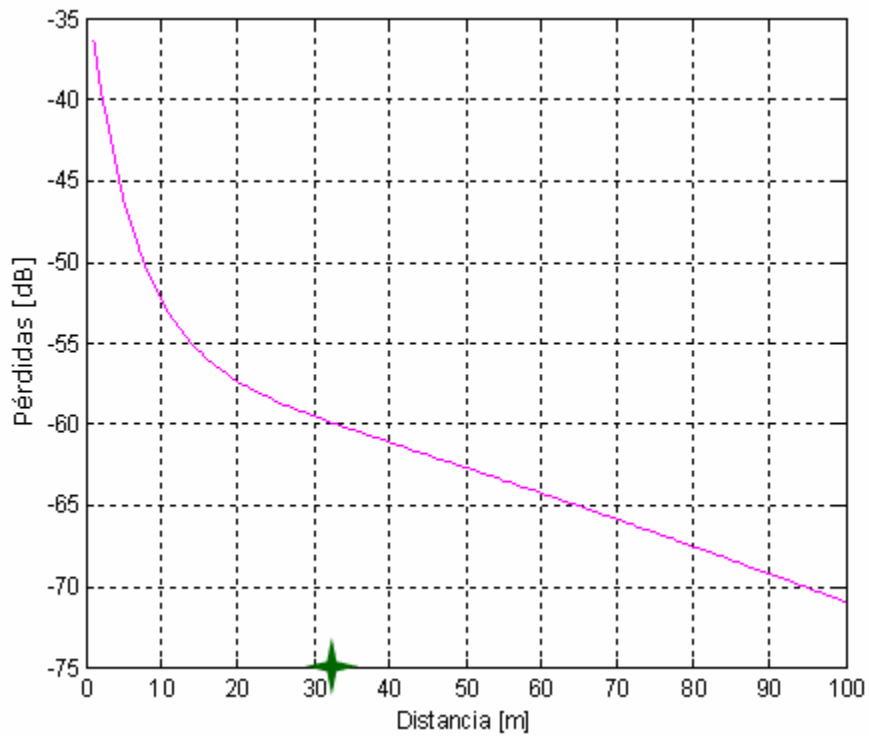
Obstáculo	Pérdida adicional [dB]
Espacio libre	0
Ventana (tinta no metálico)	3
Ventana (tinta metálico)	5 a 8
Pared fina (madera)	5 a 8
Pared media (madera)	10
Pared gruesa (espesura aprox. 15 cm)	15 a 20
Pared muy gruesa (espesura aprox. 30 cm)	20 a 25
Piso ó techo grueso	15 a 20
Piso ó techo muy grueso	20 a 25

Tabla tomada de la disertación de Maestría "ESTUDO DE PROPAGAÇÃO EM AMBIENTES FECHADOS PARA O PLANEJAMENTO DE WLANS", referencia [9] en la bibliografía.

Fijada la atenuación de potencia para ciertos materiales, se calcula el valor de distorsión de cada punto reflector, considerando la distancia que existe entre éste y el AP. Este valor se obtiene de la gráfica de la ecuación de Friis o Modelo de Espacio Libre, figura 3, Distancia vs. Potencia, siguiendo el procedimiento que se explica a continuación:

1. Se determina, la distancia de separación entre el AP y el punto reflector.

**Figura 15. Ubicación en la ecuación de espacio libre, de la distancia de separación**

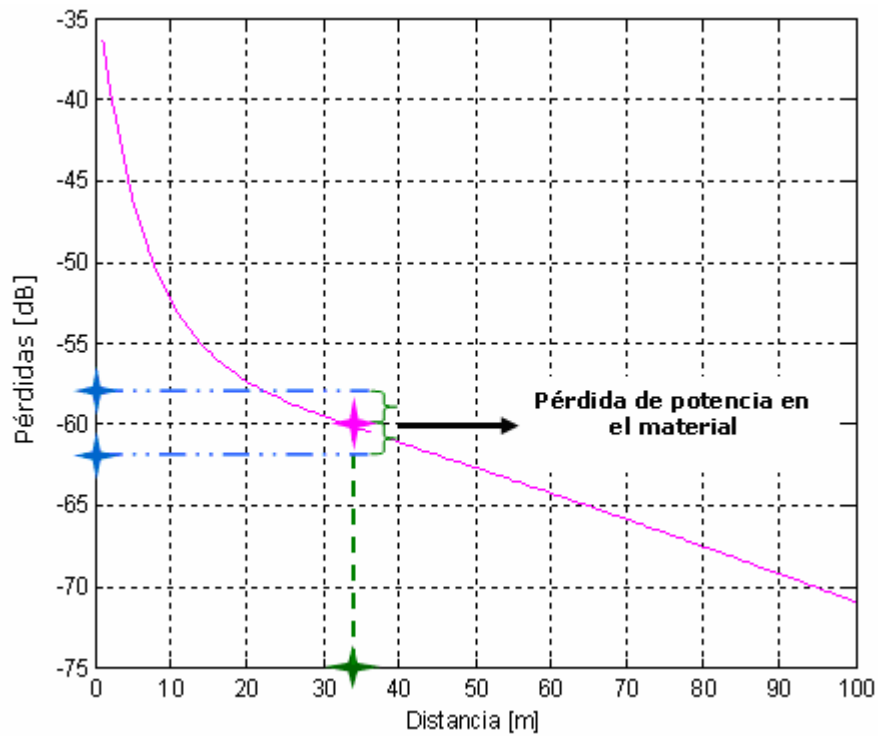


Diseño de los autores

En la figura anterior se ubica una marca color verde sobre el eje Distancia de la gráfica, para representar la distancia de separación entre el AP y uno de los puntos reflectores de la figura 11. Para el ejemplo, esta distancia es de 32m.

2. Se realiza una proyección vertical de este punto en la función, y a partir de éste, se ubica en el eje Potencia un intervalo que corresponde al valor de atenuación de potencia del material.

**Figura 16. Ubicación en la ecuación de espacio libre, del valor de pérdida de potencia del obstáculo**



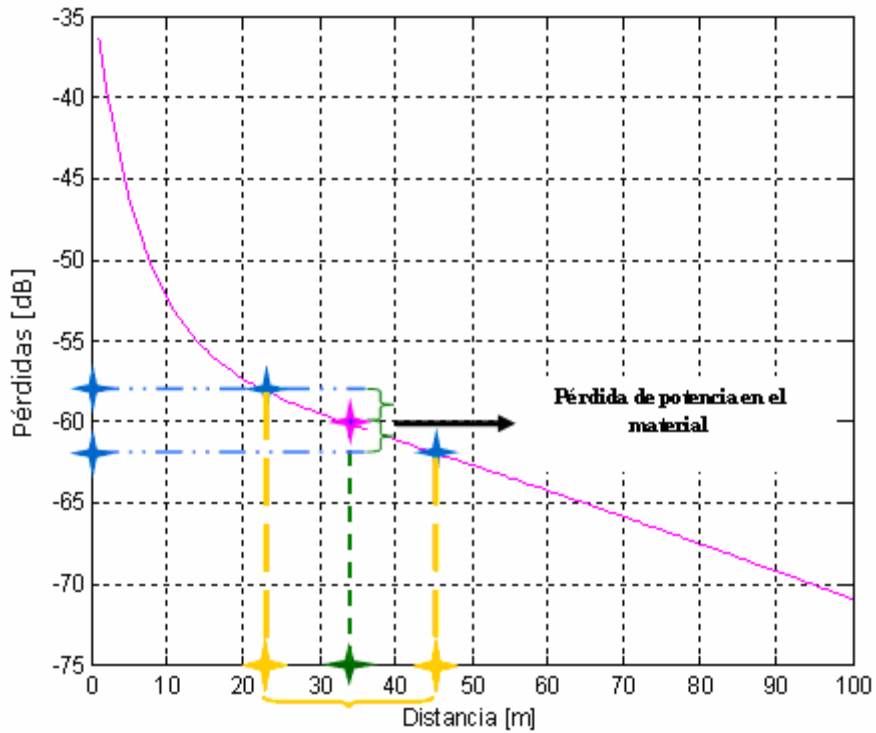
Diseño de los autores

Este valor se distribuye por encima y por debajo del punto proyectado en la función. Debido a que el obstáculo que se está considerando es una pared fina (madera) se le asocia una disipación de 6 dB, y se toma un valor 3 dB por encima del punto proyectado y 3 dB por debajo de dicho valor.

- Los puntos que se encuentran en el eje vertical correspondientes al intervalo de atenuación de potencia, se proyectan en la función. En la figura 16, las marcas color azul se proyectan en la función.



Figura 18. Valor de desplazamiento del punto reflector



Diseño de los autores

#### 2.1.4 Elección de la trayectoria más corta

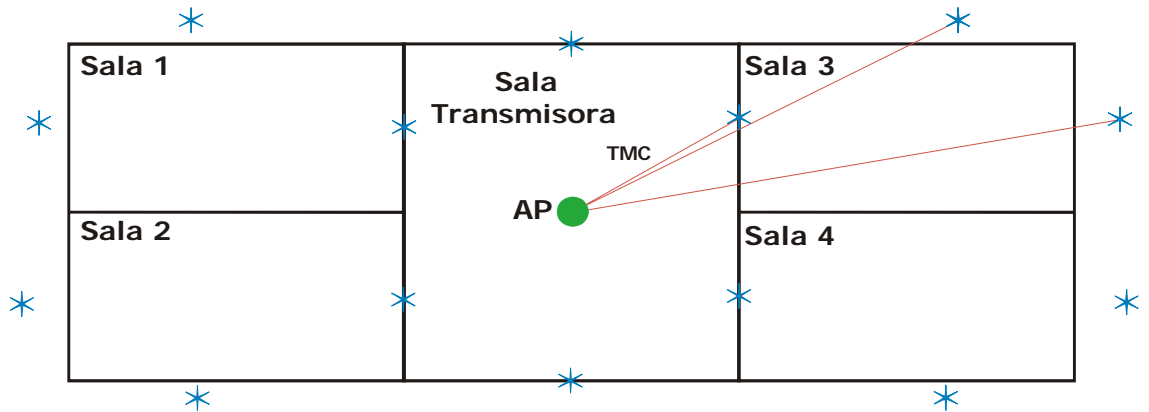
En esta etapa del modelo se determinan todas las posibles trayectorias, por las que se transmitirá la señal de potencia desde el AP hacia los puntos reflectores que se encuentran en el sitio receptor<sup>24</sup>, a partir de la unión de puntos reflectores vecinos ya distorsionados.

Entre las múltiples trayectorias que se crean, el modelo debe elegir el camino que represente una menor disipación de potencia, basado en la trayectoria más corta, debido a que en la técnica Distorsión se representó la pérdida de transmisión

<sup>24</sup> No se crea trayectoria entre puntos reflectores que estén ubicados sobre la misma línea de obstáculo.

mediante un desplazamiento en distancia. En la siguiente figura, se indican las trayectorias existentes desde el AP hacia los puntos reflectores de una de las salas del escenario de predicción.

**Figura 19. Posibles trayectorias entre el AP y una sala del escenario**



Diseño de los autores

Para elegir la trayectoria más corta, el modelo utiliza un algoritmo de rápido procesamiento y bajo consumo computacional. Dado un conjunto de nodos interconectados mediante arcos asociados con pesos (en este caso distancias), los algoritmos de trayectoria más corta permiten determinar la ruta más corta entre dos nodos cualquiera. Entre los algoritmos de trayectoria más corta se encuentran: Algoritmo de Dijkstra [10], Algoritmo de Floyd y Warshall [11].

El algoritmo de Dijkstra calcula la trayectoria más corta entre dos nodos cuando los pesos de las trayectorias son positivos, mientras que el Algoritmo de Floyd y Warshall computa la trayectoria más corta entre todas las parejas de nodos, sin importar el signo que tenga el peso de la trayectoria.

De estos dos algoritmos se elige el Algoritmo de Dijkstra. Las razones de esta elección se basan en el uso de pesos positivos en las trayectorias del modelo desarrollado, y en la aplicabilidad del algoritmo, el cual se constituye como uno de los más significativos en la teoría de grafos. Entre las aplicaciones más importantes

se encuentran: encaminamiento de paquetes en los routers, tratamiento de imágenes médicas, reconocimiento de lenguaje hablado, entre otras.

Considerando como nodo inicial el punto de ubicación del AP, se ejecuta el proceso de elección de la trayectoria más corta desde el AP hacia cada una de las salas. Los puntos reflectores finales que se encuentran dentro de esta trayectoria de camino más corto, se denominan reflectores locales, y es a través de ellos que se realiza la propagación de la señal dentro de cada sala.

### 2.1.5 Cálculo del RSSI

El nivel de intensidad de señal recibida ó RSSI, se calcula como la diferencia entre la potencia emitida por el AP y las pérdidas de propagación de la onda, mediante la siguiente expresión:

$$RSSI = P_{AP} - L_T \quad [dBm] \quad (3)$$

donde:

RSSI = Nivel de Intensidad de Señal Recibido.

$P_{AP}$  = Potencia del AP<sup>25</sup> [dBm].

$L_T$  = Pérdidas asociadas a la propagación [dB].

Las pérdidas por propagación se definieron como la suma de las pérdidas por espacio libre, más las pérdidas por transmisión. Estas pérdidas se calculan por la siguiente ecuación:

$$L_T = L_{FS} + L_{TL} + L_{LR} \quad (4)$$

---

<sup>25</sup> El valor de potencia emitida por el AP, depende del tipo de AP que se esté utilizando. En este análisis se utilizó un AP2000+ Dlink, cuya potencia emitida es 15 dBm.

donde:

$L_T$  = Pérdidas asociadas a la propagación [dB].

$L_{FS}$  = Pérdidas por espacio libre entre el AP y el punto receptor [dB].

$L_{TL}$  = Pérdidas por transmisión [dB].

$L_{LR}$  = Pérdidas por espacio libre entre el reflector local del sitio receptor y el punto receptor [dB].

### 2.1.5.1 Pérdidas por espacio libre

Las pérdidas por espacio libre, ecuación 2, se calculan entre el AP y el punto receptor. De igual forma, el modelo propone determinar la pérdida en espacio libre entre el reflector local y el punto receptor.

Para verificar los valores sugeridos por la Ecuación de Friis (Figura 3), se adelantó una campaña de medición de RSSI en un campo abierto<sup>26</sup>, condición necesaria para garantizar la existencia de línea de vista entre el AP y el punto receptor. Para ello se mantuvo al AP en una posición fija y se desplazó al punto receptor en línea recta, distanciando inicialmente 1 m los puntos de medida para luego incrementar esta distancia a 5 m y a 10 m. La altura del AP fue de 1.38 m. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 3.

Al realizar una regresión exponencial de los datos de la tabla anterior, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$L_{FS} [dB] = -55.38 * e^{0.002477*d} + 22.64 * e^{-0.1645*d} \quad (5)$$

donde:

---

<sup>26</sup> Esta campaña fue realizada en la cancha 1<sup>ero</sup> de Mayo de la Universidad Industrial de Santander.

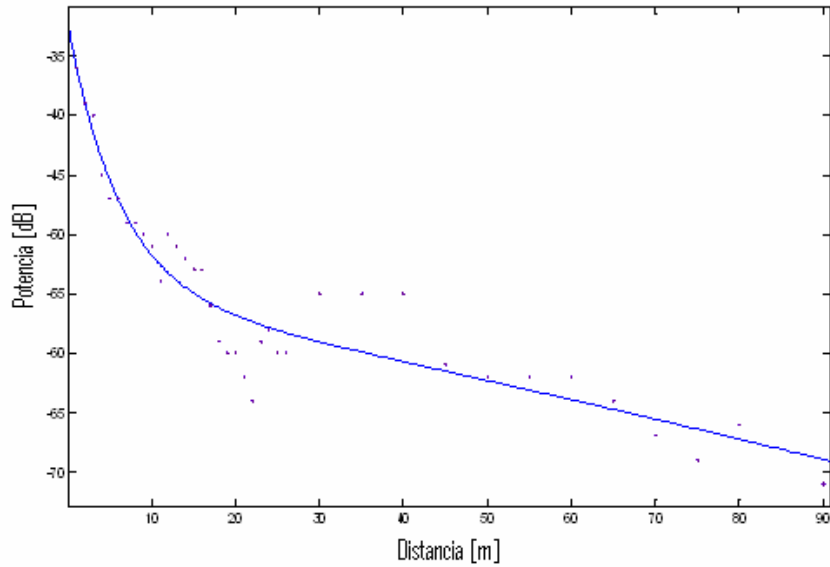
$d$ : distancia [m]

Tabla 3. Datos obtenidos en espacio libre

Distancia [m]	Potencia [dBm]
1	-36
2	-39
3	-40
4	-45
5	-47
6	-47
7	-49
8	-49
9	-50
10	-51
11	-54
12	-50
13	-51
14	-52
15	-53
16	-53
17	-56
18	-59
19	-60
20	-60
21	-62
22	-64
23	-59
24	-58
25	-60
26	-60
30	-55
35	-55
40	-55
45	-61
50	-62
55	-62
60	-62
65	-64
70	-67
75	-69
80	-66
90	-71

Diseño de los autores

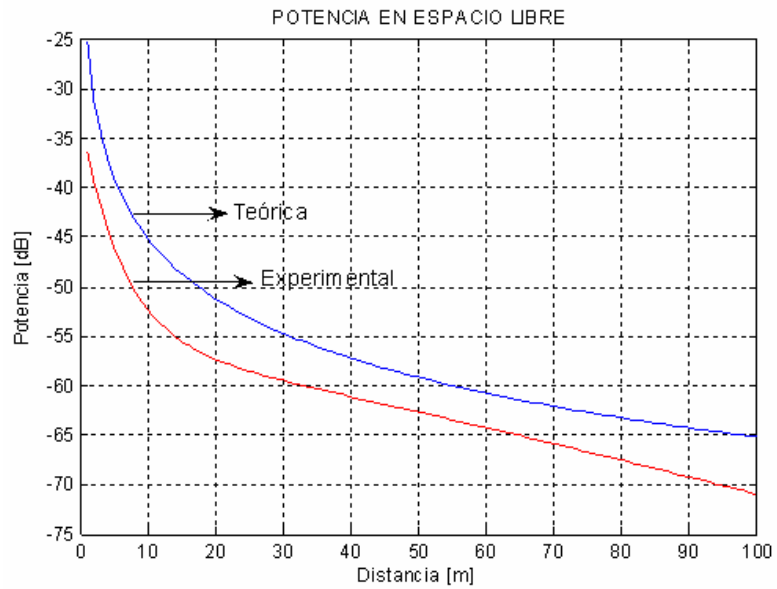
**Figura 20. Regresión exponencial de los datos obtenidos en espacio libre**



Diseño de los autores

Al contrastar la ecuación experimental con la ecuación teórica, se encontró un error medio del 9.2613%. Por esta razón se utilizó la ecuación (5) durante el cálculo del RSSI en el modelo de predicción.

**Figura 21. Gráficas de espacio libre**



Diseño de los autores

En la figura 21, se presenta en color azul la gráfica correspondiente a la ecuación teórica y en color rojo la correspondiente a la ecuación experimental. Igualmente se observa que para un distancia determinada, la potencia recibida arrojada por la ecuación teórica es mayor a la potencia registrada experimentalmente, esto se debe a que la ecuación que determina el RSSI, ecuación 3, calcula esta potencia utilizando los parámetros teóricos especificados por el fabricante del dispositivo utilizado, tales como: potencia emitida, ganancia de la antena de transmisión y ganancia de la antena de recepción.

### 2.1.5.2 Pérdidas por transmisión

Las pérdidas por transmisión, corresponden a la suma de las pérdidas de potencia, ocasionadas por los obstáculos que se encuentran en la trayectoria de transmisión más corta entre el AP y el reflector local. Estas pérdidas se calculan como:

$$L_{TL} = \sum O_i \cdot P_i \quad (6)$$

donde:

$L_{TL}$  = Pérdida de transmisión

$O_i$  = Número de cruces del obstáculo

$P_i$  = Pérdida en el obstáculo

Reemplazando las ecuaciones 5 y 6 en la ecuación que define el RSSI, ecuación 3, se obtiene la expresión utilizada para calcular el nivel de intensidad de la señal por el modelo de predicción:

$$RSSI = P_{AP} - \left( -55.38 * e^{0.002477*d_1} + 22.64 * e^{-0.1645*d_1} + \sum O_i \cdot P_i - 55.38 * e^{0.002477*d_2} + 22.64 * e^{-0.1645*d_2} \right) \quad (7)$$

donde:

$d_1$  = Distancia de separación entre el AP y el punto receptor [m].

$d_2$  = Separación entre el punto reflector y el punto receptor [m].

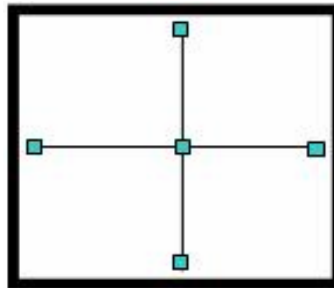
### 2.1.6 Interpolación

Con el fin de generar una menor carga computacional durante el proceso de predicción, el cálculo de RSSI (Ecuación 7) sólo se realizó para ciertas posiciones en el escenario; a partir de la interpolación de dichos valores se obtiene la distribución total de potencia sobre el plano.

Se plantearon tres esquemas de selección de puntos al interior de las salas que constituyen el escenario, los cuales difieren en el número y la distribución de las posiciones de predicción.

El esquema de selección 1, define cinco puntos por sala distribuidos en forma de cruz. Los puntos periféricos están ubicados en el punto medio de cada una de las paredes, el punto interno se encuentra en el centro del recinto, Figura 22.

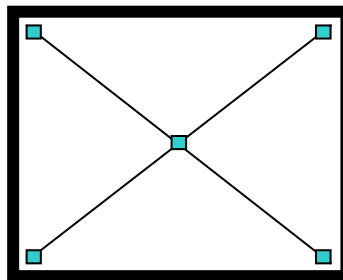
**Figura 22. Esquema de selección 1, de puntos de predicción**



Diseño de los autores

El esquema de selección 2, ubica los puntos externos en cada una de las esquinas de la sala; el punto interno mantiene su posición central, Figura 23.

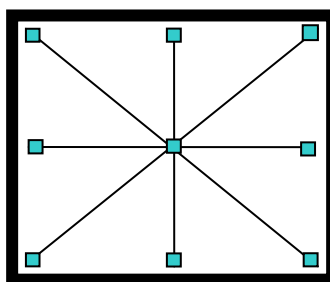
**Figura 23. Esquema de selección 2, de puntos de predicción**



Diseño de los autores

El esquema de selección 3 parte de la superposición de los esquemas de selección 1 y 2, obteniéndose así nueve posiciones de predicción al interior de la sala, tal como lo muestra la figura 24.

**Figura 24. Esquema de selección 3, de puntos de predicción**



Diseño de los autores

Partiendo del cálculo del nivel de potencia recibida para determinadas posiciones en el cuarto es posible determinar el valor de RSSI para todos los puntos de la sala, los cuales son generados previamente especificando las dimensiones de la sala y la separación que se desea entre los puntos.

Se plantearon tres tipos de interpolación de datos: lineal, cúbica y con funciones de base radial (RBF)<sup>27</sup>; las cuales se diferencian en el trato dado a los datos, en el primer caso éstos son ajustados a una línea recta definida por los datos suministrados, en la interpolación cúbica se define un polinomio cúbico entre cada par de puntos y en el tercer caso se entrena a la red neuronal con determinados valores de potencia para que posteriormente realice la predicción en otras posiciones.

La precisión obtenida en la interpolación de los valores de RSSI al utilizar cada uno de los esquemas anteriores determinó el número y distribución definitiva de los

---

<sup>27</sup> Ver Anexo Funciones de Base Radial. Red Neuronal de dos capas utilizada en la solución de problemas de clasificación de patrones, aproximación de datos y modelado de sistemas dinámicos. Dicha red fue entrenada con valores provenientes de campañas de medición realizadas en el escenario de prueba, edificio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander.

puntos de predicción<sup>28</sup> al interior de las salas.

En la tabla 4, se presentan los errores encontrados al contrastar los valores de la predicción con la base de datos proveniente de campañas de medición realizadas en el edificio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander. El error está definido como la diferencia en dB entre el valor de predicción y el valor registrado.

**Tabla 4. Errores absolutos promedio obtenidos de la predicción según el esquema de distribución y el tipo de interpolación utilizado en el edificio de Eléctrica Antigua**

ESQUEMA	INT. LINEAL [dB]	INT. CUBICA [dB]	INT. RBF [dB]
1	Indeterminado <sup>29</sup>	Indeterminado	Indeterminado
2	4.875	4.876	4.24
3	4.57	4.66	2.585

Diseño de los autores

La cota máxima de error presente durante la interpolación de los datos, medida en dB, se presenta en la tabla 5.

**Tabla 5. Errores Máximos de la predicción**

ESQUEMA	INT. LINEAL [dB]	INT. CUBICA [dB]	INT. RBF [dB]
1	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado
2	16	16	12
3	14	14	12

Diseño de los autores

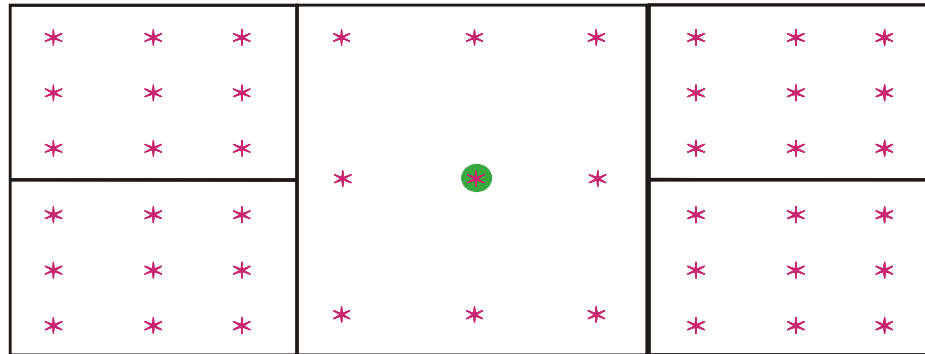
Debido a las inconsistencias encontradas durante la interpolación, el esquema de

<sup>28</sup> Son aquellas posiciones del escenario para las cuales se realiza el proceso de predicción.

<sup>29</sup> El esquema 1 no permite encontrar todos los valores en la región interpolada, por lo cual existen puntos del plano en los que se es imposible contrastar.

selección 1 fue rechazado. La considerable disminución en el error encontrada al realizar la interpolación con RBF sobre el esquema de selección 3 determina el tipo de interpolación a utilizar y la distribución de los puntos de predicción en cada sala.

**Figura 25. Esquema de interpolación seleccionado**

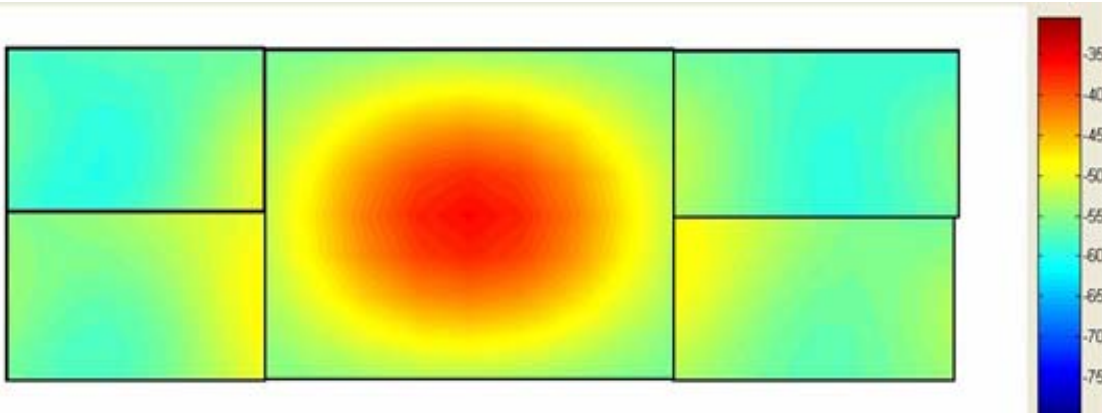


Diseño de los autores

### 2.1.7 Visualización

Por medio de la interfaz gráfica de la herramienta software desarrollada, se muestra la distribución de potencia para el escenario de predicción analizado. La visualización se representa a través de una presentación de colores que indican el nivel de RSSI, apoyado por una escala de valores, tal como se muestra en la figura 26.

Figura 26. Visualización de la distribución de potencia en un escenario de predicción



Diseño de los autores

### 3. VALIDACIÓN DEL MODELO

En este capítulo se propone una metodología para el registro del RSSI, al interior de edificaciones donde se encuentre implementada una WLAN, en la cual se definen unas consideraciones generales como la disposición de los dispositivos de red, elección del número y distribución de puntos de medida, identificación y caracterización de los obstáculos presentes al interior del escenario analizado.

A su vez se plantea un esquema para la validación de los resultados obtenidos al realizar la predicción del RSSI utilizando el modelo explicado en el capítulo anterior, que consiste en comparar los valores simulados con los datos obtenidos al aplicar la metodología de registro en diferentes escenarios: Este proceso se realizó inicialmente en el edificio de Alta Tensión de la Universidad de Santander así mismo se extendió el análisis a otras edificaciones, las cuales poseían variantes en su composición, arquitectura y/o ubicación de los dispositivos de red, con el fin de determinar la influencia ejercida por estos parámetros en la propagación de las ondas RF.

Por otra parte, se desarrolló en MATLAB 7.0 una herramienta software denominada OPENWireless para la predicción del RSSI, en ambientes indoor con el fin de facilitar el proceso de validación del modelo. Esta herramienta cuenta con una interfaz gráfica que le permite al usuario, construir la edificación sobre la cual se va a realizar la predicción como una combinación de formas rectangulares de dimensiones reales, divisiones y obstáculos de diversos materiales; ubicar el AP y obtener una distribución de potencia sobre dicho escenario.

### **3.1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL REGISTRO DEL RSSI**

#### **3.1.1 Consideraciones generales**

Para garantizar uniformidad durante toda la campaña de medición, se tomaron las siguientes consideraciones:

1. Existencia del menor número de personas posibles en el escenario.
2. Permanencia de puertas cerradas para considerar las pérdidas de transmisión a través de ellas.
3. Conservación de la posición y altura del AP.
4. Preservación de la altura de la tarjeta cliente en todos los puntos de medida.

El AP se ubicó en una de las salas o corredores que componen la edificación a modelar, a una altura del piso superior a la de los objetos que se encuentren al interior del recinto (equipos de cómputo y de oficina), para evitar una atenuación adicional de la señal, causada por esta obstrucción. El dispositivo cliente se posicionó en una región comprendida entre la altura del AP y la referencia dada por los objetos de la sala.

El número y distribución de los puntos de registro se hizo aleatorio para evitar sesgar la muestra extraída de todas las posiciones de lectura y los valores registrados son consignados en tablas para su posterior consulta. Para efectos prácticos, la cobertura de la red se expresa en m.

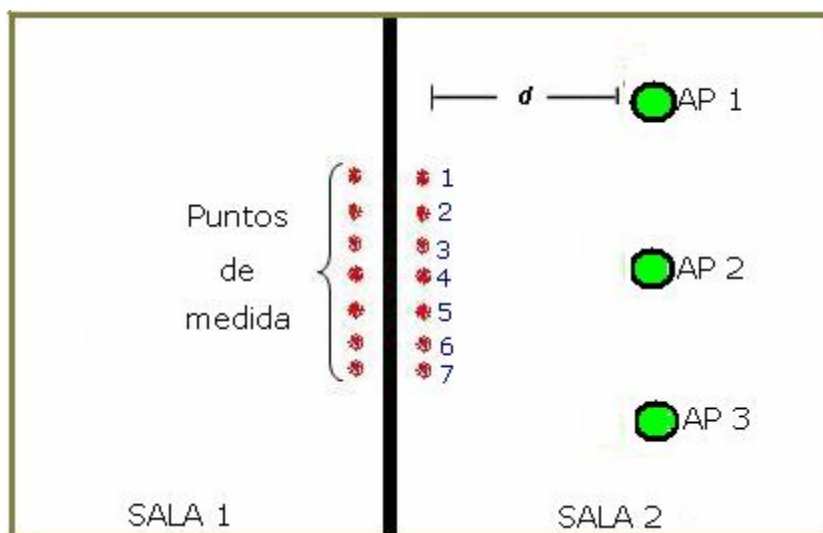
#### **3.1.2 Esquema para la caracterización de los materiales de construcción**

Es importante identificar los materiales de construcción presentes en el escenario, ya que la atenuación causada por estas estructuras varía según sea el tipo de

material que lo componga. Para obtener una aproximación de la disipación de potencia generada en las ondas transmitidas al atravesar los diversos obstáculos de la edificación y contrastarlos con los valores consignados en la literatura<sup>30</sup>, se plantea la realización de un esquema para la caracterización de los materiales presentes en todos los escenarios sobre los cuales se realiza la predicción del RSSI. Este esquema puede ser utilizado para cualquier tipo de material. Los materiales caracterizados en este trabajo fueron: mampostería en ladrillo y madera.

Para asegurar independencia entre el nivel de RSSI registrado y la ubicación del punto de acceso, se sugiere manejar dos o más ubicaciones del AP al interior de una de las salas tal como lo muestra la figura 27. La altura del AP y la tarjeta cliente se mantuvo en los valores trabajados durante la campaña de registro del RSSI.

**Figura 27. Esquema para la caracterización de los materiales de construcción (caso mampostería de ladrillo)**



Diseño de los autores

La distancia de separación entre el punto de acceso y el objeto a caracterizar,  $d$ ,

<sup>30</sup> Ver tabla 2. Capítulo 2.

debe ser superior a la distancia de campo lejano o región de Fraunhofer<sup>31</sup>,  $d_f$ , calculada según la ecuación 8,

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2D^2 f}{c} \quad (8)$$

donde:

D = Longitud de la antena.

$\lambda$  = Longitud de onda de la señal.

f = Frecuencia de Operación.

c = Velocidad de la Luz

Para el AP utilizado, operando en 802.11b, la distancia de campo lejano calculada fue:

$$d_f = \frac{2(0.15)^2 * 2.4 * 10^9}{3 * 10^8} = 0.36m$$

Por lo que el AP se colocó a una distancia mayor de 0.40 m del objeto a caracterizar.

Para dar cobertura a toda la sala, las ubicaciones del punto de acceso son equidistantes entre sí y a su vez de las estructuras que delimitan la sala. El registro del RSSI debe realizarse de lado y lado del objeto a caracterizar, tomando para ello una porción de longitud considerable (aproximadamente del 30% del objeto a caracterizar, o superior a ésta si la longitud para el análisis no supera el 1.5 m), partiendo del supuesto que las características presentes en esta fracción se mantienen en todo el obstáculo.

---

<sup>31</sup> Región del campo en la que el flujo de energía de una antena procede, esencialmente, como si lo hiciese desde una fuente puntual situada en la proximidad de la antena.

En cuanto a los puntos de medida estos se distancian entre sí 0.50 m, y su distancia con la estructura debe ser pequeña pero no inferior a la longitud de onda (12 cm para la banda de frecuencia de 2.4GHz) para evitar distorsión en la medida.

La atenuación asociada al material en un punto determinado de lectura se define como la diferencia en el nivel de RSSI registrado de lado y lado del obstáculo en esa posición. El valor medio de todos los puntos de medida representa la disminución de señal ocasionada por este material durante la propagación de las ondas RF.

El esquema de caracterización se aplicó para dos materiales de construcción: mampostería en ladrillo y madera, que están presentes en las paredes y puertas de dos edificaciones al interior de la Universidad Industrial de Santander, Edificio de Alta Tensión y el Edificio de Pesados. En cada uno de estos escenarios se tomó una fracción de tres metros en el caso de las paredes para realizar el registro de RSSI, distancia en la cual se distribuyeron las siete posiciones de medida. Se plantearon tres posiciones de AP ubicadas tal como lo muestra la figura 27. Los valores de atenuación asociados a este tipo de material están consignados en la tabla 6.

**Tabla 6. Resultados caracterización de mampostería en ladrillo**

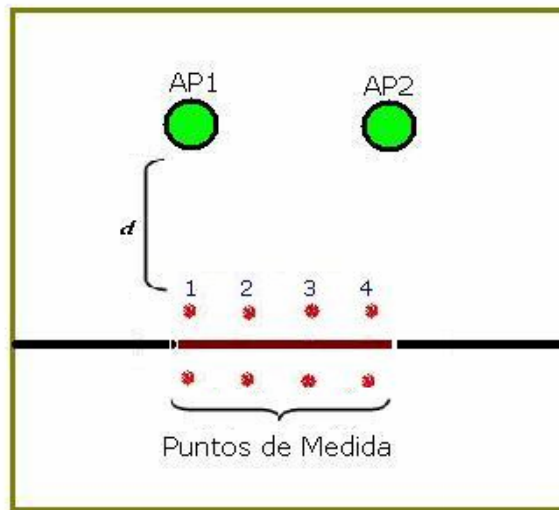
PUNTO DE MEDIDA	ATENUACIÓN [dB]					
	Edificio de Alta Tensión			Edificio de Pesados		
	AP1	AP2	AP3	AP1	AP2	AP3
<b>1</b>	6	6	7	5	6	5
<b>2</b>	6	7	6	6	5	6
<b>3</b>	5	8	4	6	6	7
<b>4</b>	6	6	6	6	4	7
<b>5</b>	4	6	9	5	5	7
<b>6</b>	4	5	5	6	5	5
<b>7</b>	6	6	6	5	5	6
<b>VALOR MEDIO</b>	<b>6</b>			<b>6</b>		

Diseño de los autores

Este esquema se aplicó a su vez para caracterizar las puertas de madera presentes

en los dos edificios. Debido a la longitud de los objetos, la distribución de los puntos de medida se realizó sobre toda la puerta y únicamente se registraron dos posiciones de AP, una en cada extremo, figura 28.

**Figura 28. Esquema para la caracterización de los materiales de construcción (caso puertas de madera)**



Diseño de los autores

Los resultados de caracterizar las puertas de 1.5 m y 1 m de largo respectivamente, de los edificios de Alta tensión y de Pesados, se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Resultados caracterización de la madera**

PUNTO DE MEDIDA	ATENUACION [dB]			
	Edificio de Alta Tensión		Edificio de Pesados	
	AP1	AP2	AP1	AP2
1	3	4	3	3
2	3	3	4	3
3	4	3	3	3
4	2	3	---	---
<b>VALOR MEDIO</b>	<b>3</b>		<b>3</b>	

Diseño de los autores

Al comparar los valores de atenuación obtenidos al caracterizar las paredes y puertas de las dos edificaciones, tablas 6 y 7, con los propuestos por la literatura<sup>32</sup>, se encontró una marcada diferencia en la definición de las pérdidas para este tipo de estructuras, razón por la cual los valores utilizados por el modelo para la predicción del RSSI corresponden a los encontrados al aplicar el esquema de caracterización propuesto.

### **3.2 HERRAMIENTA SOFTWARE OPENWireless**

La herramienta software OPENWireless ofrece una interfaz gráfica que le permite al encargado de la planeación de la red, construir un escenario como una composición de objetos (cuartos y corredores) con dimensiones reales, ubicar los elementos de la red (AP) y obtener la distribución de potencia sobre el plano, utilizando el modelo de predicción explicado en el capítulo 2. Es posible añadir elementos diferentes a las estructuras principales (muros) como puertas, ventanas, falsas divisiones entre otras, especificando el tipo de material de construcción de cada una de ellas.

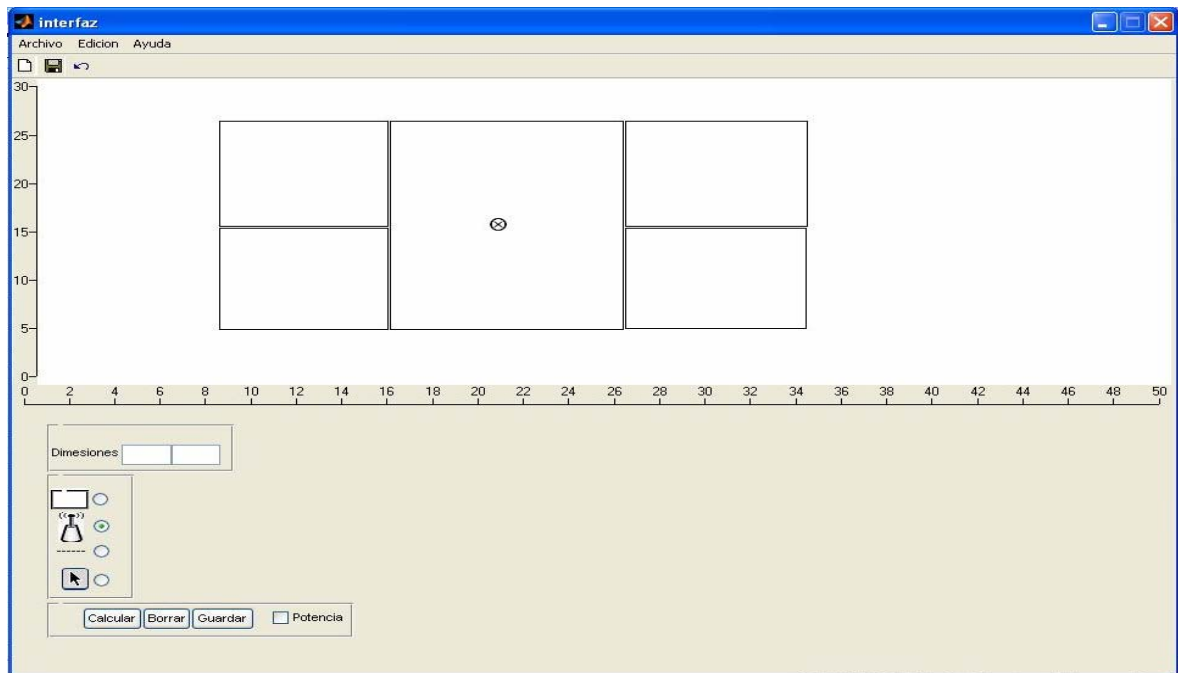
Cada objeto dentro de la herramienta tiene asociadas diferentes propiedades, las cuales pueden ser modificadas para obtener una predicción acertada. Los cuartos, por ejemplo, tienen asociados un tipo de material que se traduce en una pérdida por transmisión a través de éste (el valor de atenuación asociado a cada material está almacenado en el programa y es el resultado de aplicar una metodología de caracterización en diversos escenarios, sección 3.1.2).

La herramienta visualiza los resultados obtenidos al realizar la interpolación de los valores de RSSI para los nueve puntos de predicción en cada una de las salas, como una distribución de potencia sobre el escenario que previamente fue diseñado, figura 29.

---

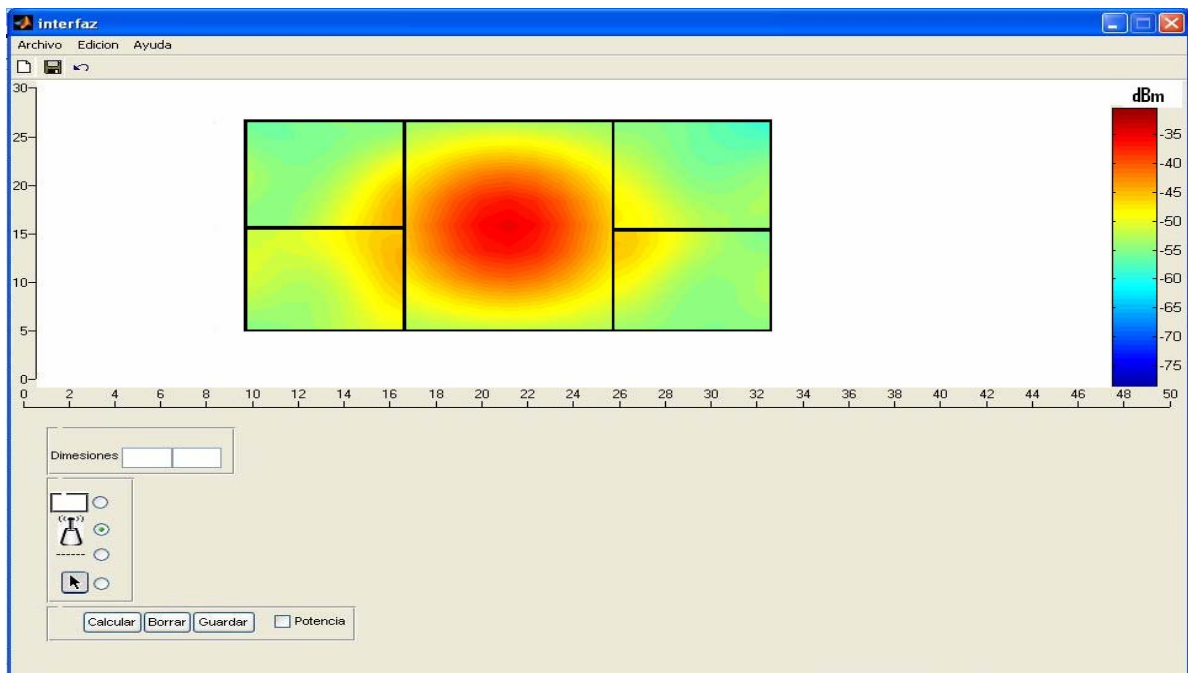
<sup>32</sup> Ver tabla 2 del capítulo 2.

Figura 29. Construcción de un plano en la herramienta OPENWireless



Diseño de los autores

Figura 30. Distribución de potencia generada por la herramienta OPENWIRELESS



Diseño de los autores

### **3.3 ESQUEMA DE VALIDACIÓN DEL MODELO**

Una vez se tiene la base de datos proveniente de la campaña de registro del RSSI en los diferentes escenarios, se determina el valor simulado por el modelo correspondiente a las mismas posiciones. Para determinar la exactitud obtenida en la predicción se calculan las variables estadísticas de error medio tanto en dB como en porcentaje (tendencia central de las medidas), la desviación estándar (alejamiento de los valores del valor medio calculado) y la cota superior para el error absoluto (error más alto calculado).

La campaña de registro de RSSI se adelantó en los edificios de Alta Tensión y en el de Pesados de la Universidad Industrial de Santander. Posteriormente se modificó la posición del AP al interior del Edificio de Alta Tensión, siendo considerado como un tercer escenario.

#### **3.3.1 Validación del modelo en el Edificio de Alta Tensión**

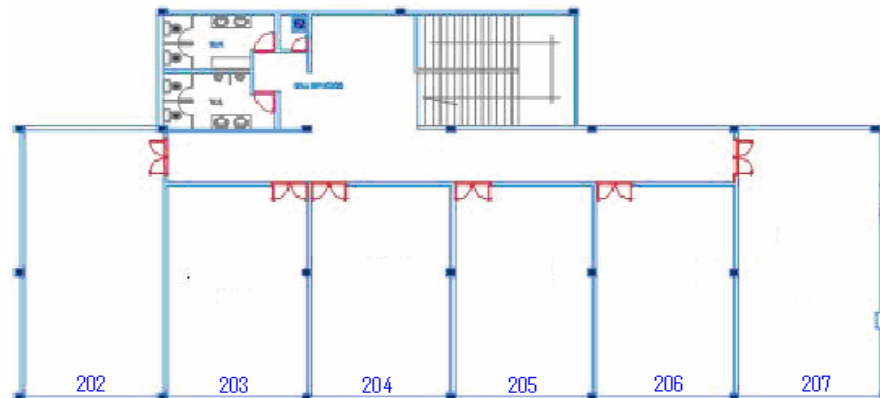
El segundo nivel del Edificio de Alta Tensión de la Universidad Industrial de Santander, está compuesto por seis salas con las dimensiones mostradas en la figura 31 y un corredor que las comunica. Las estructuras arquitectónicas presentes en el escenario son paredes de mampostería en ladrillo y puertas de madera. Sobre todo este escenario se adelantó una campaña de medición del RSSI, según lo enunciado en el numeral 3.1.

El AP<sup>33</sup> fue ubicado al interior de la sala 202, tal como lo indica la figura 32, a una altura de 1.38 m.

---

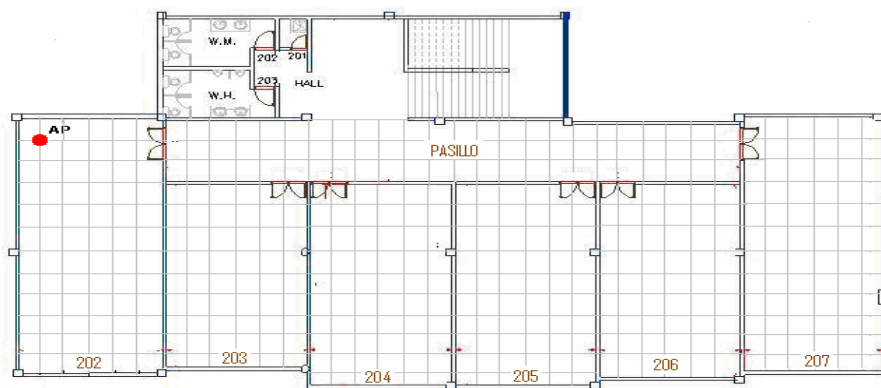
<sup>33</sup> Las especificaciones técnicas de los equipos utilizados se presentan en el anexo 3.

**Figura 31. Plano del edificio de Alta Tensión**



Diseño de los autores

**Figura 32. Ubicación del AP en el edificio de Alta Tensión**

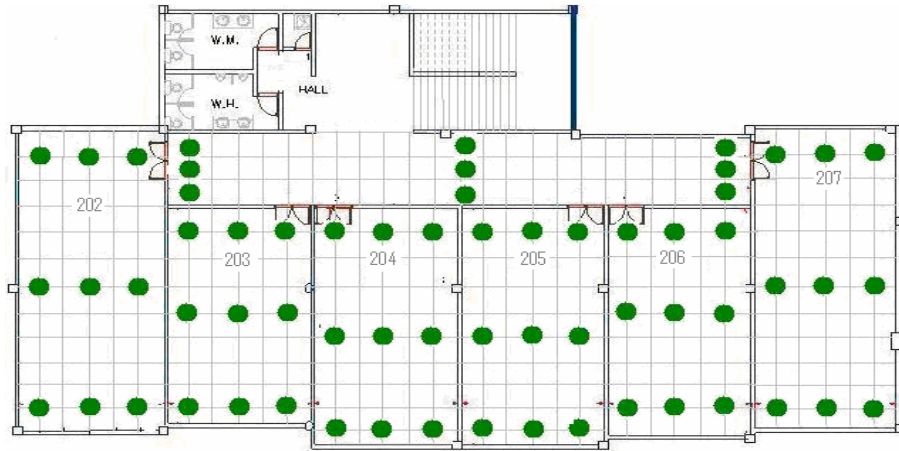


Diseño de los autores

Los nueve puntos sobre los cuales el modelo realiza la predicción de RSSI en cada una de las salas y el corredor se muestran en la figura 33.

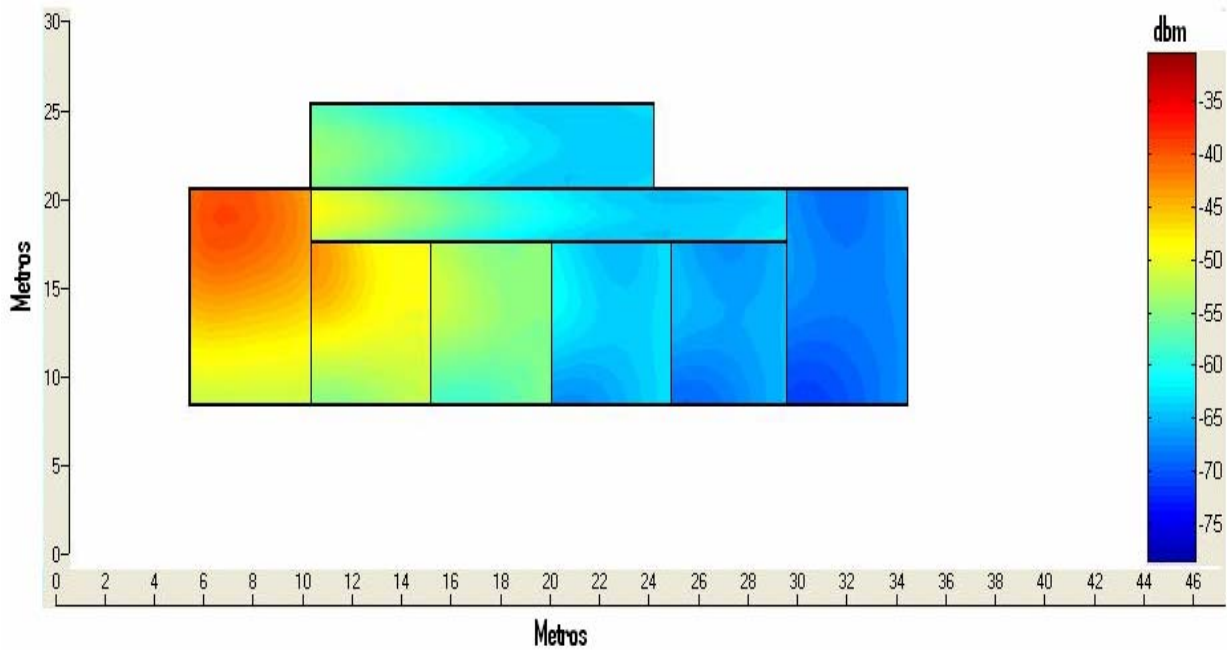
A partir de la interpolación de estos valores es posible obtener la distribución de potencia sobre todo el escenario. Figura 34.

**Figura 33. Ubicación de puntos de predicción en el edificio de Alta Tensión**



Diseño de los autores

**Figura 34. Distribución de potencia en el edificio de Alta Tensión**

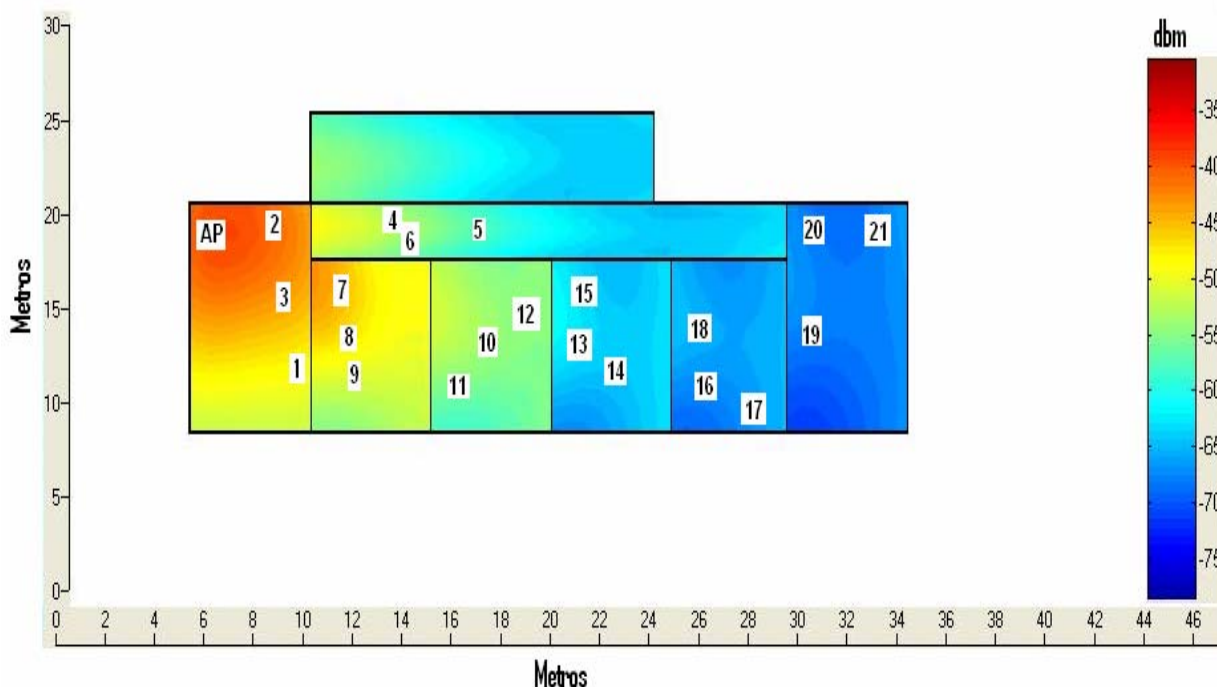


Diseño de los autores

Para obtener los datos de validación, la tarjeta cliente se trasladó a cada una de las posiciones de medida de RSSI seleccionadas aleatoriamente en cada una de las salas, tres por cuarto, distribuidas como lo muestra la figura 35. Durante el registro

de RSSI la altura de la tarjeta se mantuvo en 0.76 m. La lectura de RSSI se realizó con una herramienta propietaria de supervisión<sup>34</sup> de la tarjeta, cuya sensibilidad es de 1 dBm.

**Figura 35. Distribución de puntos de validación en el edificio de Alta Tensión**



Diseño de los autores

Los errores medios (dB), máximos errores y desviación estándar encontrados al contrastarlos con los valores arrojados por el modelo de predicción con la base de datos proveniente de la campaña de medición, se consignan en la tabla 8.

**Tabla 8. Resultados de la predicción del RSSI en el edificio de Alta Tensión**

SALA	PUNTO	RSSI SIMULADO [dBm]	RSSI REGISTRADO [dBm]	ERROR ABSOLUTO [dB]	ERROR %
202	1	-50	-43	7	14
	2	-43	-38	5	11.62

<sup>34</sup> El programa ORINOCO Client Manager es una herramienta software de tipo propietaria que permite configurar y evaluar la calidad de la conexión a una red inalámbrica.

	3	-46	-44	2	4.34
<b>PASILLO</b>	4	-50	-47	3	6
	5	-56	-49	7	12.5
	6	-53	-53	0	0
<b>203</b>	7	-46	-53	7	15.21
	8	-49	-50	1	2.04
	9	-52	-49	3	5.76
<b>204</b>	10	-56	-58	2	3.57
	11	-57	-58	1	1.75
	12	-56	-56	0	0
<b>205</b>	13	-58	-64	6	10.34
	14	-59	-65	6	10.16
	15	-59	-64	5	8.47
<b>206</b>	16	-69	-74	5	7.24
	17	-69	-72	3	4.34
	18	-67	-75	8	11.94
<b>207</b>	19	-73	-75	2	2.73
	20	-73	-63	10	13.69
	21	-73	-63	10	13.69

Diseño de los autores

**Tabla 9. Resultados generales de la predicción de RSSI en el edificio de Alta Tensión**

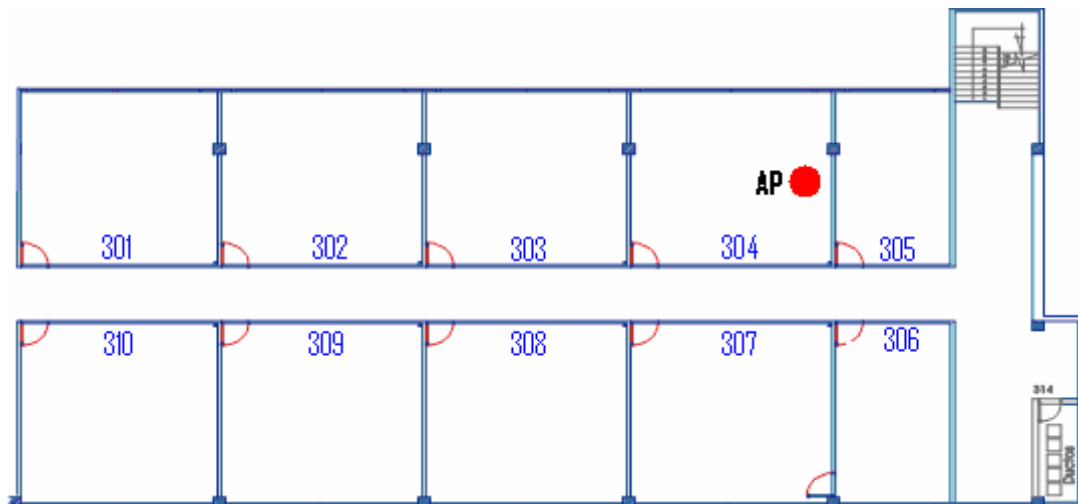
<b>SALON</b>	<b>ERROR MEDIO ABSOLUTO [dB]</b>	<b>ERROR MEDIO ABSOLUTO %</b>	<b>DESVIACION ESTÁNDAR [dB]</b>	<b>ERROR MÁXIMO [dB]</b>
<b>202</b>	5	9.98	2.51	7
<b>PASILLO</b>	3	6.16	3.51	7
<b>203</b>	4	7.67	3.05	7
<b>204</b>	1	1.77	1.00	2
<b>205</b>	6	9.65	0.57	6
<b>206</b>	5	7.84	2.51	8
<b>207</b>	7	10.03	4.62	10
<b>EDIFICIO TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>6.46</b>	<b>3.05</b>	<b>10</b>

Diseño de los autores

### 3.3.2 Validación del modelo en el Edificio de Pesados

Para determinar el nivel de transportabilidad del modelo de predicción, se seleccionó un escenario con características disímiles a las presentes en el edificio de Alta Tensión. El tercer piso del Edificio de Pesados (Ingeniería de Sistemas) está compuesto por 7 salas, distribuidas a lado y lado de un corredor, tal como se muestra en la figura 36. Todas las salas tienen iguales dimensiones, 7 m de ancho x 7 m de largo. La edificación está compuesta por muros de mampostería, puertas de madera y divisiones de vidrio. El AP es ubicado en la sala 304.

Figura 36. Plano del Edificio de Pesados



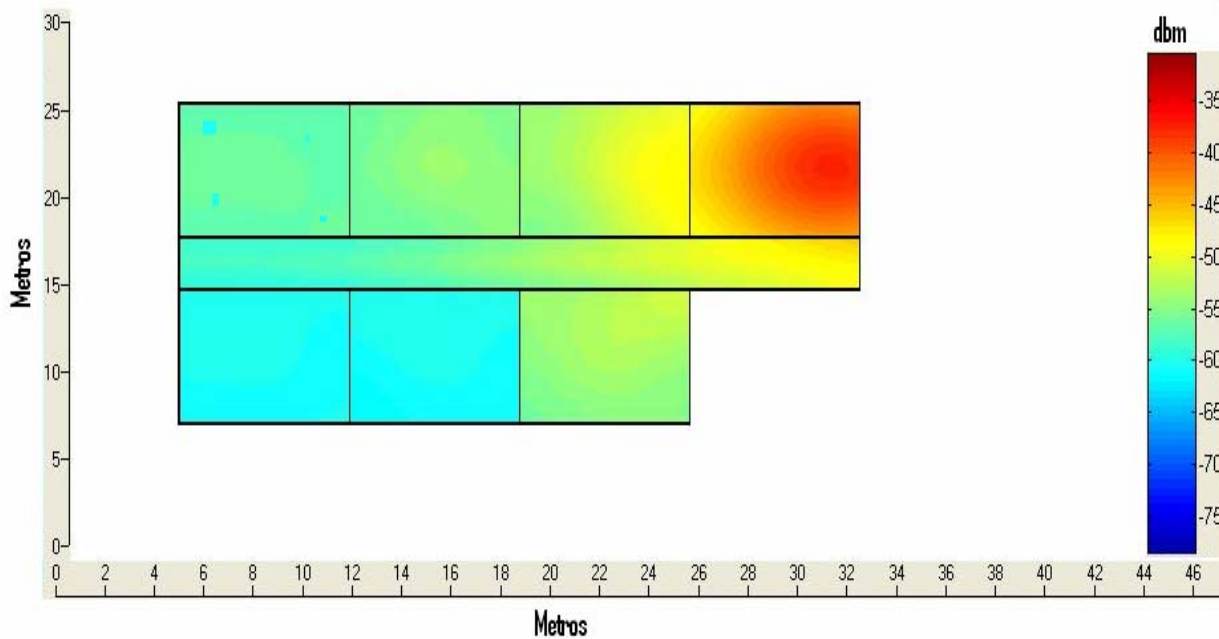
Diseño de los autores

Los salones 305, 306 y 307, no se incluyen en el análisis debido a que el acceso a ellos para adelantar las campañas de medición, estaba restringido.

La distribución de potencia simulada por el modelo para el edificio de Pesados se muestra en la figura 37.

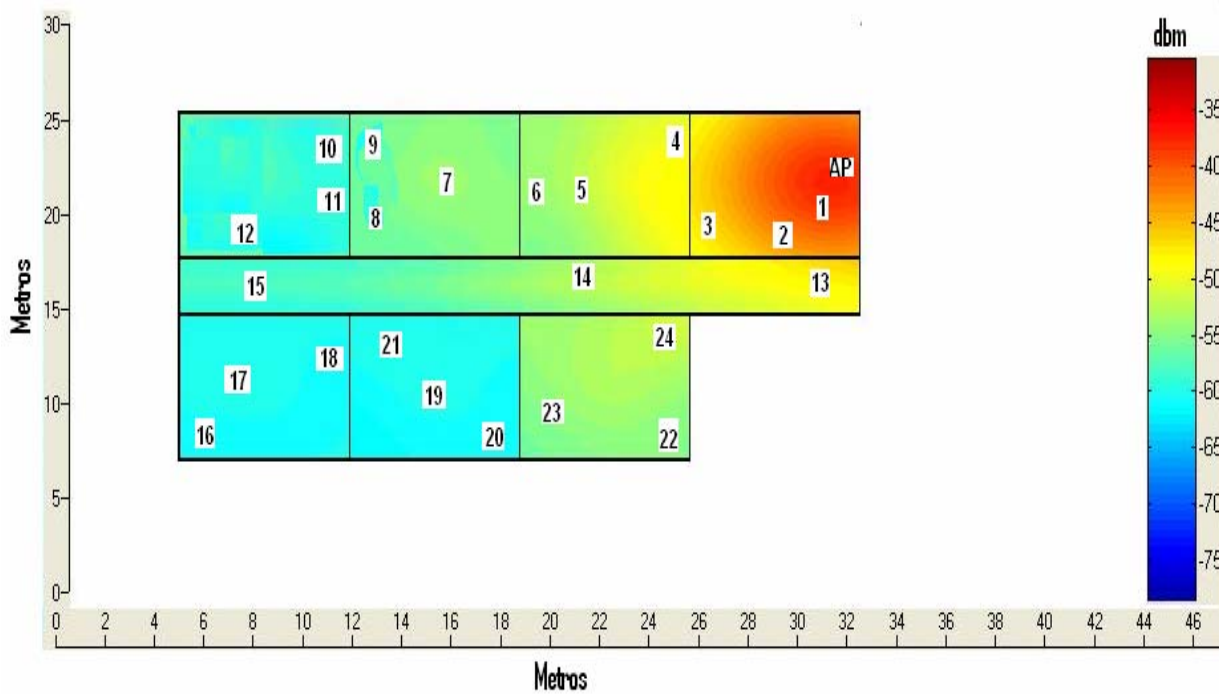
Las posiciones seleccionadas para realizar la campaña de registro de RSSI y la validación del modelo en este edificio, se muestran en la figura 38.

Figura 37. Distribución de potencias en el Edificio de Pesados



Diseño de los autores

Figura 38. Distribución de puntos de validación en el edificio de Pesados



Diseño de los autores

Estos datos se comparan con los valores de RSSI predichos para estas posiciones para determinar la exactitud del modelo en este escenario. Los valores de error medio, desviación estándar y máximo error por sala se muestran en las tablas 10 y 11.

**Tabla 10. Resultados de la predicción del RSSI en el Edificio de Pesados**

SALA	PUNTO	RSSI SIMULADO [dBm]	RSSI REGISTRADO [dBm]	ERROR [dB]	ERROR %
304	1	-39	-34	5	12.82
	2	-42	-38	4	9.52
	3	-46	-39	7	15.21
303	4	-49	-53	4	8.16
	5	-51	-52	1	1.96
	6	-53	-53	0	0
302	7	-59	-63	4	6.77
	8	-61	-64	3	4.91
	9	-61	-64	3	4.91
301	10	-62	-64	2	3.22
	11	-62	-64	2	3.22
	12	-62	-66	4	6.45
PASILLO	13	-48	-43	5	10.41
	14	-55	-58	3	5.45
	15	-58	-66	8	13.79
310	16	-62	-70	8	12.9
	17	-61	-70	9	14.75
	18	-62	-71	9	14.51
309	19	-60	-70	10	16.66
	20	-61	-70	9	14.75
	21	-60	-68	8	13.33
308	22	-54	-52	2	3.7
	23	-55	-55	0	0
	24	-51	-51	0	0

Diseño de los autores

**Tabla 11. Resultados generales de la predicción de RSSI en el Edificio de Pesados**

SALON	ERROR MEDIO	ERROR MEDIO	DESVIACION ESTÁNDAR	ERROR MÁXIMO
-------	-------------	-------------	---------------------	--------------

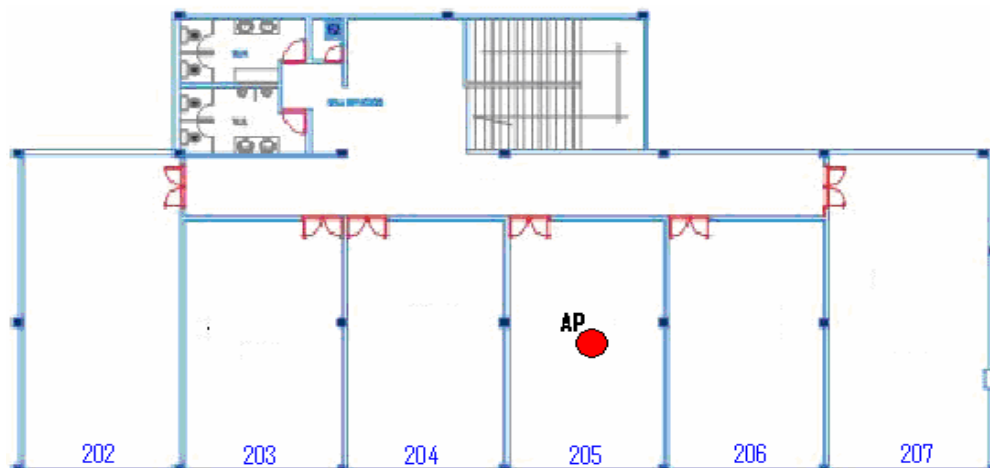
	[dB]	%	[dB]	[dB]
<b>304</b>	5	12.51	1.52	7
<b>303</b>	2	3.37	2.08	4
<b>302</b>	3	5.53	0.57	4
<b>301</b>	3	4.29	1.15	4
<b>PASILLO</b>	5	9.88	2.51	8
<b>310</b>	9	14.05	0.57	9
<b>309</b>	9	14.91	1	10
<b>308</b>	1	1.23	1.15	2
<b>EDIFICIO TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>8.22</b>	<b>3.18</b>	<b>10</b>

Diseño de los autores

### 3.3.3 Validación del modelo de predicción en el edificio de Alta Tensión para otra posición del AP

Considerando que las características del edificio de Alta Tensión mencionadas en el numeral 3.2.1, referentes a la composición y distribución de salas y los materiales de construcción presentes en el escenario permanecen invariantes y que el patrón de distribución debe modificarse al ubicar el AP en otro punto sobre el plano, se ubicó el AP en la sala 205 del edificio y se procedió a realizar la predicción de RSSI.

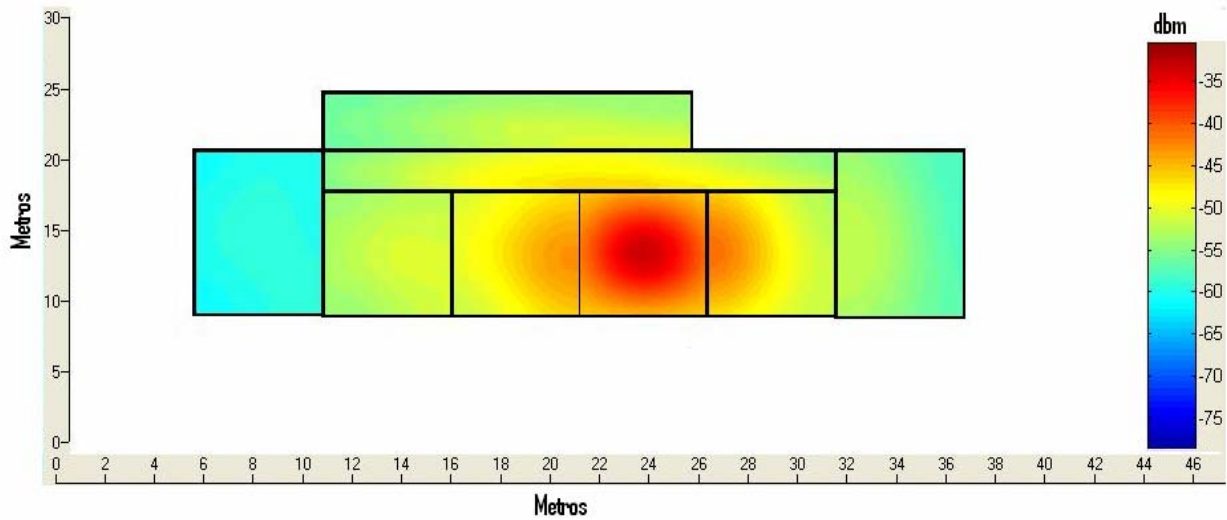
Figura 39. Ubicación del AP en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP



Diseño de los autores

La distribución de potencia sobre el escenario se muestra en la figura 40.

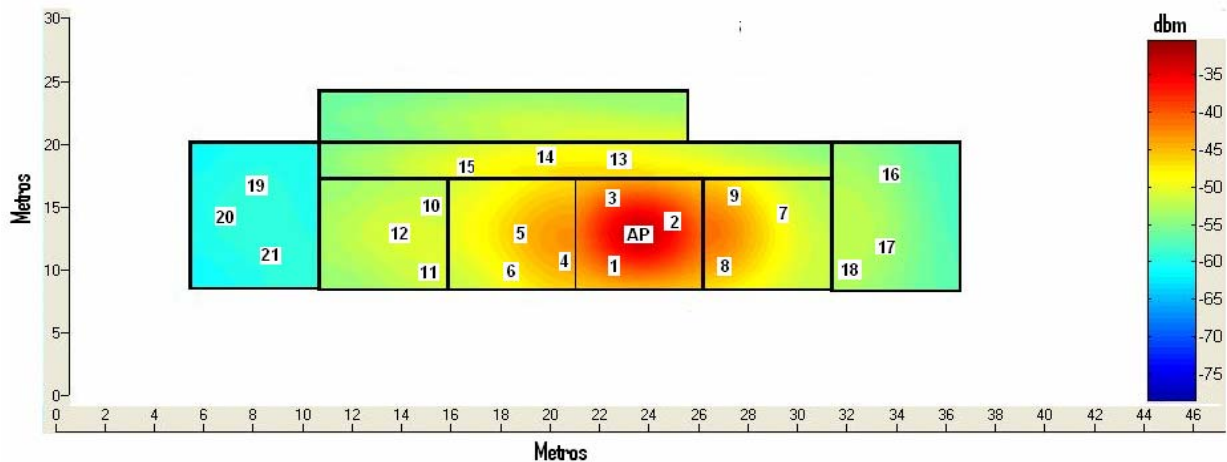
**Figura 40. Distribución de potencia en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP**



Diseño de los autores

En la figura 41 se muestran los puntos aleatorios en los cuales se realizará el registro de potencia para la validación.

**Figura 41. Distribución de puntos de validación en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP**



Diseño de los autores

Las variables estadísticas obtenidas al contrastar los valores de la predicción con los experimentales (campañas de medición) por salas se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12. Resultados de la predicción del RSSI en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP**

SALA	PUNTO	RSSI SIMULADO [dBm]	RSSI REGISTRADO [dBm]	ERROR [dB]	ERROR %
205	1	-39	-36	3	7.69
	2	-41	-39	2	4.87
	3	-38	-39	1	2.63
204	4	-46	-46	0	0
	5	-46	-45	1	2.17
	6	-50	-55	5	10
206	7	-51	-51	0	0
	8	-45	-46	1	2.22
	9	-50	-51	1	2
203	10	-52	-55	3	5.76
	11	-54	-58	4	7.40
	12	-53	-55	2	3.77
PASILLO	13	-51	-54	3	5.88
	14	-52	-56	4	7.69
	15	-54	-57	3	5.55
207	16	-57	-58	1	1.75
	17	-56	-59	3	5.35
	18	-55	-56	1	1.81
202	19	-59	-65	6	10.16
	20	-60	-66	6	10
	21	-60	-64	4	6.66

Diseño de los autores

**Tabla 13. Resultados generales de la predicción de RSSI en el edificio de Alta Tensión con posición alternativa del AP**

SALON	ERROR MEDIO [dB]	ERROR MEDIO %	DESVIACION ESTÁNDAR [dB]	ERROR MÁXIMO [dB]
205	2	5.06	1	3
204	2	4.05	2.64	5
206	1	1.40	0.57	1
203	3	5.64	1	4

<b>PASILLO</b>	3	6.37	0.57	4
<b>207</b>	2	2.97	1.15	3
<b>202</b>	5	8.94	1.15	6
<b>EDIFICIO TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>4.91</b>	<b>1.80</b>	<b>6</b>

Diseño de los autores

Analizando los valores contenidos en la tablas 9, 11 y 13 es posible determinar que los errores más altos se obtienen en los salones más distanciados del AP, por lo que se determina que la exactitud en la predicción está limitada por la distancia de separación entre el AP y el punto receptor.

La disminución en el nivel de potencia es menos drástico. A medida que se incrementa la distancia (el cambio de los primeros salones es de casi 10 dB en cambio en los últimos está cerca de los 3 dB) y obedece al comportamiento descrito por la ecuación de Friis, figura 3. En el pasillo el error medio calculado fue el más bajo de todo el escenario, producto del reducido número de reflexiones presentes durante la transmisión de las ondas, debido a la disposición y distancia de la separación de las paredes, las cuales forman un único camino de propagación, el cual concentra gran parte de la potencia de los rayos emitidos.

## 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo alternativo de predicción del RSSI en escenarios indoor, ambientes en los cuales la variabilidad y cobertura de la red están limitadas por la frecuencia de operación, la arquitectura del escenario, la existencia de obstáculos, los fenómenos de propagación (reflexión, difracción y dispersión) y los materiales de construcción presentes. La influencia de estos parámetros en la propagación de las ondas RF es mayor que en los ambientes outdoor lo cual se traduce como una disminución en la cobertura y una mayor variabilidad en las características de la red (escenario). A continuación se presentan las principales conclusiones recopiladas en el desarrollo de este trabajo:

- El eje central del modelo de predicción, radica en el desarrollo de una técnica llamada Distorsión-UIS, la cual simula la pérdida de potencia ocasionada en los obstáculos, que se encuentran en la trayectoria de transmisión de la onda, mediante un desplazamiento en distancia de los mismos; a partir de estos obstáculos se definen todas las posibles trayectorias de propagación desde el AP hacia la sala receptora, y posteriormente haciendo uso de un algoritmo de trayectoria más corta se determina el camino de transmisión como la trayectoria con la menor disipación de potencia.
- El modelo de predicción que se propone, es un modelo determinístico aproximado, que calcula el RSSI como la diferencia entre la potencia emitida por el AP y las pérdidas asociadas a la propagación. Estas pérdidas constituyen la disminución de la señal a lo largo del camino de propagación, y se definen a partir de la combinación de parámetros como la atenuación de señal en espacio

libre, la existencia de obstáculos en la trayectoria de transmisión y la disposición de estructuras reflectoras en el sitio receptor.

- Uno de los factores que tiene mayor influencia en la atenuación de la señal de propagación, es el material de construcción de las paredes. En el desarrollo de este trabajo se plantea un esquema para caracterizar los materiales de construcción que se encuentran usualmente en las edificaciones, tales como, madera y mampostería en ladrillo.
- Una de las etapas esenciales del modelo alternativo de predicción, es la elección de la ruta más corta, dado que la técnica sobre la que se fundamenta, simula la pérdida de potencia como un desplazamiento en distancia; por esto la ruta seleccionada representa el camino con menor atenuación de potencia y se constituye en la trayectoria de transmisión, a partir de la cual se realiza la predicción de RSSI. Se elige Dijkstra como el algoritmo encargado de efectuar esta etapa dentro del proceso, dado que sus características se ajustan a los requerimientos del modelo, además de su alta aplicabilidad en el campo de las comunicaciones.
- Para reducir la carga computacional durante el proceso de predicción, el nivel de RSSI se calcula sólo para ciertas posiciones en el escenario (puntos de predicción). A partir de la interpolación de estos valores se obtienen los niveles de potencia correspondientes a los puntos restantes dentro del escenario modelado. El número y distribución de los puntos de predicción al interior de cada sala o estructura cerrada se seleccionó teniendo en cuenta la precisión obtenida al contrastar los valores de potencia calculados por el modelo con los datos provenientes de las campañas de registro de RSSI llevadas a cabo en cada uno de los escenarios. La interpolación fue realizada con una red neuronal de base radial (RBF), la cual fue entrenada con datos provenientes de campañas de

medición realizadas en uno de los escenarios y simulada para los valores de potencia calculados por el modelo.

- El desarrollo de la herramienta software OPEN WIRELESS para la predicción de RSSI en escenarios indoor representa un aporte significativo para los profesionales encargados del diseño y planeación de WLANs. La interfaz gráfica permite al usuario construir el escenario a modelar a partir de la combinación de formas rectangulares con dimensiones reales, especificar el material de construcción utilizados, añadir estructuras menores (puertas, ventanas, divisiones), ubicar el AP y obtener la distribución de potencia sobre el escenario que previamente fue diseñado.
- Con el objetivo de determinar el nivel de transportabilidad del modelo, se realizó la predicción del RSSI en escenarios con características disímiles a las presentes en el edificio de Alta Tensión (base del estudio) en cuanto a estructura, distribución de salas y materiales de construcción presentes. El escenario seleccionado fue el tercer piso del Edificio de Pesados (Escuela de Ingeniería de Sistemas). Además, se realizó la predicción de RSSI en el edificio de Alta Tensión ubicando el AP en una sala diferente a la trabajada inicialmente.

En cuanto a los resultados de la etapa de validación, vale la pena destacar:

- Al contrastar los valores de potencia registrados en las campañas de medición con los datos calculados por el modelo de predicción, se encuentra que el error absoluto medio en los tres escenarios de validación no supera el 9%, lo cual confirma que la exactitud lograda es superior a la obtenida por trabajos similares desarrollados a nivel mundial. (En [6] el error obtenido fue de 10.64%).
- Los errores más pequeños se encontraron al predecir el nivel de RSSI en los corredores y pasillos de los escenarios, debido a la disposición y distancia de

separación de los muros, los cuales producen un único camino de propagación de las ondas. Este último aspecto reduce el número de reflexiones de los rayos, y concentra en esta ruta gran parte de la potencia de la señal transmitida.

- El cambio en el nivel de RSSI se hace menos drástico a medida que se incrementa la distancia de separación entre el AP y el punto receptor, con lo cual se corrobora el comportamiento descrito por la ecuación de espacio libre (ecuación de Friis), en la cual la potencia tiende a estabilizarse en un nivel dado a grandes distancias.
- Los resultados obtenidos con el modelo de predicción propuesto, son menos exactos en las salas que se encuentran más alejadas del AP. Una de las razones es que en el modelo no se consideran los objetos presentes al interior de las salas como equipos de cómputo, armarios metálicos y escritorios, entre otros que atenúan la señal. Otro de los factores que influye en esta imprecisión está representado por las pérdidas acumulativas generadas al asumir que las ondas se propagan por el escenario como un único rayo.
- Se observa que en la sala dónde se ubica el AP, la predicción de RSSI se encuentra por debajo del valor obtenido en las campañas de medición. Debido a que la potencia en esta sala se calcula teniendo en cuenta únicamente la pérdida de potencia en espacio libre, utilizando la regresión experimental, la cual se obtuvo haciendo mediciones en un campo abierto, ignorando las reflexiones que generan los obstáculos presentes en estos recintos y que influyen en la potencia que allí se registra.
- Una de las limitaciones que posee el modelo de predicción está representada en la implementación en 2D de los escenarios de predicción, en los cuales no es posible definir obstáculos que estén compuestos por más de un material, lo cual le resta precisión a los cálculos de RSSI, tal como sucedió en uno de los escenarios de validación en el cual se presentaban divisiones formadas por vidrio

y metal que no fueron incluidas en el análisis y que realmente influyen en la propagación de las ondas.

## 5. RECOMENDACIONES

En los últimos años ha aumentado el auge en la implementación de WLANs, paralelo a esto surge la necesidad de contar con herramientas de planeación, que permitan de manera eficiente determinar el número y la ubicación de los dispositivos que componen la red. El modelo de predicción propuesto, se constituye en un aporte significativo como herramienta previa a la etapa de planeación, así mismo origina nuevas líneas de trabajo e investigación, las cuales se detallan a continuación:

- Pese a la influencia que ejercen algunos factores en la determinación de RSSI en ambientes indoor, como el espesor de las estructuras y obstáculos que componen la edificación, estos no fueron considerados durante el proceso de predicción presentado; por lo cual se recomienda realizar un estudio de caracterización más detallado que determine la influencia de estos parámetros en la propagación de las ondas de radio al interior de recintos cerrados.
- Se recomienda realizar la caracterización de nuevos materiales de construcción presentes en las edificaciones, tales como, metal, vidrio, entre otros, esto con el fin de darle mayor versatilidad a la herramienta software, consiguiendo una predicción más ajustada a las características reales del escenario.
- Adicional a la reflexión, se debe considerar la difracción de las ondas que ocurre en las esquinas, con el fin para mejorar la predicción de RSSI en las salas que se encuentran más alejadas del AP.
- Los resultados obtenidos están sujetos a los dispositivos de red utilizados (AP y tarjetas cliente) se propone realizar modificaciones al modelo para lograr una

mayor (o total) independencia entre la predicción de RSSI y los equipos empleados.

Con relación a la herramienta software OPENWireless, se recomienda:

- Implementar la opción de importar archivos, planos ya elaborados de las edificaciones en las cuales se realizará la predicción de RSSI, desde formatos CAD, tales como dxf y dwg.
- Realizar la predicción de RSSI para dos ó más AP que se encuentren en un mismo escenario.
- Escoger las características del AP y de las tarjetas inalámbricas, tales como, estándar de operación, ganancia de la antena y sensibilidad.
- Implementar el modelo de predicción de RSSI para edificaciones en 3D.
- Considerar la arquitectura del cuarto como un aspecto importante dentro de la predicción, es decir, tener en cuenta los diferentes tipos de cuartos, adicional a la forma rectangular que se utilizó.
- Introducir obstáculos dentro del escenario, que permitan simular la atenuación en la señal, ocasionada por la presencia de diferentes objetos como armarios metálicos, equipos de cómputo y oficina, entre otros al interior de la edificación en la que se implementará la red.
- Con el fin de disminuir el error que lleva implícito el registro experimental de RSSI, se recomienda utilizar equipos de instrumentación especializados en el registro de RSSI que posean una sensibilidad mayor a las presentadas por la herramienta de supervisión utilizada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. Gualdrón, S. Pinzón, L. De Luque, I. Díaz, S. Vásquez. MODELO ALTERNATIVO PARA LA PREDICCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE SEÑAL RECIBIDA (RSSI) EN UNA RED INALÁMBRICA (WLAN 802.11b). Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señal – CPS – UIS. Diciembre de 2004.
- [2] TECNOLOGÍAS WIFI. BANDAS RADIOELÉCTRICAS SIN LICENCIA. Ministerio de Comunicaciones. Bogotá. Septiembre de 2003.
- [3] J.M. Keenan and A.J. Motely. "RADIO COVERAGE IN BUILDINGS". Vol 8, pp. 19-24, Jan.1990
- [4] T. Huschka. "RAY TRACING MODELS FOR INDOOR ENVIRONMENTS AND THEIR COMPUTATIONAL COMPLEXITY". IEEE 5<sup>th</sup> International Symposium on Personal, indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 486-490, Sept. 1994.
- [5] Theodore Rappaport. "WIRELESS COMMUNICATIONS: PRINCIPLES AND PRACTICE". Prentice Hall Publications.
- [6] CHEN, S-A; Lee, Y-H; YEN, R.Y; ZHENG, Y-J; KO, C-H; SHEU, S-T; CHEN, M-H. "OPTIMAL PREDICTION TOOL FOR WIRELESS LAN USING GENETIC ALGORITHM AND NEURAL NETWORK CONCEPT". Communications, 1999. APCC/OECC '99. Fifth Asia-Pacific Conference on and Fourth Optoelectronics and Communications Conference, Vol 1. Pág 786-789, 1999.
- [7] G. Wölfle and F.M. Landstorfer. "DOMINANT PATHS FOR THE FIELD STRENGTH PREDICTION". 48th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 1998, Ottawa, Ontario, Canada, May 1998, pp 552-556.

[8] G. Wölfle. "PROPAGATION MODELS FOR INDOOR RADIO NETWORK PLANNING INCLUDING TUNNELS". Millenmium Conference on Antennas & Propagation AP2000), Davos (Switzerland), 9-14 April 2000.

[9] Marcelo Najnudel. "ESTUDO DE PROPAGAÇÃO EM AMBIENTES FECHADOS PARA O PLANEJAMENTO DE WLANS". Río de Janeiro, Febrero de 2004.

[10] Algoritmo de Dijkstra.

[http://216.5.163.53/DirectX4VB/Tutorials/GeneralVB/GM\\_Dijkstra.asp](http://216.5.163.53/DirectX4VB/Tutorials/GeneralVB/GM_Dijkstra.asp)

[11] Algoritmo de Floyd.

<http://web.umn.edu/~meinert/emgt382/lec19.html>

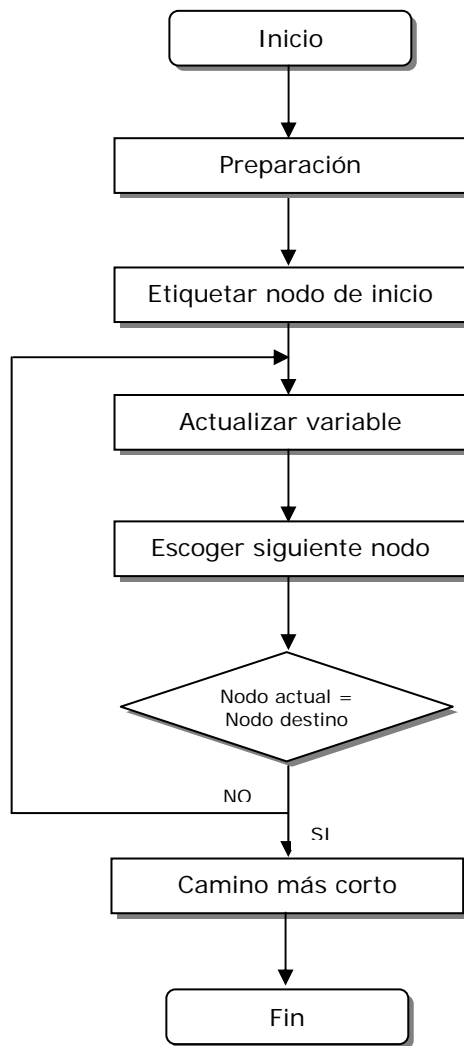
[12] DEMUTH, Howard. BEALE, Mark. "NEURAL NETWORK TOOLBOX. FOR USE WITH MATLAB". Section 6.3.

[13] "TUTORIAL DE REDES NEURONALES". Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Capítulo 1. Página 17.

## **ANEXO A. EL ALGORITMO DE DIJKSTRA**

Este algoritmo fue diseñado por el holandés Edsger Wybe Dijkstra en 1959. El algoritmo calcula el camino de costo mínimo de un nodo  $u$  a otro nodo  $v$ , como el camino donde la suma de los pesos de las trayectorias que lo forman es la más baja entre las de todos los caminos posibles de  $u$  a  $v$ . El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo eficiente cuyo fundamento se basa en el principio de optimización: si el camino más corto entre los vértices  $u$  y  $v$  pasa por el nodo  $w$ , entonces la parte del camino que va de  $w$  a  $v$  debe ser el camino más corto entre todos los caminos que van de  $w$  a  $v$ . De esta forma, se van construyendo sucesivamente los caminos de costo mínimo desde un nodo inicial hasta cada uno de los nodos del grafo, y se utilizan los caminos conseguidos como parte de los nuevos caminos.

**Figura A1. Diagrama de flujo de Dijkstra**



Cada una de las etapas que componen el diagrama de flujo del Algoritmo Dijkstra, se explican detalladamente, a continuación.

### **Preparación**

El algoritmo inicia con la creación de una tabla para el almacenamiento de los resultados obtenidos. Esta tabla está compuesta por los siguientes datos:

*Número de nodo:* En esta columna se encuentran enumerados todos los nodos, en este caso los nodos son los puntos reflectores.

*Número de visita:* Como su nombre lo indica, en esta columna se encuentra el orden en que han sido visitados los nodos.

*Distancia:* Corresponde a fijar la distancia que hay desde el nodo que está siendo analizado hacia cada uno de los nodos que están conectados a él.

*Temporal:* Esta variable se iguala al valor de la columna distancia y va siendo actualizada a medida que se va trazando la ruta.

### **Etiquetar vértice de inicio**

En esta etapa del algoritmo, se etiqueta el vértice de inicio así:

Distancia = 0

Número de visita = 1

Temporal = 0

### **Actualizar la variable temporal**

El proceso que se sigue en esta etapa, se describe así:

1. Se calcula la distancia que hay entre el nodo de inicio y los nodos conectados a él. Este valor se va almacenando en la tabla.
2. La variable temporal se actualiza con el valor de la columna distancia, a medida que se analiza un nodo dentro de la trayectoria, utilizando la siguiente fórmula:  
$$\text{Temporal} = \text{Distancia al nodo de inicio} + \text{Peso de la trayectoria.}$$
3. El siguiente nodo a visitar se elige con el valor de temporal más pequeño, en caso de existir dos ó más nodos con igual valor de la variable temporal, el algoritmo elige el último nodo que ha sido actualizado.

3. El nodo elegido se marca con el siguiente número de visita.
4. Si el nodo elegido no es el nodo de destino se vuelve a realizar el procedimiento anterior, teniendo en cuenta de visitar sólo aquellos nodos que no tengan número de visita.

### **Cálculo del camino más corto**

Al llegar al nodo destino, se inicia un nuevo proceso para calcular el camino más corto. Este cálculo se inicia desde el nodo de destino hacia el nodo de inicio, para esto se realizan los siguientes pasos:

1. Al valor de temporal del nodo de destino se le resta el valor de temporal de cada uno de los nodos que están conectados a él. Si este valor corresponde al peso de la trayectoria, se elige éste como el siguiente nodo.
2. El proceso se continúa hasta llegar al nodo de inicio.

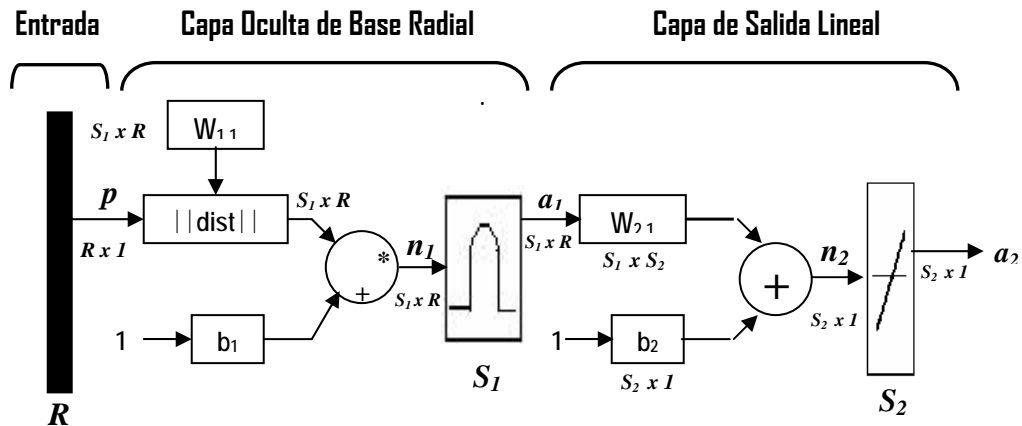
La ruta más corta se forma por todos aquellos nodos que en este proceso han sido visitados.

## ANEXO B. REDES DE BASE RADIAL

Las redes de base radial (RBF)<sup>35</sup> son redes neuronales frecuentemente utilizadas en la solución de problemas de clasificación de patrones, aproximación de datos y modelados de sistemas dinámicos, debido al menor consumo de tiempo computacional que requieren frente a otras topologías [11].

Las RBF son redes neuronales que están compuestas por dos capas: una capa oculta formada por neuronas de base radial y una capa de salida lineal, las cuales están determinadas por la función de transferencia que las neuronas deben sobrepasar para activarse, de base radial en la primera capa (radbas) y lineal en la capa de salida (purelin) [12].

Figura B1. Arquitectura de la red de base radial



<sup>35</sup> En el texto el término RBF hace referencia a las redes de base radial.

La capa oculta de base radial opera de la siguiente manera: los valores de entrada (P) son presentados a la red y comparados con los valores contenidos en el vector de pesos (W) (seleccionados de forma aleatoria), dicha operación está representado por el bloque  $||dist||$  o producto punto entre ellos, produciéndose un valor alto si las dos cantidades son cercanas o un valor casi nulo si se encuentran distanciadas; estos valores son multiplicados por el valor de ganancia,  $b_1$ . Este procedimiento es realizado elemento por elemento del arreglo de valores de entrada. El resultado es llevado a la función umbral de base radial (radbas), la cual está definida por la ecuación 9:

$$a = radbas(n) = e^{-n^2} \quad (9)$$

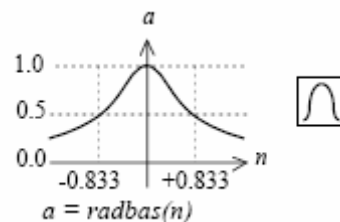
Donde:

$n$  = valores de entrada.

$a$  = Salida de la red.

La gráfica correspondiente a esta función es:

**Figura B2. Función de base radial**

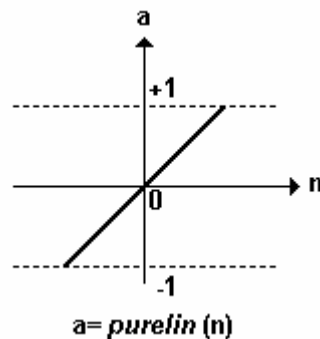


Tal como lo representa la figura B2, la función de base radial presenta un máximo cuando la entrada es 0, lo cual indica coincidencia entre el valor de entrada y el peso seleccionado, por lo cual, la cercanía entre los parámetros de entrada y los pesos de la red, calculada por el bloque  $||dist||$  implicarían valores significativos de salida. Para valores altos de separación entre los valores de entrada y el arreglo de

pesos no se producen salidas significativas en la función de transferencia de esta red.

La salida producida por la capa de base radial ( $a_1$ ), constituye la entrada para la capa de salida lineal la cual es reforzada por el valor de ganancia  $b_2$ . La salida del sumador constituye la salida neta de la red,  $n_2$ , la salida total de la red,  $a_2$ , está determinada por la función de transferencia lineal (purelin). La salida la función de transferencia lineal produce un valor igual al parámetro de entrada que le es presentado.

**Figura B3. Función lineal**



Las funciones de base radial, RBF, son muy utilizadas en problemas de aproximación de funciones. Proporcionando un determinado número de valores de entrada (P) y destino (T), es posible obtener una red con los pesos (W) y ganancias (b) necesarias para obtener exactamente los valores de salida T cuando se presentan los valores de entrada P. Utilizando en la capa de base radial tantas neuronas como valores de entrada hayan sido presentados. El número de neuronas de la capa lineal está determinado por la salida de la primera capa de la red, es decir, corresponde al número de neuronas que logran activar la función umbral de base radial.

Las funciones de base radial fijan una neurona en cada uno de los puntos

presentados como entradas ubicando el máximo valor de la función en dicho punto, los valores intermedios son calculados utilizando la definición de la función por lo cual es necesario seleccionar un valor adecuado de expansión de la red, SPREAD, para dar una mayor cobertura a dichas regiones. Es decir, si se fija un valor demasiado pequeño de SPREAD, las regiones ubicadas entre los parámetros de entrada pueden no ser alcanzadas por las funciones radiales, restando precisión a la predicción.

En MATLAB es posible diseñar una red de base radial a través de las funciones incluidas en el Toolbox de Redes Neuronales. Utilizando el comando *newrbe* y proporcionando como valores de entradas las posiciones de los nueve puntos de predicción seleccionados por sala (P), como valores de destino (T) las potencias asociadas a dichas posiciones y un factor de expansión de la red suficientemente alto, se obtuvo una red (nnet) con valores de pesos y ganancias necesarias para obtener un error cero en la predicción de los puntos seleccionados.

$$nnet=newrbe(P,T,SPREAD)$$

Posteriormente se simuló las posiciones restantes (x,y) al interior de la sala con el comando *sim*.

$$A=sim(nnet, [x;y])$$

Los valores de RSSI obtenidos (Matriz A) corresponden a la distribución de potencia sobre la sala definida por las posiciones contenidas en los vectores x y y que es visualizada por la herramienta OPENWireless.

## **ANEXO C. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS**

A continuación se listan las especificaciones y referencias de los equipos y la herramienta propietaria utilizados en la campaña de registro de RSSI de una WLAN en la Universidad Industrial de Santander.

### **1. PUNTO DE ACCESO**

El AP utilizado en las campañas de registro de RSSI fue el DLINK *AirPlus G+* DWL-2000AP+, el cual es un dispositivo de alto desempeño operando bajo el estándar 802.11g. Figura C1.

**Figura C1. Access Point DLINK *AirPlus G+* DWL-2000AP+**



Este dispositivo cuenta con las siguientes características:

- Capacidad de operación en uno de los siguientes modos de funcionamiento: Punto de acceso (Utilizado para crear una WLAN), Puente Punto a Punto (Conectando dos WLAN próximas, utilizando para ello otro DWL-2000AP+), Puente Punto a Multipunto (Conectando múltiples WLANs), Modo Cliente

(transformando cualquier dispositivo IEEE 802.3 Ethernet, computador o impresora, en un dispositivo cliente inalámbrico 802.11b) o repetidor (extendiendo el rango de cobertura de la WLAN).

- Mayor velocidad de transferencia de datos (hasta 8x), comparado con el estándar 802.11b al utilizar otros productos D-Link *AirPlus G+*.
- Compatibilidad con productos que operan en 802.11b, sacrificando velocidad, operando a 11 Mbps, para mantener la conectividad en toda la red al utilizar tanto dispositivos 802.11b como 802.11g.
- Incorporación de una nueva característica de seguridad, Wi-Fi Protected Access, WPA, la cual autoriza e identifica a los usuarios de la red basada en una clave secreta que es cambiada automáticamente a intervalos regulares de paquetes, utilizando para ello TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) el cual cambia la clave temporal cada 10000 paquetes, presentándose un incremento en el nivel de seguridad comparado con el ofrecido por el Estándar WEP (en el cual las claves deben ser cambiadas manualmente).
- Operación en el rango de frecuencia de 2.4 GHz, utilizando tecnología OFDM.
- Posee una interfaz WEB para configuración y manejo del dispositivo.

En la tabla 12, se listan las especificaciones técnicas del AP.

**Tabla C1. Características generales del punto de acceso**

<b>Estándares</b>	IEEE 802.11g IEEE 802.11 IEEE 802.11b IEEE 802.3
-------------------	---

	IEEE 802.3u
<b>Dispositivos de gestión y configuración</b>	Servidor y Cliente DHCP Interfaz Web.
<b>Cobertura</b>	Indoor (Hasta 100 m) Outdoors (Hasta 400 m)
<b>Temperatura</b>	Operación: 0 C a 55 C. Almacenamiento: -20 C a 75 C.
<b>Humedad</b>	95% máximo
<b>Rango de Operación</b>	2.4 GHz a 2.483 GHz
<b>Velocidades de transmisión</b>	54, 48, 36, 24, 22, 18, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Mbps
<b>Dimensiones</b>	L = 142mm. W = 109mm. H = 31mm.
<b>Potencia del transmisor</b>	802.11g: 14dBm. 802.11b: 16dBm.
<b>Seguridad</b>	WPA*-WiFi Protected Access (64-,128-,256-WEP con TKIP, MIC, IV Expansion, Shared Key Authentication).
<b>Antena externa</b>	Con conector SMA y ganancia de 2 dBm.
<b>Tecnología de modulación</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Complementary Code Keying (CCK) Complementary Code Keying (PBCC)
<b>Control de Acceso al Medio</b>	CSMA/CA con ACK

<b>Alimentación</b>	Ext. Power Supply DC 5V, 2.5A
<b>Peso</b>	200 g

## 2. TARJETA CLIENTE

La tarjeta cliente utilizada para las campañas de registro de RSSI en cada uno de los escenarios mencionados fue la Orinoco USB Client, figura C2.

**Figura C2. Tarjeta Orinoco USB Client**



Las principales características de este dispositivo son las siguientes:

- Capacidad de conexión de un computador a un grupo de trabajo punto a punto o en modo infraestructura en una WLAN.
- Certificación de la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) lo cual asegura compatibilidad con otros vendedores de productos WLAN
- Selección automática de la tasa de transmisión en el rango de 11, 5.5, 2, 1 Mbit/s.
- Selección de la frecuencia del canal de operación.
- Roaming sobre múltiples canales

Las especificaciones técnicas de la tarjeta se presentan en la tabla 13.

Tabla C2. Características generales de la tarjeta Orinoco.

<b>Compatibilidad</b>	IEEE 802.11 Wi-Fi (Wireless Fidelity) certificado por la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance).			
<b>Subcanales que soporta</b>	Canal	Frecuencia (MHz)		
	1	2412		
	2	2417		
	3	2422		
	4	2427		
	5	2432		
	6	2437		
	7	2442		
	8	2447		
	9	2452		
	10	2457		
	11	2462		
<b>Temperatura</b>	Operación: 0 C a 40 C Almacenamiento: -20 C a 75 C			
<b>Humedad</b>	95% máximo			
<b>Rango de Operación</b>	2.4 GHz (2400 GHz- 2500 GHz)			
<b>Velocidades de transmisión</b>	11 Mbps	5.5 Mbps	2 Mbps	1 Mbps
<b>Oficina Abierta</b>	160 Mbps	270 Mbps	400 Mbps	550 Mbps
<b>Oficina Semi-abierta</b>	50 m	70 m	90 m	115 m
<b>Oficina Cerrada</b>	25 m	35 m	40 m	50 m
<b>Dimensiones</b>	L = 63 mm W = 89 mm H = 145 mm			
<b>Potencia del transmisor</b>	15 dBm.			

<b>Seguridad</b>	64 bit WEP (Wired Equivalent Privacy),
<b>Tecnología de modulación</b>	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) CCK 11 & 5.5 Mbps, DQPSK para 2 Mbps y DBPSK para 1 Mbps.
<b>Control de Acceso al Medio</b>	CSMA/CA (Collision Avoidance) con ACK.
<b>Alimentación</b>	5 v
<b>Peso</b>	170 gr

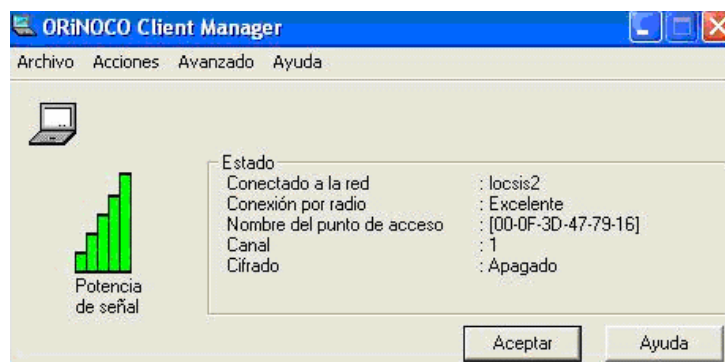
### 3. CLIENT MANAGER

La tarjeta USB utilizada para la campaña de registro de RSSI incluye una herramienta de supervisión tipo propietaria, Orinoco Client Manager, que permite verificar la calidad de la conexión inalámbrica de la red.

Requiere alguno de los siguientes sistemas operativos para su instalación: Microsoft Windows 95, 98, NT, 2000, ME o XP y una capacidad de 500 KB de espacio libre en el disco.

La ventana principal de esta herramienta le permite observar al usuario el perfil de configuración activo y la calidad de la conexión de la red a la que se encuentra conectado.

**Figura C3. Ventana principal del Client Manager**



La opción de Supervisión en el lugar del menú Avanzado le permite obtener información general e indicadores de la calidad de la comunicación como:

- Dirección MAC del AP.
- Relación Señal a Ruido (SNR).
- Nombre del AP.
- Canal de frecuencia.
- Nivel de Señal.
- Nivel de Ruido.

Además de la posibilidad de guardar e importar los datos de medición a una hoja de cálculo a través de la opción de Configuración de Registro.

**Figura C4. Supervisión en el Lugar. ORINOCO Client Manager**

