

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ESTADO GENERAL DE LA RED WIFI DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo de tesis presentado por
Oscar Pedroza Orellana
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala

2016

ESTADO GENERAL DE LA RED WIFI DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



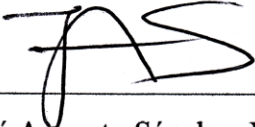
ESTADO GENERAL DE LA RED WIFI DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo de tesis presentado por
Oscar Pedroza Orellana
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala

2016

Vo.Bo.:


(f) 

Ing. José Augusto Sánchez Villanueva

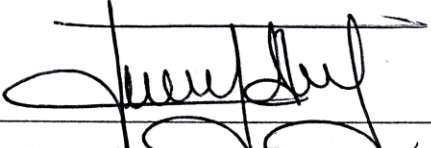
Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. José Augusto Sánchez Villanueva

(f) 

MSc. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f) 

Ing. Julio Ismael Vázquez Vargas

Fecha de aprobación: Guatemala 8 de diciembre de 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por darme fuerza y constancia para seguir en mi camino, a pesar de las vicisitudes presentadas a lo largo de este, permitiéndome llegar a la meta.

A mis padres:

Por todo el apoyo recibido durante esta etapa, por el ánimo, el amor mostrado y el haber creído y confiado en mí en todo momento.

A mis catedráticos:

Por sus enseñanzas y orientación a lo largo de mis estudios.

A mis hermanos:

Por darme ánimo y apoyarme siempre en los momentos más difíciles.

A mi novia:

Por su cariño, comprensión, compañía, apoyo y el amor mostrado durante toda esta etapa de mi vida.

CONTENIDO

	Página
Lista de cuadros	v
Lista de figuras.....	vi
Resumen	xi
I. Introducción	1
II. Objetivos.....	2
A. Generales	2
B. Específicos	2
III. Justificación	3
IV. Marco teórico	4
A. Historia de la comunicación inalámbrica	4
B. Sistema de comunicación	6
C. Espectro electromagnético.....	8
D. Red inalámbrica de área local (wlan)	12
E. Transmisión de una red inalámbrica de área local.....	15
F. El estándar IEEE 802.11.....	20
G. WI-FI	25
H. Modelo OSI	26
I. Rendimiento del WiFi	28
J. Análisis de la calidad de WiFi: Acrylic Wi-Fi Heatmaps	29
V. Diseño experimental.....	34
A. Materiales	34
B. Selección de herramienta de site survey.....	35

C.	Selección de tarjeta de red USB.....	36
D.	Desarrollo del software para la validación de la información obtenida por la herramienta de site survey	37
E.	Configuración de la pantalla táctil para la Raspberry Pi 2 modelo b.....	39
F.	Configuración y uso del software Acrylic Wi-Fi Heatmaps	40
G.	Generación de los mapas de calor y obtención de correlaciones	42
VI.	Resultados.....	45
A.	Herramienta implementada.....	45
B.	Índices de correlación y comportamiento de la red uvgn a lo largo del tiempo	45
C.	Pruebas intensidad de señal y ancho de banda	51
D.	Mapas de calor	53
VII.	Discusión de resultados	113
VIII.	Conclusiones	119
IX.	Recomendaciones.....	120
X.	Bibliografía	121
XI.	Anexos.....	124
A.	Presentación de Acrylic Wi-Fi Heatmaps	124
B.	Mapas de calor de Acrylic Wi-Fi Heatmaps.....	126
C.	Planos utilizados para el estudio de campo	138
D.	Diferentes puntos de acceso encontrados en la Universidad	143
XII.	Glosario.....	144

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características del espectro electromagnético	10
Cuadro 2. Distintos modos de operación de una WLAN	14
Cuadro 3. Bandas de Frecuencia importantes para una WLAN	16
Cuadro 4. Estándares IEEE que utilizan las diferentes codificaciones	18
Cuadro 5. Tasas de transferencia para algunos estándares IEEE 802.11	20
Cuadro 6. Diferentes versiones del estándar IEEE 802.11	21
Cuadro 7. Frecuencias centrales de los canales de la banda de frecuencias 2.4GHz.....	21
Cuadro 8. Estándares IEEE 802.11 más actuales	24
Cuadro 9. Especificaciones de la computadora portátil utilizada	35
Cuadro 10. Especificaciones de la Raspberry Pi 2 modelo B	35
Cuadro 11. Especificaciones de la Raspberry Pi 1 modelo B	35
Cuadro 12. Requerimientos mínimos de Acrylic Wi-Fi Heatmaps	35
Cuadro 13. Índices de correlación lineal de las pruebas de velocidad de speedtest.net	45
Cuadro 14. Índices de correlación lineal de las pruebas de <i>throughput</i> de iperf.....	45
Cuadro 15. Comparación entre densidad de dispositivos, pérdida de paquetes y ancho de banda	51

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. James Clerk Maxwell	4
Figura 2. Guillermo Marconi.....	5
Figura 3. Sistema de comunicación electrónica.....	6
Figura 4. Totalidad del espectro electromagnético	9
Figura 5. Longitud de onda de una señal.....	9
Figura 6. Espectro óptico visible	11
Figura 7. Ejemplo de red WLAN.....	12
Figura 8. WLAN en modo Ad Hoc.....	13
Figura 9. WLAN en modo Infraestructura ESS.....	15
Figura 10. Zona de cobertura de un AP con distintas tasas de transferencia	19
Figura 11. Tasas de transferencia a distintas distancias para el estándar IEEE 802.11b	22
Figura 12. Tasas de transferencia a distintas distancias para el estándar IEEE 802.11a	23
Figura 13. Tasas de transferencia a distintas distancias para el estándar IEEE 802.11g	23
Figura 14. Logo de The Wi-Fi Alliance	25
Figura 15. Logo Wi-Fi Certified.....	25
Figura 16. Diferencia entre utilizar y no utilizar el modelo OSI	26
Figura 17. Mapas de calor generados en el modo pasivo.....	30
Figura 18. Mapas de calor generados en el modo activo	32
Figura 19. Ejemplo de la calibración satelital	40
Figura 20. Configuración del modo activo.....	41
Figura 21. Configuración del salto de canal.	41
Figura 22. Configuración y correcto funcionamiento del GPS	42
Figura 23. Recorrido realizado en la cafetería de la Universidad.....	43
Figura 24. Computadora personal utilizada para la generación de los mapas de calor	43
Figura 25. Herramienta implementada.....	45
Figura 26. Pruebas de velocidad en día sábado	46
Figura 27. Latencia en día sábado.....	46
Figura 28. Pruebas de velocidad en día domingo	46
Figura 29. Latencia en día domingo.....	47
Figura 30. Pruebas de velocidad en día lunes.....	47

Figura 31. Latencia en día lunes	47
Figura 32. Pruebas de velocidad en día martes.....	48
Figura 33. Latencia en día martes	48
Figura 34. Pruebas de velocidad en día miércoles	48
Figura 35. Latencia en día miércoles	49
Figura 36. Pruebas de velocidad en día jueves	49
Figura 37. Latencia en día jueves.....	49
Figura 38. Pruebas de velocidad en día lunes de otra semana.....	50
Figura 39. Pruebas de latencia en día lunes de otra semana.....	50
Figura 40. Intensidad de señal primer nivel edificio A.....	53
Figura 41. Puntos de acceso detectados primer nivel edificio A.....	53
Figura 42. Cobertura por punto de acceso primer nivel edificio A	54
Figura 43. Cobertura por canal primer nivel edificio A.....	54
Figura 44. Solapamiento por canal primer nivel edificio A	55
Figura 45. Tasas de transferencia primer nivel edificio A	55
Figura 46. Pérdida de paquetes (capa WiFi) primer nivel edificio A	56
Figura 47. Latencia primer nivel edificio A	56
Figura 48. Itinerancia primer nivel edificio A.....	57
Figura 49. Intensidad de señal segundo nivel edificio A	57
Figura 50. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio A	58
Figura 51. Cobertura de los puntos de acceso segundo nivel edificio A	58
Figura 52. Cobertura por canal segundo nivel edificio A	59
Figura 53. Solapamiento de canales segundo nivel edificio A.....	59
Figura 54. Tasa de transferencia de datos segundo nivel edificio A.....	60
Figura 55. Pérdida de paquetes (capa WiFi) segundo nivel Edificio A	60
Figura 56. Latencia segundo nivel edificio A.....	61
Figura 57. Itinerancia segundo nivel edificio A	61
Figura 58. Intensidad de señal tercer nivel edificio A	62
Figura 59. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificio A	62
Figura 60. Cobertura de los puntos de acceso tercer nivel edificio A.....	63
Figura 61. Cobertura por canal tercer nivel edificio A	63
Figura 62. Solapamiento de canales tercer nivel edificio A	64
Figura 63. Pérdida de paquetes (capa WiFi) tercer nivel edificio A.....	64

Figura 64. Latencia tercer nivel edificio A.....	65
Figura 65. Itinerancia tercer nivel edificio A.....	65
Figura 66. Intensidad de señal primer nivel edificios F y G	66
Figura 67. Puntos de acceso detectados primer nivel edificios F y G.....	66
Figura 68. Cobertura por canal primer nivel edificios F y G	67
Figura 69. Solapamiento de canales primer nivel edificios F y G	67
Figura 70. Pérdida de paquetes (capa WiFi) primer nivel edificios F y G.....	68
Figura 71. Ancho de banda en KB/s primer nivel edificios F y G.....	68
Figura 72. Latencia edificios primer nivel F y G.....	69
Figura 73. Itinerancia primer nivel edificios F y G.....	69
Figura 74. Intensidad de señal segundo nivel edificios F y G	70
Figura 75. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificios F y G	70
Figura 76. Cobertura por canal segundo nivel edificios F y G.....	71
Figura 77. Solapamiento de canales segundo nivel edificios F y G	71
Figura 78. Pérdida de paquetes (capa WiFi) segundo nivel edificios F y G	72
Figura 79. Latencia segundo nivel edificios F y G	72
Figura 80. Itinerancia segundo nivel edificios F y G.....	73
Figura 81. Intensidad de señal tercer nivel edificios F y G	73
Figura 82. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificios F y G	74
Figura 83. Cobertura por canal tercer nivel edificios F y G	74
Figura 84. Solapamiento de canal tercer nivel edificios F y G.....	75
Figura 85. Densidad de dispositivos tercer nivel edificios F y G	75
Figura 86. Pérdida de paquetes (capa WiFi) tercer nivel edificios F y G	76
Figura 87. Ancho de banda en KB/s tercer nivel edificios F y G	76
Figura 88. Latencia tercer nivel edificios F y G	77
Figura 89. Itinerancia tercer nivel edificios F y G	77
Figura 90. Intensidad de señal primer nivel edificio H (cafetería)	78
Figura 91. Puntos de acceso detectados primer nivel edificio H	78
Figura 92. Cobertura por canal primer nivel edificio H.....	79
Figura 93. Solapamiento de canal primer nivel edificio H.....	79
Figura 94. Latencia primer nivel edificio H	80
Figura 95. Itinerancia primer nivel edificio H.....	80
Figura 96. Intensidad de señal segundo nivel edificio H	81

Figura 97. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio H	81
Figura 98. Cobertura por canal segundo nivel edificio H	82
Figura 99. Solapamiento de canal segundo nivel edificio H	82
Figura 100. Latencia segundo nivel edificio H.....	83
Figura 101. Itinerancia segundo nivel edificio H.....	83
Figura 102. Intensidad de señal tercer nivel edificio H.....	84
Figura 103. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificio H.....	84
Figura 104. Cobertura por canal tercer nivel edificio H	85
Figura 105. Solapamiento de canal tercer nivel edificio H	85
Figura 106. Latencia tercer nivel edificio H.....	86
Figura 107. Itinerancia tercer nivel edificio H.....	86
Figura 108. Intensidad de señal segundo nivel edificio I.....	87
Figura 109. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio H	87
Figura 110. Cobertura de canales segundo nivel edificio I	88
Figura 111. Solapamiento de canales segundo nivel edificio I	88
Figura 112. Latencia segundo nivel edificio I	89
Figura 113. Itinerancia segundo nivel edificio I.....	89
Figura 114. Intensidad de señal primer nivel edificio J	90
Figura 115. Cobertura por canal primer nivel edificio J	90
Figura 116. Solapamiento de canales primer nivel edificio J.....	91
Figura 117. Pérdida de paquetes (capa WiFi) primer nivel edificio J.....	91
Figura 118. Latencia primer nivel edificio J.....	92
Figura 119. Itinerancia primer nivel edificio J	92
Figura 120. Intensidad de señal segundo nivel edificio J.....	93
Figura 121. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio J.....	93
Figura 122. Cobertura de canales segundo nivel edificio J	94
Figura 123. Solapamiento de canales segundo nivel edificio J	94
Figura 124. Latencia segundo nivel edificio J	95
Figura 125. Itinerancia segundo nivel edificio J.....	95
Figura 126. Intensidad de señal tercer nivel edificio J.....	96
Figura 127. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificio J.....	96
Figura 128. Cobertura de los puntos de acceso tercer nivel edificio J.....	97
Figura 129. Cobertura por canal tercer piso edificio J	97

Figura 130. Solapamiento de canal tercer nivel edificio J	98
Figura 131. Pérdida de paquetes tercer nivel edificio J.....	98
Figura 132. Ancho de banda en KB/s tercer nivel edificio J.....	99
Figura 133. Latencia tercer nivel edificio J	99
Figura 134. Pérdida de paquetes (capa de red) tercer nivel edificio J.....	100
Figura 135. Itinerancia tercer nivel edificio J.....	100
Figura 136. Intensidad de señal tercer nivel edificio K.....	101
Figura 137. Intensidad de señal segundo nivel edificio K	101
Figura 138. Intensidad de señal primer nivel edificio K.....	102
Figura 139. Intensidad de señal sótano edificio K.....	102
Figura 140. Intensidad de señal Plaza Paiz Riera	103
Figura 141. Puntos de acceso detectados Plaza Paiz Riera	103
Figura 142. Cobertura por canal Plaza Paiz Riera	104
Figura 143. Solapamiento de canales Plaza Paiz Riera.....	104
Figura 144. Itinerancia área Plaza Paiz Riera.....	105
Figura 145. Intensidad de señal parqueo interno	105
Figura 146. Puntos de acceso detectados parqueo interno UVG.....	106
Figura 147. Cobertura por canal parqueo interno	106
Figura 148. Solapamiento de canal parqueo interno UVG.....	107
Figura 149. Itinerancia parqueo interno UVG.....	107
Figura 150. Intensidad de señal parqueo atrás de la cafetería	108
Figura 151. Puntos de acceso detectados parqueo atrás de la cafetería	108
Figura 152. Cobertura por canal parqueo atrás de la cafetería	109
Figura 153. Solapamiento de canal parqueo atrás de la cafetería UVG.....	109
Figura 154. Itinerancia parqueo atrás de la cafetería	110
Figura 155. Intensidad de señal alrededores biblioteca.....	110
Figura 156. Puntos de acceso detectados alrededores biblioteca.....	111
Figura 157. Cobertura por canal alrededores biblioteca.....	111
Figura 158. Solapamiento de canal alrededores biblioteca	112
Figura 159. Itinerancia alrededores biblioteca.....	112

RESUMEN

Este trabajo de graduación consiste en realizar para la Universidad un estudio y análisis de la red Wifi que la esta provee a sus trabajadores y estudiantes. Se pretende realizar un reporte de calidad que sirva a la Universidad para conocer la condición actual de la red Wifi y así esta pueda determinar si dicha red funciona lo suficientemente bien o en caso contrario, que quede evidencia de dicho funcionamiento para realizar optimizaciones o mejoras futuras de esta red.

Para realizar dicho estudio detallado de la red Wifi de la Universidad, fue necesario recopilar técnicas y métodos de análisis realizados por herramientas ya existentes para este propósito, y así poder replicar no solo las técnicas sino la calidad que tienen dichas herramientas que se pueden adquirir en el mercado. Se implementó también una herramienta modular capaz de la obtención correcta de datos de la red WiFi, los cuales luego de un análisis posterior pasaran a formar parte de un reporte del estado de dicha red, el cual será de vital importancia para la Universidad.

Este trabajo de graduación realizó las tareas detalladas anteriormente, con el propósito de que sea de utilidad para la Universidad, para que esta pueda mejorar los servicios que provee a los usuarios de dicha red, y así la experiencia de usuario al utilizar dicha red sea de mejor calidad.

I. INTRODUCCIÓN

El estar comunicado todo el tiempo es fundamental en la vida moderna, ya sea para nuestra área personal, laboral, o para nuestro entretenimiento. Nos mantenemos comunicados en la mayoría de los casos por medio de los teléfonos celulares, que en la actualidad permiten la transmisión de datos a altas velocidades con los que nos conectamos vía Internet a las diversas redes con las que interactuamos con las personas y los sistemas que nos interesan. Adicionalmente también lo hacemos con nuestras computadoras/laptops y tabletas, especialmente para las actividades laborales, de estudio e investigación. Lo hacemos también conectándonos en nuestros hogares, centros de trabajo, estudio y otras áreas habilitadas para el efecto, una de las tecnologías para hacerlo de forma inalámbrica es la WiFi, la cual será tratada en este estudio.

Esta tesis tiene como objetivo el determinar la funcionalidad y operatividad de la red WiFi en el campus central de la Universidad del Valle de Guatemala mediante un estudio de campo conducido en dicha área en el campus central de la misma, estudio por medio del cual se recopilaron los parámetros relevantes de la red, así como del análisis de resultados de dichas pruebas y de la formulación de conclusiones y recomendaciones para el mejoramiento de la percepción del usuario.

Para realizar las pruebas fue necesaria la integración de un sistema basado en una computadora personal capaz de analizar las características de la red y generar mapas de calor de dichos parámetros, recopilar estadísticas del rendimiento de la red mediante la ejecución de pruebas de carga y descarga, entre otros utilizando una Raspberry Pi capaz de movilizarse a lo largo del campus central de la Universidad.

II. OBJETIVOS

A. GENERALES

Generar un reporte completo y de calidad del estado actual de la red WiFi de la Universidad del Valle de Guatemala campus central, para que esta pueda tomar decisiones informadas con respecto a dicha red, conociendo lugares en los cuales se presentan malas condiciones de funcionamiento de esta y oportunidades de optimización para la misma.

B. ESPECÍFICOS

- Investigar sobre la tecnología Wifi, sobre su funcionamiento y capacidades de la misma.
- Obtener datos sobre la cantidad de usuarios que utilizan el servicio de Wifi que presta la universidad, así como la identificación de sitios con mayor carga de usuarios y las horas en las que existe la mayor cantidad de estos.
- Desarrollar e implementar una herramienta capaz de obtener estadísticas de los parámetros de funcionamiento de la red Wifi de la Universidad, dichos parámetros se listan a continuación:
 - Velocidad de descarga
 - Velocidad de subida
 - Intensidad de señal
 - Ruido
 - Latencia
- Elaborar la herramienta de manera que sea escalable a N módulos de captura para la obtención de datos en diferentes puntos de manera simultánea.
- Analizar los datos obtenidos por la herramienta implementada.
- Generar mapas de calor y demás gráficos útiles para comprobar el estado del servicio de WiFi provisto por la Universidad.
- Obtener las correlaciones entre los datos obtenidos por la herramienta que genera los mapas de calor con los datos obtenidos por la herramienta implementada.
- Elaborar un reporte completo del estado actual de la red Wifi para la Universidad del Valle de Guatemala Campus Central.

III. JUSTIFICACIÓN

Los reclamos y quejas con respecto al servicio de internet Wifi que provee la Universidad, tanto al personal como a los estudiantes, son constantes por parte de estos. Actualmente no se cuenta con un estudio detallado de dicho servicio con el cual pueda validarse la situación actual del mismo, y que pueda servir para la optimización o mejora de este, de ser necesario.

Es común que al escuchar opiniones del servicio de internet Wifi que provee la universidad, no únicamente de estudiantes, sino de catedráticos y directivos de la institución también, se puede ver que estas no hablan de una manera muy positiva de dicho servicio, y de que este servicio podría mejorar, cosa que dicho estudio pretende determinar.

El objeto de este trabajo es el de proveer a la universidad con un estudio detallado de la condición actual de la red Wifi con el que pueda determinarse si este es lo suficientemente bueno y eficiente, o en caso contrario, que lo evidencie con el fin de que sea mejorado en el futuro de para que la percepción y satisfacción del usuario se incremente.

Con este estudio se persigue que la Universidad pueda determinar el grado de calidad del servicio de Wifi que está brindando a sus usuarios dependiendo de su ubicación dentro de sus recintos, y así en caso necesario pueda plantearse estrategias para la optimización del uso de los recursos disponibles o la necesidad de ampliación de estos.

Para la ejecución de un estudio de esta naturaleza es necesario el uso de equipo y software altamente especializado que tiene un costo muy elevado según sean las capacidades del mismo. Este trabajo adicionalmente tiene el objetivo de utilizar una herramienta capaz de la ejecución de un estudio de esta índole y magnitud a un menor costo que las herramientas inicialmente mencionadas, a ser lograda mediante el proceso previo de investigación de las necesidades y tareas a ser realizadas por dicha herramienta. Es necesario también realizar el análisis de los datos obtenidos por dicha herramienta, para que los resultados obtenidos de dicho análisis sean de utilidad para la Universidad en su gestión del servicio de Wifi que presta a sus usuarios.

IV. MARCO TEÓRICO

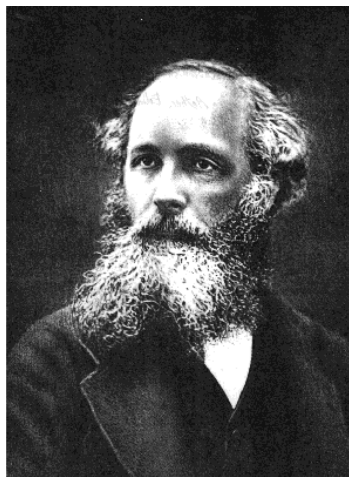
A. HISTORIA DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La historia de la comunicación inalámbrica comienza con el entendimiento de las propiedades electromagnéticas observadas por las antiguas civilizaciones chinas, griegas y romanas, además de experimentos llevados a cabo en los siglos XVII y XVIII. (Sarkar, 2006). La comunicación inalámbrica es un fenómeno que el hombre ha venido perfeccionando desde su creación hace más de doscientos años, a partir de la invención del radio telégrafo por Marconi. A continuación, se presenta una pequeña cronología de los hallazgos y avances que han ido forjando la comunicación inalámbrica hasta llegar a las tecnologías utilizadas en la actualidad para dicho fin, y una de las más importantes y sobre la que está basado este estudio, el estándar IEEE 802.11.

1. Descubrimiento del campo electromagnético. El científico Danés Hans Christian Oersted descubre en el año 1820 el campo electromagnético causado por una corriente eléctrica. (Hindle, 2015).

2. Formulación de la teoría electromagnética. En 1864, el físico y matemático escocés James Clerk Maxwell formula la teoría electromagnética de la luz y desarrolla las ecuaciones generales para los campos electromagnéticos, dichas ecuaciones originalmente eran 20, pero han sido simplificadas con el tiempo hasta llegar a las 4 ecuaciones básicas que se utilizan en la actualidad. (Hindle, 2015).

Figura 1. James Clerk Maxwell



(Hindle, 2015)

3. **Ondas electromagnéticas.** El científico Heinrich Rudolf Hertz, en 1888, es capaz de producir, transmitir y recibir ondas electromagnéticas utilizando reflectores para concentrar la señal en un punto. (Hindle, 2015).

4. **Marconi: mensajes codificados.** En 1895 Guillermo Marconi transmite y recibe un mensaje codificado a una distancia de 1.75 millas de su casa en Bolonia, Italia. Dos años más tarde, en 1897, Marconi demuestra una transmisión de radio a una distancia de alrededor de 18 millas hacia un barco. Ese mismo año nace la Wireless Telegraph and Signal Company la cual compra la mayoría de patentes de Marconi. (Hindle, 2015).

Figura 2. Guillermo Marconi



(Hindle, 2015)

5. **Primera guerra mundial.** La primera guerra mundial permitió el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas logrando que los diferentes grupos en el campo de batalla pudieran comunicarse sin la necesidad de utilizar un mensajero.

Uno de los sistemas de radio utilizados durante este periodo, en 1918, fue el llamado Continuous Wave (CW), y también existió un sistema de radio utilizado por la Royal Air Force para comunicar de manera rápida y efectiva los movimientos de tropas enemigas en el campo de batalla. (Australian War Memorial).

6. Nacimiento de la telefonía móvil. Luego en 1983 el sistema AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) es implementado en Estados Unidos en la banda de los 900MHz, y es capaz de soportar hasta 666 canales dúplex. (Shea, 2011).

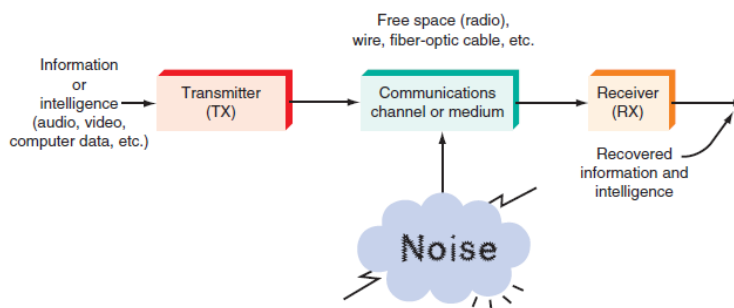
7. IEEE 802.11. Se forma en 1990 el grupo de trabajo IEEE 802.11, el cual estaría encargado de definir los estándares para las redes de área local inalámbricas o WLANs, por sus siglas en ingles. A pesar de su formación a principios de los años noventa, sería hasta el año 1997 en el cual sale a la luz el protocolo WLAN IEEE 802.11, el cual sería capaz de soportar tasas de datos de hasta 2Mbit/s en la banda ISM de 2.4Ghz.

Estos protocolos siguen mejorando con el paso del tiempo y continúan haciéndolo en la actualidad, en el año 2009 es lanzado el protocolo IEEE 802.11n, el cual es capaz de mantener enlaces de hasta 150Mbit/s no únicamente en la banda de 2.4Ghz sino en la banda de 5Ghz también. (Shea, 2011).

B. SISTEMA DE COMUNICACIÓN

El proceso de comunicación comienza cuando un equipo o un ser humano genera un mensaje, datos, o información que deba ser compartida con otros equipos o personas. En los sistemas de comunicación electrónica el mensaje a enviar es referido como la información o señal electrónica. Este mensaje o señal electrónica es alimentado a un transmisor, el cual se encarga de transmitir el mensaje a través de un canal de comunicación, para luego ser recogido por un receptor y utilizado por otro equipo o ser humano. Es importante notar que, al mandar el mensaje por medio de un canal de comunicación, se añade ruido al mismo, el cual también será captado por el receptor. En la Figura 3. Podemos observar los elementos de un sistema de comunicación electrónica. Estos componentes de un sistema de comunicación electrónica serán explicados más a detalle a continuación. (Frenzel, 2016).

Figura 3. Sistema de comunicación electrónica.



(Frenzel, 2016)

1. **Transmisor.** El primer paso para realizar la transmisión es convertir esta en una forma electrónica para poder ser transmitida. El Transductor es el dispositivo encargado de dicha función, en el caso de un mensaje de voz, el micrófono tendría la función de transformar el sonido en una señal electrónica de audio.

Podemos decir entonces que el Transmisor es una colección de componentes electrónicos y circuitos diseñados para convertir una señal eléctrica en una señal apta para ser transmitida por un medio, y luego inyectar dicha señal en el medio. Los transmisores pueden estar compuestos de osciladores, amplificadores, circuitos y filtros resonantes, moduladores, sintetizadores, entre otros. (Frenzel, 2016).

2. **Canal de comunicación.** El canal de comunicación es el medio en el cual una señal electrónica es enviada de un lugar a otro. (Frenzel, 2016). Existen canales de comunicación de varios tipos, podemos encontrar algunos a continuación.

a. **Conductores eléctricos.** Se refiere a una conexión por medio de cables, como por ejemplo un cable coaxial utilizado para llevar la señal de cable a una TV.

b. **Medios ópticos.** Un canal de comunicación de esta categoría es la fibra óptica, en la cual la información primero debe convertirse a un formato digital para poder ser utilizada para encender y apagar un diodo laser a altas velocidades.

c. **Espacio libre.** Cuando el medio utilizado es el espacio libre, el sistema resultante es denominado como Radio, estos sistemas también son conocido como *Wireless*. La radio hace uso del espectro electromagnético para transmitir las señales, las cuales se transmiten en forma de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio.

d. **Otros tipos:** Los medios más utilizados son los cableados y los de radio inalámbricos, sin embargo, existen otros medios como el sonar, en donde el agua es el medio. Las líneas de corriente alternan también se utiliza como medio para mandar información, en donde las señales a transmitir se superponen o se añaden a las líneas de voltaje, esto se conoce como Comunicaciones mediante Línea de Potencia o PLC por sus siglas en inglés.

3. **Receptor.** El receptor es una colección de componentes electrónicos y circuitos que captan y aceptan el mensaje transmitido por el canal y lo convierten a una forma que pueda ser entendida por un equipo o un ser humano. Los receptores contienen amplificadores, osciladores, mezcladores, circuitos y

filtros resonantes, además de algún tipo de demodulación que sea capaz de recuperar el mensaje o información enviado originalmente. (Frenzel, 2016).

4. **Transceptores.** La mayoría de la comunicación se realiza en dos vías, por lo que ambos equipos a comunicarse deben contar con un transmisor y un receptor. Por esta razón, muchos equipos de comunicación incorporan circuitos que realizan ambas funciones, enviar y recibir. Estas unidades se conocen comúnmente como transceptores. Algunos ejemplos de transceptores son los teléfonos celulares y los módems de computadoras. (Frenzel, 2016).

5. **Atenuación.** La atenuación de la señal o degradación es inevitable sin importar el medio de transmisión utilizado. La atenuación es proporcional al cuadrado de la distancia entre el transmisor y el receptor. Los medios de comunicación pueden actuar también como filtros para una señal transmitida, lo cual puede causar distorsión de la señal y puede también reducir la amplitud de la señal en distancias largas. (Frenzel, 2016).

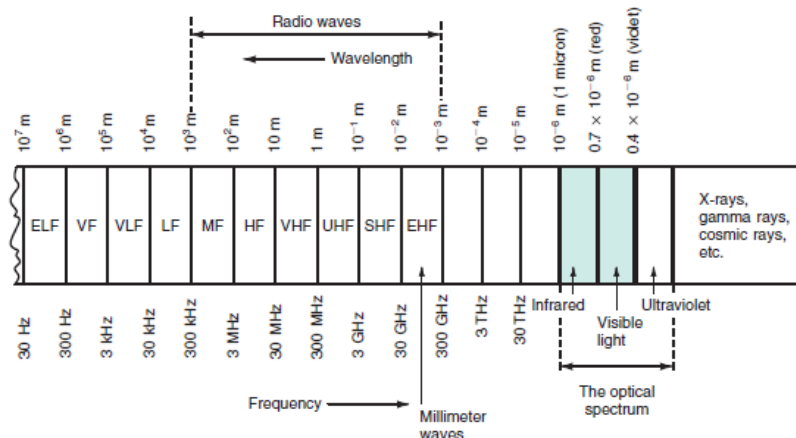
6. **Ruido.** Los efectos del ruido son experimentados por los receptores de todos los sistemas de comunicación. Algunos sistemas son capaces de filtrar el ruido introducido al sistema, pero una de las mejores formas de evitarlo es utilizando componentes que contribuyan con menos ruido al sistema, así como también bajar la temperatura de estos componentes que conforman el sistema. La medida del ruido se expresa generalmente en *signal-to-noise ratio* (SNR), la relación entre la señal captada y el ruido captado en el medio. Se expresa numéricamente en decibeles (dB), en donde una unidad alta de este valor es deseada para un mejor desempeño.

C. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las ondas electromagnéticas son señales que oscilan, lo cual quiere decir que las amplitudes de los campos magnéticos y eléctricos que las componen varían a una tasa específica. Las ondas electromagnéticas varían con un comportamiento sinusoidal y su frecuencia es medida en hertz (Hz) o en ciclos por segundo (cps). Estas oscilaciones pueden ocurrir a frecuencias muy bajas o muy altas, el rango de señales electromagnéticas que contiene todas estas frecuencias es denominado como el espectro electromagnético. (Frenzel, 2016).

La frecuencia es el número de ciclos de una onda que se repite en un determinado periodo de tiempo. En electrónica se mide en hertz (Hz), en donde un ciclo por segundo es equivalente a un hertz. En la Figura 4. Se puede observar la totalidad del espectro electromagnético, además de sus frecuencias y longitudes de onda.

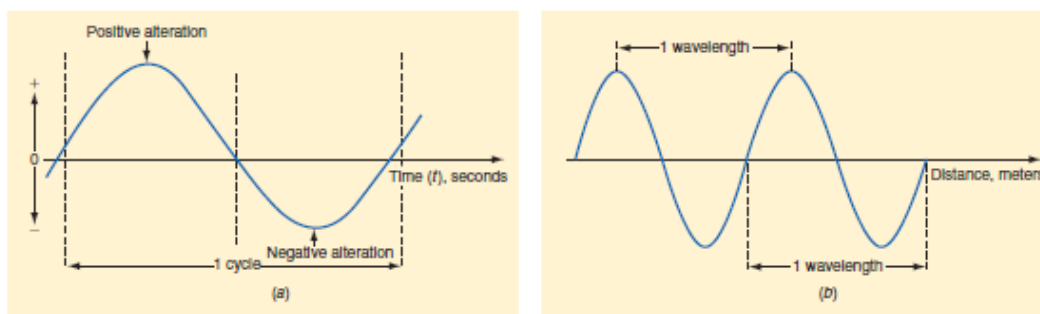
Figura 4. Totalidad del espectro electromagnético



(Frenzel, 2016)

La longitud de onda de una señal electromagnética es la distancia que ocupa un único ciclo de una onda, y es comúnmente expresada en metros. En la Figura 5. Se puede observar una representación gráfica de la longitud de onda de una señal sinusoidal. (Frenzel, 2016).

Figura 5. Longitud de onda de una señal



(Frenzel, 2016)

En la siguiente tabla se pueden apreciar las características más importantes de cada una de los rangos del espectro electromagnético, incluyendo las frecuencias que los componen, su longitud de onda y los usos y aplicaciones más comunes para cada una de ellas.

Cuadro 1. Características del espectro electromagnético

Rango	Abreviatura	Frecuencias	Longitud de Onda	Aplicaciones comunes
<i>Extremely low frequencies</i>	ELF	30 – 300 Hz	$10^7 - 10^6$ m	Transmisión de voltaje AC (50 y 60 Hz).
<i>Voice frequency</i>	VF	300 – 3000 Hz	$10^6 - 10^5$ m	Rango normal de la voz humana.
<i>Very low frequency</i>	VLF	9 – 30 kHz	$10^5 - 10^4$ m	Comunicaciones militares con submarinos.
<i>Low frequency</i>	LF	30 – 300 kHz	$10^4 - 10^3$ m	Usos en aeronáutica y en la navegación marítima.
<i>Medium frequency</i>	MF	300 – 3000 kHz	$10^3 - 10^2$ m	Radio AM (535 – 1605 kHz).
<i>High frequency</i>	HF	3 – 30 MHz	$10^2 - 10^1$ m	También conocidas como Ondas Cortas, utilizada en comunicación de radio de dos vías.
<i>Very high frequency</i>	VHF	30 – 300 MHz	$10^1 - 1$ m	Radio FM (88 – 108 MHz) y los canales de televisión del 2 al 13.
<i>Ultra high frequency</i>	UHF	300 – 3000 MHz	$1 - 10^{-1}$ m	Contiene los canales de televisión del 14 al 51 y es también utilizado por la telefonía celular.
<i>Superhigh frequency</i>	SHF	3 – 30 GHz	$10^{-1} - 10^{-2}$ m	Contiene las llamadas Microondas (1000MHz – 30 GHz). Telefonía celular y WLANs.

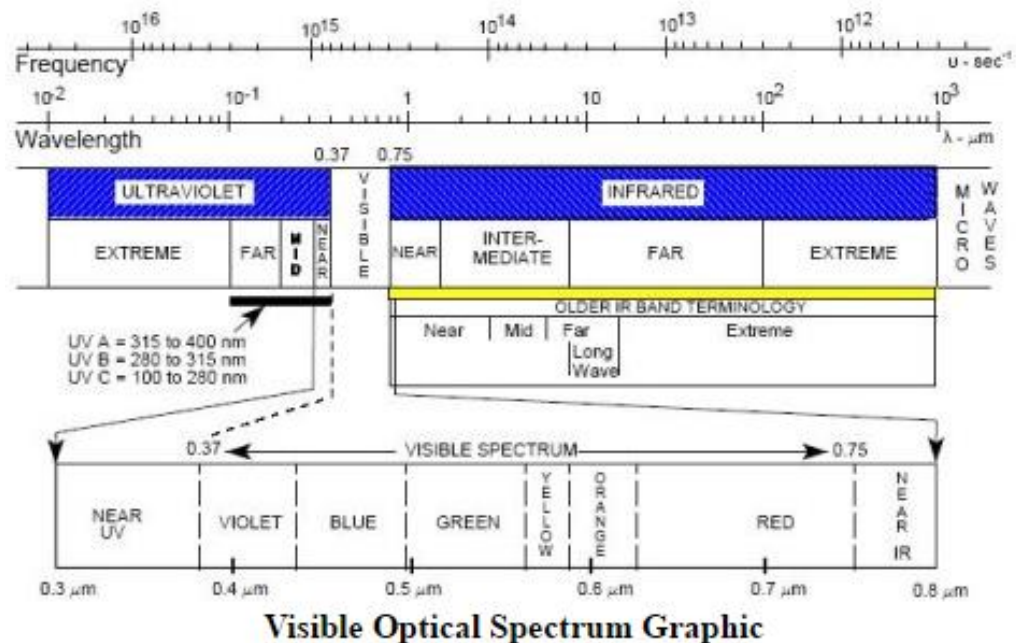
Continuación Cuadro 1. Características del espectro electromagnético

Rango	Abreviatura	Frecuencias	Longitud de Onda	Aplicaciones comunes
<i>Extremely high frequency</i>	EHF	30 – 300 GHz	$10^{-2} - 10^{-3}$ m	Llamadas también Ondas Milimétricas. El uso crece con aplicaciones como telefonía y comunicación satelital.
Frecuencias entre los 300 GHz y el Espectro Óptico	-	300 GHz – hacia arriba	$10^{-3} - 10^{-4}$ m	Prácticamente no se utiliza

(Frenzel, 2016)

En la Figura 6. Se puede apreciar el resto del espectro electromagnético, el cual se considera como el espectro óptico, que está ocupado por ondas de luz y contiene tres tipos: infrarrojo, luz visible y ultravioleta. (Frenzel, 2016). Se puede ver también en la Figura 6. Como el espectro de luz visible se conforma por señales con longitudes de onda de $0.37 \mu\text{m}$ hasta $0.75 \mu\text{m}$. (Davis, 2012).

Figura 6. Espectro óptico visible

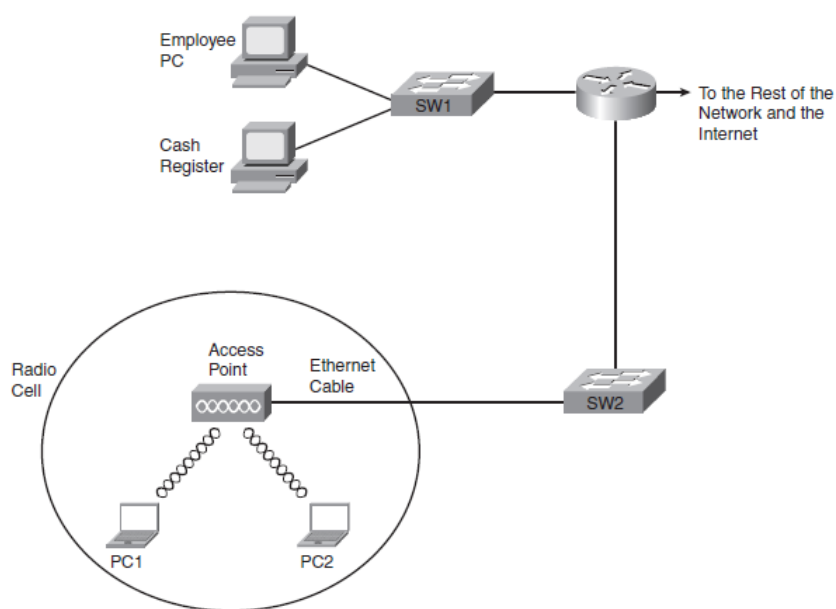


(Davis, 2012)

D. RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL (WLAN)

Las redes inalámbricas de área local, WLANs, por sus siglas en inglés, permiten al usuario comunicarse a través de la red sin requerir cableado, dando conectividad a la red a equipos móviles dentro del área de cobertura de la red. (Odom, 2008). En la Figura 7. Se puede observar el diseño de una red LAN de una tienda, la cual provee acceso a Internet por medio de WLANs a dos computadoras portátiles. Estas computadoras portátiles se comunican con un dispositivo utilizado en las WLANs llamado Punto de Acceso (AP). Estos puntos de acceso se comunican de manera inalámbrica con los clientes de la Red Inalámbrica de Área Local, además de conectarse también a la red LAN Ethernet, permitiendo a los clientes (laptops) y a los empleados comunicarse con otros sitios. (Odom, 2008).

Figura 7. Ejemplo de red WLAN



(Odom, 2008)

Las WLANs tienen una gran similitud con las redes LAN Ethernet, una similitud es que ambas permiten que exista comunicación entre dispositivos, además de que ambas tienen estándares definidos por la IEEE, siendo la familia IEEE 802.3 para las LAN Ethernet y la familia 802.11 para las WLANs. Ambos de estos estándares definen incluyen un *header* con una dirección de salida y una dirección de destino llamada MAC. Los estándares también determinan reglas para saber en qué momento los equipos deben enviar paquetes y en qué momentos no, por lo que se puede identificar que estos estándares se enfocan en las dos primeras capas del modelo OSI, el cual será visto a profundidad más adelante. (Odom, 2008).

Existen también diferencias entre las redes WLAN y Ethernet LAN, siendo la mayor de estas el hecho que las WLANs utilizan ondas de radio para transmitir datos, mientras que las Redes de Área Local Ethernet

(LAN), utilizan señales eléctricas las cuales fluyen a través de un cable, podría ser también luz en una fibra óptica. Las ondas de radio se mueven por el espacio libre, por lo que la presencia de objetos que puedan causar una obstrucción entre los equipos puede causar problemas en la transmisión de los datos dependiendo la frecuencia de estos.

Otras diferencias son que el protocolo Ethernet puede llegar a soportar la comunicación en dos vías simultáneamente o *full dúplex*, mientras que las redes inalámbricas no deben mandar ondas al mismo espacio en la misma frecuencia, ya que esto haría que la señal fuera ininteligible por lo que debe emplearse la comunicación *half dúplex*. (Odom, 2008).

Las WLANs pueden operar en dos modos distintos, ambos modos serán tratados a continuación, junto con sus características principales y algunos ejemplos de estos.

1. **Modo Ad Hoc.** En el modo Ad Hoc un dispositivo inalámbrico puede comunicarse con otro o con algunos cuantos dispositivos por un periodo corto de tiempo, por lo que los paquetes de datos se envían directamente entre los dispositivos, tal y como puede observarse en la Figura 8.

Figura 8. WLAN en modo Ad Hoc



(Odom, 2008)

2. **Modo infraestructura.** En el modo infraestructura, cada dispositivo que se conecta a la red se comunica primero con un Punto de Acceso, y cada AP, por sus siglas en inglés, se conecta vía Ethernet al resto de la red. Esto permite que los dispositivos puedan conectarse a servidores y al Internet de manera inalámbrica. Cabe mencionar que utilizando el modo infraestructura, los dispositivos no pueden enviar paquetes de datos directamente entre sí, sino que estos deben enviar primero al AP, y este se encarga de transmitir la información al destinatario de esta. En el Cuadro 2. Se presenta resumido en una tabla las características de los diferentes modos de operación de una red WLAN.

Cuadro 2. Distintos modos de operación de una WLAN

Modo	Nombre del Servicio	Descripción
Ad hoc	IBSS	Permite a dos dispositivos comunicarse entre sí sin necesidad de un Punto de Acceso
Infraestructura con un AP	BSS	Una red de área local inalámbrica con todos los dispositivos asociados a un solo punto de acceso
Infraestructura con más de un AP	ESS	Múltiples puntos de acceso creando una única red de área local inalámbrica.

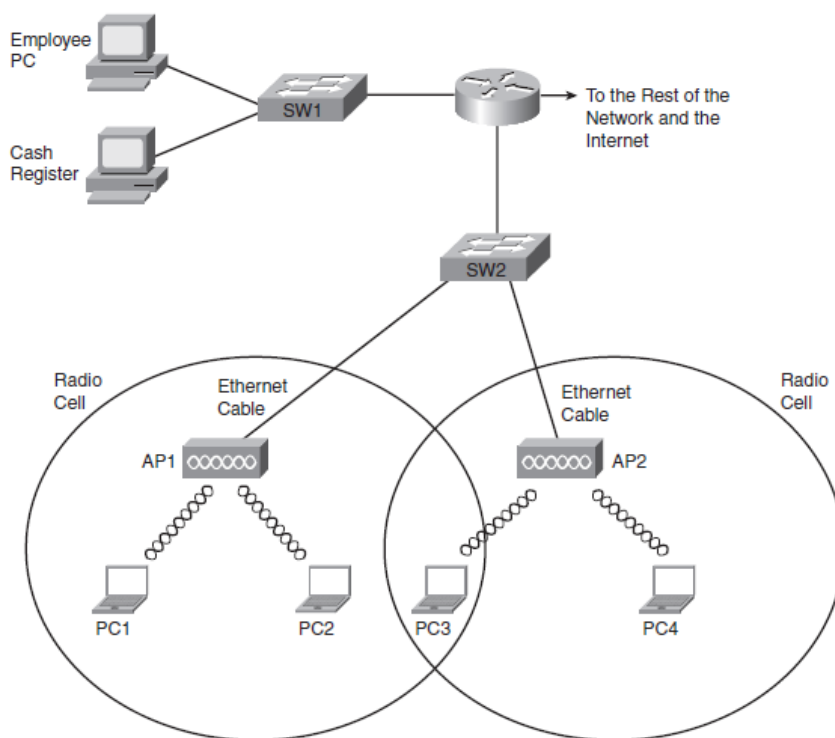
(Odom, 2008)

El modo infraestructura ofrece dos tipos de servicio diferentes para la interconexión de dispositivos a través de una WLAN, a continuación, veremos algunas características de estos. En la Figura 9. se puede observar el modo de infraestructura ESS.

a. **BSS** (*Basic Service Set*). Este tipo de servicio utiliza un solo AP para crear una Red de Área Local Inalámbrica.

b. **ESS** (*Extended Service Set*). Este tipo de servicio utiliza más de un Punto de Acceso, comúnmente con celdas que se entrelazan lo cual permite que exista una mayor área de cobertura para la WLAN. Las WLANs en el modo ESS permiten *roaming*, lo cual quiere decir que los usuarios pueden moverse dentro del área de cobertura de la red y seguir conectados a esta, teniendo como resultado que el usuario no tenga que cambiar su dirección IP. El dispositivo logra esto percibiendo cuando las señales del AP al que se encuentra conectado se vuelven más débiles, por lo que busca otro AP que cuente con una mejor señal para comenzar a utilizar la red desde este.

Figura 9. WLAN en modo infraestructura ESS



(Odom, 2008)

E. TRANSMISIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL

Las WLANs transmiten datos a través de la Capa 1 del modelo OSI mediante el envío y recepción de ondas de radio. Los dispositivos que forman parte de una WLAN, que pueden ser Puntos de Acceso, Tarjetas de Interfaz de Red o NIC, por sus siglas en inglés, y demás dispositivos utilizan un radio y una antena para enviar y recibir las ondas de radio, haciendo pequeños cambios a estas ondas por medio de codificaciones que modifican la energía de la señal que fluye a través del medio.

Muchos dispositivos electrónicos radian energía a distintas frecuencias, para prevenir que la energía radiada de un dispositivo interfiera con otro dispositivo existen organizaciones encargadas de regular y de velar por los rangos de frecuencias que los dispositivos pueden utilizar en esos países. La Comisión Federal de Comunicaciones, FCC por sus siglas en inglés, se encarga de regular el espectro electromagnético de frecuencias en los Estados Unidos. La FCC y demás organizaciones especifican distintos rangos de frecuencias, llamados bandas de frecuencias.

Una banda de frecuencias es un rango consecutivo de frecuencias. Por ejemplo, una estación de radio FM necesita alrededor de 200 kHz de frecuencia para enviar una señal de radio. Cuando a esta estación de radio

se le asigna una frecuencia base para su transmisión, se le asigna también un ancho de banda de 100 kHz en ambos lados de esta frecuencia base. Odom menciona que, “Mientras más ancho sea el rango de frecuencias en una banda de frecuencia, mayor será la cantidad de información que puede ser enviada en esa banda de frecuencia.” Por ejemplo, una señal de radio FM necesita alrededor de 0.2 MHz de ancho de banda, mientras que una transmisión de señal de Televisión necesita de 4.5MHz, ya que es mucha más información que la que contiene la de la radio FM.

La FCC y sus equivalentes en distintos países licencian algunas bandas de frecuencia. Estas bandas de frecuencia licenciadas se utilizan para diferentes propósitos, siendo los más comunes la radio AM y FM, los radios de onda corta, y la telefonía celular. Las bandas de frecuencia no licenciadas pueden usarse por distintos tipos de dispositivos; sin embargo, estos dispositivos deben cumplir con las reglas impuestas por la agencia regulatoria. Si un dispositivo no cumple con las regulaciones de potencia emitida impuestas por estas agencias, el dispositivo podría interferir con otros dispositivos que compartan la misma banda de frecuencia no licenciada.

La FCC define tres bandas de frecuencia no licenciadas, estas se refieren a una frecuencia base en particular y que son importantes para las comunicaciones de las Redes Inalámbricas de Área Local. En el Cuadro 3. las podemos apreciar.

Cuadro 3. Bandas de Frecuencia importantes para una WLAN

Rango de Frecuencia	Nombre	Ejemplos
900 kHz	Industrial, Científico, Mecánico (ISM)	Teléfonos inalámbricos muy antiguos
2.4 GHz	ISM	Estándares WLAN 802.11, 802.11b, 802.11g
5 GHz	Infraestructura de Información Nacional no Licenciada (U-NII)	Estándares WLAN 802.11a, 802.11n

(Odom, 2008)

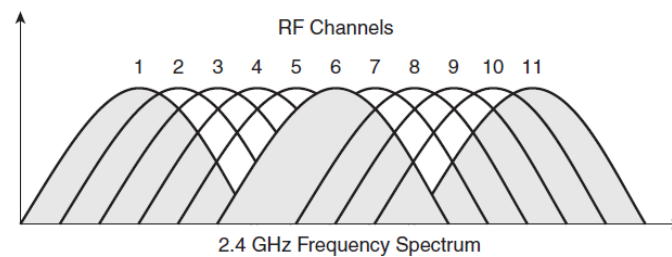
Cuando un dispositivo que forma parte de una red inalámbrica de área local envía información, puede modular esta señal de radio en amplitud, frecuencia, fase, etc. Existen tres tipos generales de codificación importantes para la implementación de redes WLAN los cuales se encuentran a continuación.

1. *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*. Utiliza todas las frecuencias disponibles en la banda, saltando de una frecuencia a otra frecuencia diferente. Utilizando frecuencias diferentes para transmisiones consecutivas, un dispositivo puede llegar a evitar la interferencia con otros dispositivos que utilizan la misma banda no licenciada, lográndolo con algunas frecuencias, pero no siempre

le es posible evitar dicha interferencia. El estándar original IEEE 802.11 para WLAN utilizaba este tipo de codificación, pero luego los estándares que le suceden a este y los que se utilizan actualmente ya no lo implementan.

2. *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*. Diseñada originalmente para utilizar en la banda de frecuencia no licenciada 2.4 GHz, esta codificación utiliza uno de los diferentes canales o frecuencias separadas para la transmisión. Esta banda tiene un ancho de banda de 82 MHz con un rango desde los 2.402 GHz hasta los 2.483 GHz, dando como resultado 11 diferentes canales entrelazados DSSS, como puede verse en la Figura 10.

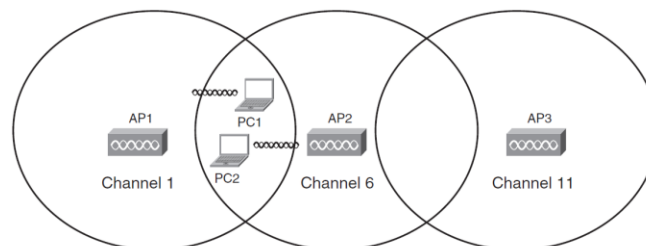
Figura 10. Canales DSSS a para la banda de frecuencia 2.4GHz



(Odom, 2008)

Se puede ver también en la Figura 10. Como existen tres canales que no se entrelazan entre sí por lo que no causan algún impacto negativo entre ellos. Estos son el canal 1, 6 y 11, al no entrelazarse entre sí, estos canales pueden usarse para la transmisión en la misma área de una WLAN sin causar alguna interferencia entre ellos. Esto es importante a la hora diseñar una WLAN en modo Infraestructura ESS, en donde los Puntos de Acceso que la conforman deben de configurarse para utilizar canales diferentes que no se entrelacen entre sí, causándose interferencia. En la Figura 11. podemos observar el uso de estos tres canales que no se entrelazan entre si y como esto permite que los equipos puedan mantener comunicaciones con distintos puntos de acceso al utilizar diferentes frecuencias para dicho fin, estando los equipos en el mismo punto, como lo es el caso de la PC1 y la PC2 de la figura.

Figura 11. Uso de los tres canales no entrelazados DSSS en la banda de frecuencia 2.4 GHz



(Odom, 2008)

3. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*. Esta tecnología, al igual que la tecnología DSSS, ofrece también canales sin solapamiento o entrelace entre sí. En el Cuadro 4. Podemos ver las diferentes clases de codificación implementadas, y los estándares IEEE que las utilizan.

Cuadro 4. Estándares IEEE que utilizan las diferentes codificaciones

Nombre de la codificación de acceso	Abreviatura	Utilización
<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>	FHSS	802.11
<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>	DSSS	802.11b
<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	OFDM	802.11a, 802.11g

(Odom, 2008)

Existen otros factores a tomar en cuenta en la transmisión de una red inalámbrica de área local, el autor Odom menciona algunos y los tratamos a continuación.

1. **Interferencia.** Las ondas de radio viajan a través del espacio, pero deben pasar a través de cualquier objeto que exista dentro de la zona de cobertura, como paredes, techos, pisos, etc. Al atravesar un material la onda puede ser absorbida parcialmente, lo que reduciría la fuerza de la señal y así, el área de la zona de cobertura. La materia también puede reflejar estas ondas y hacer que las mismas se dispersen, esto puede resultar en puntos muertos, que no tienen señal, y en un área de cobertura menor.

Las comunicaciones inalámbricas también se ven impactadas por otras ondas de radio en el mismo rango de frecuencias. Por ejemplo, cuando estamos escuchando la radio en nuestro vehículo en un viaje largo. Cuando nos alejamos de una ciudad, podemos escuchar que la estación de radio se hace cada vez más difícil de escuchar, debido a que la intensidad de las ondas es cada vez menor. Al acercarnos a otra ciudad, podremos empezar a escuchar la estación de radio que este en la misma frecuencia de esta ciudad, y esta comenzará a interferir con la anterior haciendo que no se pueda escuchar claramente ninguna de las dos.

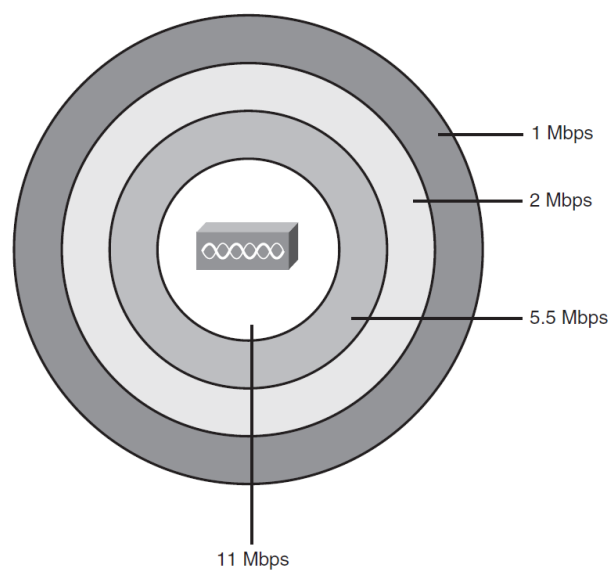
Este mismo principio puede aplicarse a una WLAN, en donde la interferencia representa que la información ocasionalmente llegue a su destino a través del espacio, lo cual requeriría de retransmitir esta información, haciendo que la eficiencia de nuestra red inalámbrica de área local sea pobre. Una medida para la interferencia es la denominada relación señal-ruido o SNR por sus siglas en inglés, la cual compara la señal de la red WLAN con otras señales no deseadas en el espacio. “Mientras mayor sea el SNR, mejor podrán los dispositivos WLAN transmitir datos satisfactoriamente” menciona Odom.

2. **Área de cobertura, velocidad y capacidad.** El área de cobertura de una red de área local inalámbrica es el espacio en el cual dos dispositivos WLAN pueden transmitirse información satisfactoriamente. El área de cobertura de un Punto de Acceso depende de varios factores, uno de estos factores es la potencia transmitida por el AP o WLAN NIC. Esta potencia transmitida no puede exceder los niveles estipulados por las agencias reguladores como la FCC. Estas agencias limitan la potencia transmitida para poder asegurar que exista justicia en las bandas de frecuencia no licenciadas, haciendo que todos o la gran mayoría de dispositivos no hagan que otro dispositivo deje de funcionar o de funcionar óptimamente debido a otro que esté por encima de los límites y cree interferencia entre estos.

La potencia con la que radia un Punto de Acceso es medida en base a la Potencia Efectiva Isotrópica Radiada o EIRP por sus siglas en inglés. Esta es la potencia de salida del radio más el incremento en potencia que causa la antena del radio menos la potencia que se pierde en el cableado del radio a la antena. Es la potencia de la señal al momento de dejar la antena e inyectarse en el medio.

Odom propone, “Las señales inalámbricas débiles no pueden pasar información a velocidades altas, pero si pueden hacerlo a velocidades más bajas.”. Por tanto, puede decirse que las redes WLAN soportan la idea de transmisión de datos a distintas velocidades. Un dispositivo que se encuentre más cercano a un Punto de Acceso puede tener mayor señal que uno que no se encuentre tan cerca, por lo que el que se encuentra más cerca puede transmitir y recibir datos del AP a tasas más altas. En la Figura 10. Se puede apreciar este concepto de un área de cobertura con distintas tasas de transferencia para el estándar IEEE 802.11b BSS.

Figura 10. Zona de cobertura de un AP con distintas tasas de transferencia



(Odom, 2008)

Es importante también considerar el número de canales que no se solapan que tiene cada uno de estos estándares, ya que esto puede afectar la comunicación del ancho de banda combinado. Por ejemplo, el estándar IEEE 802.11g tiene como límite las transmisiones a 54 Mbps. Sin embargo, si tres dispositivos se encuentran enviando datos en tres distintos canales simultáneamente a tres diferentes Puntos de Acceso, se podría decir que la red de acceso de área local inalámbrica es capaz de soportar un *throughput* (capacidad de transferencia) de 3 veces los 54 Mbps, ósea de 162 Mbps. En el Cuadro 5. Se presentan algunos estándares IEEE 802.11 para WLANs, junto con la cantidad de canales no solapados y la tasa de transferencia máxima soportada.

Cuadro 5. Tasas de transferencia para algunos estándares IEEE 802.11

Estándar IEEE	Velocidad máxima (Mbps)	Otras velocidades soportadas (Mbps)	Frecuencia	Cantidad de canales no solapados
802.11b	11	1, 2, 5.5	2.4 GHz	3
802.11a	54	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48	5 GHz	12
802.11g	54	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48	2.4 GHz	3

(Odom, 2008)

F. EL ESTÁNDAR IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 es un estándar internacional que define las características de una red de área local inalámbrica (WLAN). (CCM, 2016). No debe confundirse con Wi-Fi, que significa Fidelidad Inalámbrica, y será tratado más adelante en este documento. El estándar 802.11 establece los dos niveles inferiores del modelo OSI, los cuales son la capa física y la capa de enlace de datos. Existen diferentes mejoras y variaciones al estándar, en la Cuadro 6. Se presentan algunos de estos junto con alguna información técnica como la codificación que utilizan y el rango máximo de distancia que pueden alcanzar. (Frenzel, 2014).

Cuadro 6. Diferentes versiones del estándar IEEE 802.11

Estándar IEEE	Frecuencia (GHz)	Codificación de acceso	Máxima tasa de transferencia de datos (Mbps)	Rango máximo (m)
802.11a	5	OFDM	54	50
802.11b	2.4	DSSS	11	100
802.11g	2.4	OFDM	54	100
802.11n	2.4/5	OFMD/MIMO	600	100
802.11ac	5	OFMD/MIMO	1.3	100
802.11ad	60	OFMD/ <i>beamforming</i>	7	10

(Frenzel, 2014)

1. 802.11. Es el primer estándar que implementa la IEEE y garantiza una tasa máxima de transferencia de bits de 2Mbps. Opera en la banda de frecuencia 2.4 GHz y la tecnología de codificación de acceso que utiliza es la explicada anteriormente FHSS. (Beal, 2016).

2. 802.11b. Uno de los primeros y más utilizados estándares es el 802.11b, es una versión modificada del estándar original 802.11. Opera en 11 canales en la banda de frecuencia no licenciada 2.4 GHz, la cual se extiende desde los 2.4 hasta los 2.4835 MHz para un ancho de banda total de 83.5 MHz. Cada canal cuenta con un espaciado de 5 MHz entre canales, sin embargo, los canales tienen una amplitud de 22 MHz, por lo que los canales se entrelazan y solapan. En el Cuadro 7. Se observan las frecuencias centrales de cada canal. Este estándar utiliza la codificación de acceso DSSS la cual fue explicada previamente.

Cuadro 7. Frecuencias centrales de los canales de la banda de frecuencias 2.4GHz

Canal	Frecuencia central (GHz)
1	2.412
2	2.417
3	2.422
4	2.427
5	2.432
6	2.437
7	2.442
8	2.447
9	2.452
10	2.457
11	2.462

(Frenzel, 2014)

Como vimos anteriormente, dependiendo de la distancia a la que se encuentre el dispositivo con respecto al punto de acceso, este tendrá diferentes tasas de transferencia. En la Figura 11. Se observan estas tasas para este estándar a distintas distancias.

Figura 11. Tasas de transferencia a distintas distancias para el estándar IEEE 802.11b

Velocidad hipotética	Rango (en ambientes cerrados)	Rango (al aire libre)
11 Mbit/s	50 m	200 m
5,5 Mbit/s	75 m	300 m
2 Mbit/s	100 m	400 m
1 Mbit/s	150 m	500 m

(CCM, 2016)

3. 802.11a. El estándar 802.11a fue desarrollado posteriormente al 802.11b y utiliza la banda de frecuencia no licenciada de 5 GHz. Existen tres segmentos autorizados por el estándar, el primero de los cuales va de los 5.15 a los 5.25 GHz con una potencia máxima de 50 mW, el segundo de 5.25 hasta 5.35 GHz con potencia máxima de 250 mW, por último, el tercero de 5.725 hasta 5.825 GHz con una potencia máxima de 1 W. Cada una de estas bandas está dividida en múltiples canales de 20 MHz de ancho que no se solapan y utilizan la codificación de acceso OFDM. Este estándar soporta tasas de transferencia de hasta 54 Mbps.

Una ventaja de utilizar este estándar es que la frecuencia en la cual opera no se encuentra saturada por infinidad de distintos dispositivos, como la 2.4 GHz, en la cual dispositivos como microondas y teléfonos inalámbricos también operan, pudiendo causar interferencias. La desventaja es que la distancia de la zona de cobertura disminuye con respecto a los estándares de 2.4 GHz ya que, al utilizar una frecuencia mayor, la distancia que esta puede cubrir disminuye. (Frenzel, 2014)

Como vimos anteriormente, dependiendo de la distancia a la que se encuentre el dispositivo con respecto al punto de acceso, tendrá diferentes tasas de transferencia. En la Figura 12. Se observan estas tasas para este estándar a distintas distancias.

Figura 12. Tasas de transferencia a distintas distancias para el estándar IEEE 802.11a

Velocidad hipotética (en ambientes cerrados)	Rango
54 Mbit/s	10 m
48 Mbit/s	17 m
36 Mbit/s	25 m
24 Mbit/s	30 m
12 Mbit/s	50 m
6 Mbit/s	70 m

(CCM, 2016)

4. 802.11g. El estándar 802.11g fue creado con el objetivo de aumentar la tasa de transferencia en la banda de frecuencias 2.4 GHz. Utiliza también la codificación de acceso OFDM y puede proveer una tasa máxima de 54 Mbps. Es compatible con el estándar 802.11b, pero a las tasas de transferencia de este.

Como vimos anteriormente, dependiendo de la distancia a la que se encuentre el dispositivo con respecto al punto de acceso, tendrá diferentes tasas de transferencia. En la Figura 13. Se observan estas tasas para este estándar a distintas distancias.

Figura 13. Tasas de transferencia a distintas distancias para el estándar IEEE 802.11g

Velocidad hipotética	Rango (en ambientes cerrados)	Rango (al aire libre)
54 Mbit/s	27 m	75 m
48 Mbit/s	29 m	100 m
36 Mbit/s	30 m	120 m
24 Mbit/s	42 m	140 m
18 Mbit/s	55 m	180 m
12 Mbit/s	64 m	250 m
9 Mbit/s	75 m	350 m
6 Mbit/s	90 m	400 m

(CCM, 2016)

5. 802.11n. La versión del estándar, 802.11n, fue creada para incrementar las tasas de transferencias de datos. Esta versión utiliza las bandas de frecuencias no licenciadas de 2.4 GHz y 5 GHz, además de codificación de acceso OFDM. Entre las principales características de esta versión se puede

mencionar que utiliza un sistema de antenas múltiple-entrada múltiple-salida o sistemas MIMO por sus siglas en inglés. Los Puntos de Acceso que soportan este estándar utilizan dos o más antenas para transmitir, y tres o más antenas para recibir información, esto permite que se alcancen tasas de transferencia entre los 100 y los 600 Mbps a distancias de hasta 100 metros. Es uno de los estándares más utilizados por la industria de la tecnología actualmente, y tiene la capacidad de poder comunicarse también con equipo que únicamente soporta los estándares 802.11a/g.

6. 802.11ac. Este estándar utiliza únicamente la banda de frecuencia 5 GHz para tener una menor interferencia y un máximo ancho de banda disponible. Al igual que en estándar 802.11n, este también utiliza la tecnología MIMO y la codificación OFDM. La diferencia reside en que utiliza canales de 80 y 160 MHz de ancho, además del original canal de 40 MHz. Tiene también retro compatibilidad con sus antecesores 802.11a y 802.11n. Soporta tasas de transferencia de hasta 3 Gbps.

7. 802.11ad. Esta versión del estándar utiliza la banda de frecuencias no licenciada de 60 GHz, y es llamada comúnmente por su nombre comercial WiGig. Su banda se extiende desde los 57 hasta los 64 GHz, y divide esto en cuatro bandas de 2.16 GHz. Puede soportar tasas de transferencia de hasta 7 Gbps haciéndola una de las tecnologías inalámbricas más rápidas de la actualidad.

En el Cuadro 8. Podemos apreciar los estándares IEEE 802.11 más actuales, así como datos técnicos de estos, como las tecnologías de codificación de acceso que utilizan, las bandas que utilizan, el rango de operación, entre otros.

Cuadro 8. Estándares IEEE 802.11 más actuales

Estándar IEEE	Banda (GHz)	Codificación de acceso	Modulación	Ancho de Banda del canal	MIMO (Antenas)	Rango (m)	Velocidad máxima
802.11n	2.4/5	OFDM	Hasta 64QAM	20, 40 MHz	Hasta 4x4	100	600 Mbps
802.11ac	5	OFDM	Hasta 256QAM	40, 80, 160 MHz	Hasta 8x8	100	3 Gbps
802.11ad	60	OFDM	Hasta 64QAM	2.16 GHz	<i>beamforming</i>	10	7 Gbps

(Frenzel, 2014)

G. WI-FI

Wi-Fi significa Fidelidad Inalámbrica, y es el nombre de la certificación que otorga la Wi-Fi Alliance, que anteriormente era la Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). Este grupo es encargado de garantizar la compatibilidad entre dispositivos que utilizan los estándares de la familia 802.11. Una red Wi-Fi es una red que cumple con el estándar 802.11. (CCM, 2016). En la Figura 16. Se encuentra el logo de la Wi-Fi Alliance.

Figura 14. Logo de The Wi-Fi Alliance



(The Wi-Fi Alliance)

La Wi-Fi Alliance ofrece la certificación a los productos que hayan cumplido con los estándares de interoperabilidad, seguridad y la aplicación de distintos protocolos. La certificación garantiza que los productos han sido sometidos a rigurosas pruebas en los laboratorios autorizados. De pasar las pruebas, el vendedor tiene el derecho de utilizar el logo Wi-Fi CERTIFIED, el cual podemos observar en la Figura 15.

Figura 15. Logo Wi-Fi Certified



(The Wi-Fi Alliance)

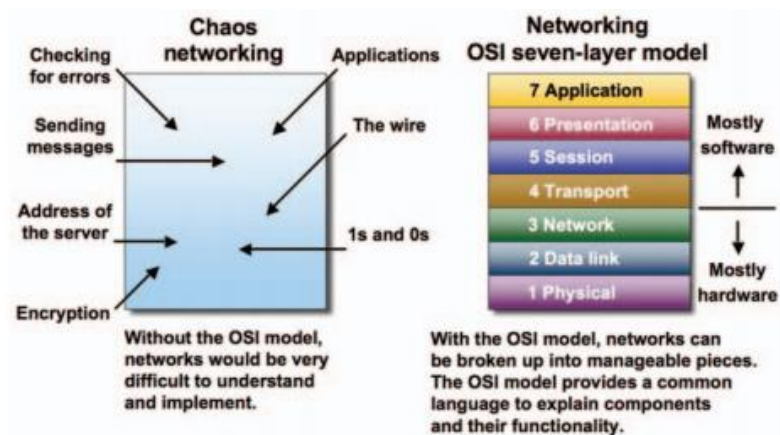
H. MODELO OSI

Debido a que el estándar IEEE 802.11 se enfoca en la comunicación de datos entre dispositivos de red utilizando las tres primeras capas del modelo OSI, es necesario explicar el concepto de este y el funcionamiento del mismo.

El modelo OSI (Open Systems Interconnection) es una referencia teórica para entender las comunicaciones de datos entre dos sistemas de redes. Divide el proceso de comunicación en siete capas, en donde cada capa realiza funciones específicas que sirven de base para las capas superiores y ofrece servicios para las capas inferiores. Las tres capas más bajas se enfocan en pasar el tráfico a través de una red hacia el sistema final, mientras que las cuatro más altas se ejecutan en el sistema final receptor para completar el proceso de comunicación entre los sistemas. (Simoneau, 2006).

El modelo OSI especifica los requerimientos para la comunicación entre dos computadoras, este fue definido por la International Organization for Standardization (ISO) por sus siglas en inglés, alrededor de los años ochenta en el estándar 7498-1, por lo que permite todos los elementos de la red operen entre sí sin importar quien haya creado los protocolos y que fabricantes los utilicen. (Simoneau, 2006). En la Figura 16. Podemos observar la diferencia que tiene utilizar el modelo OSI para para las interfaces de red cambiando de una red difícil de entender y de implementar, a una red donde cada parte ha sido ordenada en segmentos según sus componentes y su función.

Figura 16. Diferencia entre utilizar y no utilizar el modelo OSI



(Simoneau, 2006).

A continuación, se presentan las siete capas del modelo OSI, además de las características principales de las mismas, junto con algunos ejemplos de los protocolos que se implementan en cada una de estas capas.

1. **Capa física.** La capa física del modelo OSI, la capa más baja del modelo, se preocupa por la transmisión y recepción de bits sin ninguna estructura a través de un medio físico. Describe las características eléctricas, ópticas, mecánicas e interfaces funcionales para comunicarse con el medio físico, además de que lleva las señales a las capas más altas. (Microsoft, 2014). Incluye también los conectores, pines, el uso de los pines, corrientes, codificación, modulación, y las reglas sobre como activar y desactivar el uso del medio físico. (Odom, 2008).

2. **Capa de enlace de datos (*Data Link*).** Esta capa define los protocolos que determinan en que momento un dispositivo puede mandar datos a través de un medio en particular. (Odom, 2008). Se encarga también de la verificación de errores en la transmisión y de proveer a las capas superiores datos sin errores de transmisión, además de establecer y terminar el enlace lógico entre dos nodos. (Microsoft, 2014). Ethernet es uno de los estándares más utilizados.

3. **Capa de red (*Network*).** La capa de red controla las operaciones de las subredes, decidiendo que camino físico deben tomar los datos basándose en las condiciones de la red y la prioridad de los servicios que utilizan dichos datos. (Microsoft, 2014). Uno de los protocolos más utilizados es el IP (Internet Protocol).

4. **Capa de transporte.** La capa de transporte ofrece comunicación punto a punto entre los dispositivos finales de una red. Se encarga de verificar que los datos llegaron intactos, así como de controlar el flujo de los datos para prevenir un overflow de memoria o de algún buffer, entre otras funciones. Los protocolos más comunes de esta capa son el TCP (Transmission Control Protocol) y el UDP (User Datagram Protocol). (Simoneau, 2006).

5. **Capa de sesión.** La capa de sesión define la manera de empezar, controlar y terminar conversaciones, comúnmente llamadas sesiones, entre las aplicaciones de los sistemas finales. Esta capa es capaz del manejo de mensajes bidireccionales entre las aplicaciones. (Odom, 2008).

6. **Capa de presentación.** La capa de presentación se encarga de definir y de negociar los formatos de los datos que utilizan las aplicaciones en los sistemas finales, incluye también la encriptación de dichos datos. Los caracteres ASCII son un ejemplo del uso de esta capa. (Odom, 2008).

7. **Capa de aplicación.** La capa de aplicación, la más alta de todas, provee una interfaz entre el usuario final o la aplicación final para poder acceder a los recursos de la red, como por ejemplo el acceso remoto a archivos o el mismo manejo de la red. (Microsoft, 2014).

I. RENDIMIENTO DEL WIFI

1. **Indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI).** El Indicador de Intensidad de Señal Recibida o RSSI por sus siglas en inglés es un parámetro considerado como opcional para los estándares 802.11 con un valor entre 0 y 255. Está diseñado para ser utilizado por los fabricantes como una medida relativa de la señal de radio recibida por el dispositivo. Este indicador se utiliza por un dispositivo inalámbrico para determinar si otro dispositivo se encuentra transmitiendo. Este valor también se utiliza para que un cliente pueda determinar si debe de migrar su conexión a otro punto de acceso.

El problema que existe con el RSSI es que, al ser una medida relativa, cada fabricante escoge sus límites máximos para dicho valor, por lo que puede existir problema con la interpretación de la intensidad de la señal recibida por un dispositivo cliente si este no fuera del mismo fabricante. Otro problema que existe es que los fabricantes también pueden utilizar distintos rangos de valores de RSSI para compararlos con distintos rangos de valores en dBm. Por estos motivos es importante que siempre se utilice la misma tarjeta de red para obtener valores de RSSI, ya que, si se utilizan valores de distintos fabricantes y se trata de compararlos, estos serán diferentes. Se consideran valores óptimos para la mayoría de fabricantes alrededor de los -45 dBm.

2. **Ancho de banda.** El ancho de banda es la medida utilizada para indicar la cantidad de datos que pueden ser transferidos en un medio a un tiempo determinado. Es normalmente medido en bits por segundo. Es una medida teórica de la velocidad de la conexión entre el cliente y la fuente de una descarga. Es la cantidad de información máxima que puede fluir por la red en un periodo de tiempo, pero no es la información que actualmente pasa en dicho momento sino la capacidad máxima que podría pasar.

3. ***Troughput.*** Es la capacidad de información real que un elemento de una red inalámbrica de área local puede transferir en un período de tiempo determinado. El *troughput* es el flujo de datos real, mide el nivel de utilización real del enlace establecido entre el cliente y la red.

4. **Latencia y PING** La latencia es una medida del retardo, este retardo es el tiempo que le toma a un paquete viajar desde la fuente a su destino. La latencia es normalmente expresada en milisegundos, y para la medición de esta se utiliza el PING. PING es un paquete de datos normalmente de 32 bytes el cual se envía a una dirección de destino y se mide el tiempo que le toma a dicho paquete viajar del cliente al destino y regresar al cliente. Este tiempo se denomina normalmente como el tiempo redondo de viaje o RTT por sus siglas en inglés.

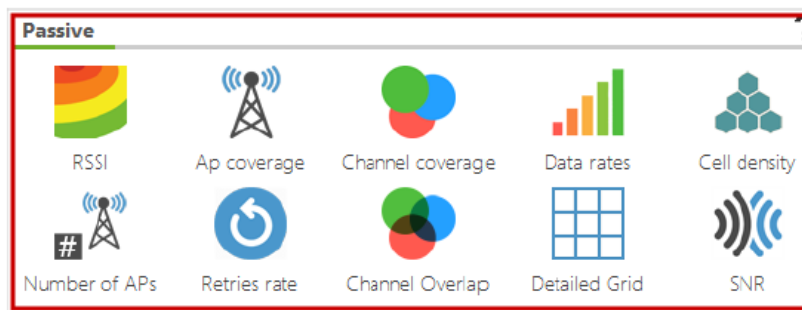
J. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE WIFI: ACRYLIC WI-FI HEATMAPS

Para analizar la calidad de una red WiFi es necesario realizar la medición de distintas características que estas redes presentan. Estas características se pueden llegar a medir por medio de un *Site Survey* el cual es un análisis de campo en el sitio en donde se quiere determinar la calidad de dicha red WiFi. La medición de estas características es normalmente realizada utilizando software capaz de realizar estudios de la propagación de la señal de redes inalámbricas, el cual no solo es capaz de analizar el estado real de la cobertura de la red WiFi sino también del rendimiento de la misma. Los estudios de campo serán realizados con la herramienta Acrylic Wi-Fi Heatmaps, la cual es capaz de realizar estos estudios y ayudarnos a comprender el estado de la red WiFi. Con la información que se obtiene de realizar el estudio de campo es posible identificar, cuantificar y diagnosticar los problemas que puedan llegar a tener un impacto negativo en el rendimiento y salud de las comunicaciones inalámbricas de la red WiFi. En el Anexo A. se puede encontrar más información acerca de la herramienta, mientras que en el Anexo B se detallan y se ejemplifican los mapas de calor que se generan por el programa.

Existen dos tipos de estudio que pueden realizarse de manera gráfica y que son de mucha utilidad para conocer el estado de una red WiFi y que la herramienta utilizada para dicho propósito en este trabajo, Acrylic Wi-Fi Heatmaps es capaz de realizar. El primero de estos estudios se denomina Pasivo y se utiliza para captar las características propias de la red a la que se le realiza el estudio por medio de mapas de calor. El segundo tipo de estudio se denomina Activo el cual se conecta a la red WiFi para interactuar con ella y poder obtener valores del funcionamiento de dicha red, graficando estos también en mapas de calor. A continuación, se listan algunos de los valores que se miden en ambos tipos de estudio y que se grafican para conocer las características de la red.

1. Estudio pasivo. En la Figura 17. Se pueden observar los distintos análisis que la herramienta de software es capaz de realizar en modo pasivo.

Figura 17. Mapas de calor generados en el modo pasivo



(Acrylic, 2016)

a. Nivel de señal (RSSI). Es un gráfico la intensidad de señal recibida por el dispositivo, los valores pueden variar entre los 0 dBm hasta los -100 dBm. Para tener una comunicación óptima los valores deben estar entre los -40 y los -70 dBm, arriba de los -40 dBm es un valor que difícilmente se logra en el campo.

b. Cobertura de punto de acceso. Es una representación del punto de acceso que tiene la mejor cobertura en una zona. La idea detrás de este gráfico es descubrir puntos que estén siendo infrautilizados.

c. Cobertura de canal. Es una representación del canal recibido con mayor intensidad de señal en cada punto. Con este grafico se puede encontrar solapamientos de canales.

d. Tasas de transferencia. Este grafico pretende representar las tasas de transferencia soportadas por los puntos de acceso que presentan mayor cobertura en una zona. Es importante buscar que en la mayor área posible exista la mayor tasa de transferencia. Los valores de la tasa de transferencia que se muestran en este grafico no garantizan que todo el ancho banda disponible pueda ser alcanzado.

e. Número de puntos de acceso. Este gráfico es útil para representar el número de puntos de acceso que se detectan en cada zona. Este gráfico combinado con el de Solapamiento de canal provee información muy valiosa para determinar el estado de una red de área local inalámbrica.

f. Tasa de reenvíos. Este mapa de calor sirve para representar la tasa de reenvíos detectados mediante el análisis del tráfico capturado de manera pasiva, es decir, sin estar conectado a la red WiFi. Un reenvío es el resultado de una transmisión fallida por varios factores, como pueden ser un nivel de ruido excesivo, interferencias y o una mala ubicación de los puntos de acceso. Este mapa de calor puede

únicamente ser obtenido si el estudio se realiza en modo monitor.

g. **Solapamiento de canales.** Este mapa de calor representa la medida del nivel de solapamiento de los canales en cada área. El gráfico incluye también interferencias co-canal y de canal adyacente.

La interferencia de canal adyacente se produce cuando existe otro Punto de Acceso emitiendo en un canal próximo de modo que las frecuencias de emisión se solapen. Depende del ancho del canal que utilicen los puntos de acceso además de la diferencia entre las intensidades de señal de esta, como diferencias inferiores a 20 dBm. La interferencia co-canal se produce cuando varios puntos de acceso emiten y en el mismo canal, y la diferencia entre la intensidad de señal es menor a 20 dBm.

h. **Relación señal-ruido.** Este mapa de calor muestra los valores que existen entre la intensidad de la señal recibida y el ruido existente percibido por el dispositivo. Se puede asociar el SNR, por sus siglas en inglés, con el nivel de señal con el que se reciben los paquetes de datos de un punto de acceso.

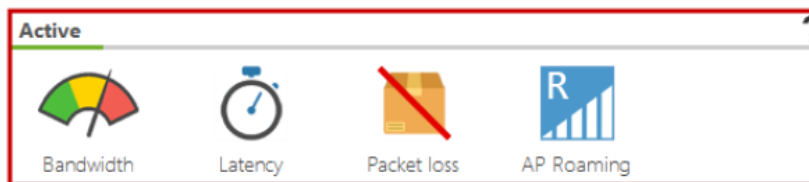
La relación señal-ruido es bastante útil para medir la calidad que posee una comunicación entre dos dispositivos. Su valor puede oscilar entre 0, siendo este el peor, hasta 100, el cual sería el mejor. Buenos valores para una comunicación se logran a partir de un índice de 60. Se debe mencionar que este mapa de calor únicamente puede ser realizado utilizando un dispositivo de captura Airpcap.

i. **Densidad de dispositivos.** Este mapa de calor representa la densidad de los dispositivos conectados a un Punto de Acceso en una zona. Permite observar las zonas que cuentan con el mayor número de dispositivos WiFi conectados, con el objetivo de identificar los puntos de acceso que deban ser optimizados para soportar un mayor número de conexiones.

Una zona que tenga una densidad de dispositivos alta puede tener un impacto negativo en el rendimiento de una red WiFi, ya que existe una mayor ocupación del medio inalámbrico. Este mapa de calor solo puede realizarse cuando el estudio se realiza en modo monitor.

2. Estudio activo. En la Figura 18. Se pueden observar los distintos análisis que la herramienta de software es capaz de realizar en el modo activo.

Figura 18. Mapas de calor generados en el modo activo



(Acrylic, 2016)

a. Ancho de banda. Este mapa de calor representa el ancho de banda en Kbps en cada punto del área en la que se ha realizado el estudio. Existen dos formas de realizar este gráfico, las cuales tienen impacto en la precisión de los datos obtenidos. Un ancho de banda mayor representa que la red tiene un mayor rendimiento global.

Una de las formas de realizar este mapa de calor es realizando la descarga de un archivo de gran tamaño y tomar los datos de la velocidad de descarga de este en cada punto, este método no es tan preciso porque no se tiene el control de los servidores de los que se descarga el archivo ni de otros factores que puedan hacer que nuestra descarga sea más lenta y que esto se vea reflejado en nuestro estudio. La otra forma es con la implementación de un servidor iperf el cual permite saturar el enlace entre el equipo y el servidor con tráfico de paquetes, por lo que al tener el control de ambas partes se garantiza mayor precisión en este método que en la descarga de un archivo.

b. Latencia. Este gráfico representa el tiempo necesario en transmitir un paquete de datos, en milisegundos, y recibir el paquete de confirmación de que el paquete se ha enviado correctamente. Este es un parámetro muy importante para servicios que requieran respuestas rápidas, como pueden ser las comunicaciones como la Voz IP, (VoIP) *streaming* y videoconferencias. Los valores de latencia están relacionados con la experiencia final del usuario de la red de área local inalámbrica. Es recomendable tener valores de latencia que estén por debajo de los 150 milisegundos.

c. Tasa de pérdida de paquetes. La tasa de pérdida de paquetes es el porcentaje de paquetes que se pierden en la transmisión, es decir, que no son capaces de llegar al destino correctamente y que han tenido que transmitirse nuevamente. No debe confundirse con la Pérdida de Paquetes que se trató antes en la captura pasiva, la cual indica la tasa de paquetes WiFi que han tenido que enviarse de nuevo. El valor de este gráfico indica la tasa de paquetes que han sido perdidos en la capa 4 del modelo OSI. Es recomendable que estos valores estén por debajo del 1% para garantizar que el funcionamiento de la red es óptimo.

d. Itinerancia (*roaming*). Cuando uno se desplaza en instalaciones con una infraestructura inalámbrica, se desea que la conectividad de los dispositivos conectados a la red se mantenga. Para este propósito es necesario que los dispositivos se deban conectar a nuevos Puntos de Acceso de la misma red para que la conectividad, calidad de la comunicación se mantenga y no se degrade.

Con este mapa de calor puede visualizarse las zonas en las que un equipo se mantiene correctamente conectado a la red y a qué punto de acceso se encuentra conectado. Para garantizar que no existan cortes de conectividad y que sea posible mantener una conexión inalámbrica con un dispositivo en movimiento, es preferible que toda el área soporte roaming.

V. DISEÑO EXPERIMENTAL

A. MATERIALES

- 1 Computadora portátil con las siguientes especificaciones

Cuadro 9. Especificaciones de la computadora portátil utilizada

Marca y modelo	Toshiba Satellite C55Dt-A
Procesador	AMD A6-5200 2.00 GHz
Memoria RAM	8.00 Gb
Sistema operativo	Windows 10 64 bits
Tarjeta de red WiFi	Realtek RTL8188EE

- 1 Raspberry Pi 2 modelo B

Cuadro 10. Especificaciones de la Raspberry Pi 2 modelo B

Procesador	ARM Cortex-A7 900 MHz
Memoria RAM	1.00 Gb
Sistema operativo utilizado	Raspbian GNU/Linux 8 (jessie)

- 1 Adaptador WiFi USB para Raspberry Pi 12VoltNet
- 1 Adaptador WiFi USB Netgear A6200
- 1 Adaptador TRENDnet AC600
- 1 Pantalla táctil para Raspberry Pi 2 modelo B Adafruit PiTFT Plus 480x320 3.5" TFT
- Software Acrylic Wi-Fi Heatmaps con licencia estudiantil
- 1 Batería portátil Lumsing Glory P1 Mini 5V/2.4A 8000 mAh
- 1 Raspberry Pi 1 modelo B
- Teclado inalámbrico con mouse incorporado
- GPS USB Globalsat BU-353S4

Cuadro 11. Especificaciones de la Raspberry Pi 1 modelo B

Procesador	ARM 1176JZF-S 700 MHz
Memoria RAM	512 Mb
Sistema operativo utilizado	Raspbian GNU/Linux 8 (jessie)

B. SELECCIÓN DE HERRAMIENTA DE SITE SURVEY

En la actualidad existe una gran variedad de paquetes de software dedicados a la realización de análisis de la calidad de una red de área local inalámbrica. Dichas herramientas pueden ser propias de los fabricantes de equipos para comunicaciones inalámbricas o de compañías dedicadas exclusivamente al desarrollo de herramientas de software para redes. Algunas de estos paquetes de software permiten realizar los estudios únicamente si se utilizan los equipos para dicho fin, este no es el caso de la herramienta Acrylic Wi-Fi Heatmaps, la cual es compatible con computadoras con sistema operativo Windows 10 de 32 y de 64 bits, por lo que era compatible con la computadora portátil a utilizar, además de que se cumplían los requerimientos mínimos para la utilización de la herramienta, los cuales se encuentran listados en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Requerimientos mínimos de Acrylic Wi-Fi Heatmaps

Sistemas operativos compatibles	Windows Vista (32bits, 64bits) Windows 7 (32bits, 64bits) Windows 8 (32bits, 64bits) Windows 8.1 (32bits, 64bits) Windows 10 (32bits, 64bits)
Bibliotecas necesarias	Microsoft .Net Framework 4.5
Procesador	1.5 GHz (dos o más núcleos)
Memoria RAM	2 Gb (se recomienda 4Gb)
Espacio disponible en disco duro	40 Mb para el software 500 Mb para la generación de informes
Adaptadores WiFi soportados	Compatible con una gran cantidad de dispositivos

Una licencia mensual del software Acrylic WiFi Heatmaps actualmente tiene un costo aproximado de 160.00 USD, sin embargo, la compañía ofrece licencias educacionales a alumnos y profesores de distintas universidades para que puedan informarse y aprender de las redes WiFi, dichas licencias poseen todas las características de las licencias pagadas y las ofrecen gratuitamente con la condición de que el uso de estas no tenga fines de lucro.

Para este trabajo de graduación se pretende recopilar información de las condiciones actuales de la red WiFi que ofrece la Universidad en el campus central de esta, por lo que este tipo de licencia es adecuado para tal propósito y fue este el que se utilizó. Cabe resaltar que el uso de la licencia educativa no es por profesionales a cargo del mantenimiento y funcionamiento de la red WiFi de la Universidad, ni por personas a cargo del manejo y diseño de la misma. La información recopilada por la herramienta no pretende tener un

impacto directo en el manejo y administración de la red WiFi de la Universidad, sino que únicamente pretende comprender el estado de la misma para poder comprender el porqué del funcionamiento actual de ella y la percepción que se tiene de ella por parte de los usuarios, por lo que no viola los términos de utilización de la licencia educacional.

Para obtener la licencia educacional se debe registrar una dirección de correo electrónico del dominio de la Universidad, para que Acrylic se ponga en contacto con nosotros y nos envíe un código de activación para poder utilizar el software. Dicha licencia debe introducirse la primera vez que se utiliza el software luego de su instalación.

C. SELECCIÓN DE TARJETA DE RED USB

El software para la generación de mapas de calor Acrylic Wi-Fi Heatmaps es capaz de utilizar cualquier tarjeta de red WiFi para realizar las mediciones y de ellas generar los distintos mapas, ya sea en modo pasivo o en modo activo. Sin embargo, el software cuenta con un modo de captura avanzado el cual brinda una serie de características extras las cuales son de bastante utilidad para determinar el estado de una red. Este modo es denominado como modo Monitor.

Es importante que la tarjeta de red utilizada sea compatible con el modo monitor del software, y para tal propósito es necesario verificar que la tarjeta de red seleccionada sea capaz de tener un correcto funcionamiento con los drivers NDIS que la misma herramienta de software provee para Windows. De no proporcionar el soporte correcto para los drivers NDIS la información brindada en el Site Survey por la tarjeta de red puede no ser totalmente correcta.

El desarrollador del software Acrylic provee una lista del hardware compatible para la realización de este estudio, e incluso recomienda algunas tarjetas de red USB para utilizarlas con Windows. Siguiendo la recomendación del desarrollador se dispone a utilizar el adaptador WiFi USB Netgear A6200, el cual puede funcionar tanto en la banda 2.4 GHz o 5 GHz, y es compatible con los estándares 802.11 b/g/n para 2.4 GHz y 802.11 a/n/ac para 5 GHz.

La otra tarjeta de red USB, la TRENDnet AC600 se utilizó con el propósito de realizar las mediciones para los mapas de calor en la frecuencia de 2.4 GHz y de 5 GHz, ya que el adaptador de red inalámbrico de la computadora personal utilizada no cuenta con la capacidad de funcionar en ambas bandas, sino únicamente en la de 2.4 GHz.

D. DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA LA VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA POR LA HERRAMIENTA DE SITE SURVEY

Se desarrolló una herramienta capaz de realizar pruebas de velocidad de descarga, velocidad de subida, latencia y *throughput* y para tal propósito se utilizó el lenguaje de programación Python ejecutándose en una Raspberry Pi 2 modelo B. Se decidió utilizar Python debido a la facilidad que tiene este en adaptarse a los sistemas Unix, como lo es el caso del sistema Raspbian que utiliza nuestra Raspberry Pi 2.

Se utilizó la herramienta `speedtest-cli`, el cual es una interfaz que se ejecuta en línea de comando para poder realizar las pruebas mencionadas anteriormente en los servidores de `speedtest.net`, pero que también puede ejecutarse en un código de Python. Primero se instaló la herramienta en la Raspberry Pi con el siguiente comando.

- `sudo apt-get install python-pip`
- `sudo pip install speedtest-cli`

Seguido de esto, se creó un archivo el cual temporalmente va a almacenar los resultados del *speedtest* realizado anteriormente y de cualquiera que se realice más adelante

- `date >> /home/pi/speedtest.log`
- `/usr/local/bin/speedtest --simple >> /home/pi/speedtest.log`

Luego se utilizó una nueva herramienta la cual era capaz de tomar esta información que nos muestra el *speedtest* realizado anteriormente y presentarlo en una forma útil para su presentación. Esta herramienta se llama `speedtest-cli-extras` y contiene un pequeño programa llamado `speedtest-csv`, el cual es capaz de brindar la información del *speedtest* ordenadamente separada por comas o cualquier carácter que se especifique.

- `git clone https://github.com/HenrikBengtsson/speedtest-cli-extras.git`

Estas herramientas instaladas anteriormente pueden ser llamadas desde Python, y además de esto permiten que los datos que generan puedan ser utilizados también en Python. Es importante saber también que a estas herramientas también pueden introducirse parámetros los cuales modifican el comportamiento de las pruebas que conducen según sean nuestras necesidades. Se integró la herramienta `speedtest-cli-extras` a Python y se le introdujeron los siguientes parámetros propios de la herramienta para que mostrara el

encabezado de los datos, para que los separe con comas, para que no genere una imagen para compartir los resultados, y por último para que muestre los datos con el mismo formato.

- `--header`
- `--sep <str>`
- `--no-share`
- `--standardize`

Esta herramienta, `speedtest-csv`, al ser una extensión de `speedtest-cli`, puede utilizar los mismos parámetros que esta, lo cual se utilizó para mantener en todas las pruebas el mismo servidor de prueba de `speedtest.net`. El servidor de prueba utilizado fue el de `speedtest.net` Tigo Guatemala para todas las pruebas realizadas, y se dejó fijo este servidor ingresando el siguiente parámetro a la herramienta `speedtest-csv`.

- `--server`

La herramienta que se desarrolló también es capaz de realizar mediciones de *throughput* por medio de la utilización del software `Iperf`. `Iperf` es una herramienta de Linux la cual se utiliza para probar el ancho de banda. Para su utilización se requiere que la herramienta se encuentre instalada en dos Raspberry, en donde una de estas cumple con la función de servidor (Raspberry Pi 1) y la otra de cliente (Raspberry Pi 2). El cliente envía paquetes de información a través de la red y el servidor recibe esta información y calcula estadísticas como el ancho de banda. Para instalar la herramienta se utilizó el siguiente comando en ambas Raspberry Pi.

- `sudo apt-get install iperf`

Para realizar la prueba del ancho de banda `Iperf` ofrece dos modos, el que se utilizó es el TCP. La prueba TCP inyecta la mayor cantidad de tráfico posible entre las dos Raspberry Pi. Hay que tomar en cuenta que el ancho de banda teórico máximo que puede alcanzar la Raspberry Pi es de 100 Mbps debido a la interfaz que poseen. Se debe tomar en cuenta también que esta prueba depende también de la velocidad del procesador para poder alcanzar un ancho de banda máximo. Para utilizar la herramienta se debe utilizar el siguiente comando para el servidor.

- `iperf -s`

Y el siguiente para el cliente. La dirección IP mostrada en el comando es solo un ejemplo, debe de utilizarse la dirección IP que posea el equipo que sea el servidor, en este caso la Raspberry Pi 1. Es estrictamente necesario iniciar el servidor antes que el cliente para que la prueba funcione adecuadamente.

- `iperf -c 172.20.1.26`

E. CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA TÁCTIL PARA LA RASPBERRY PI 2 MODELO B

Uno de los propósitos de la herramienta implementada es que tenga la capacidad de poder utilizarse sin depender de algún otro equipo como una computadora portátil, o algún dispositivo para interactuar con ella. Por esta razón se realizó la configuración de una pantalla táctil para que la Raspberry Pi 2 pudiera llegar a los sitios donde debe realizarse una medición y poder tomar dicha medición además de observar los resultados de esta y enviarlos a una computadora portátil siempre por medio de la red WiFi.

Se optó por la utilización de la pantalla táctil resistiva de Adafruit PiTFT Plus 480x320 3.5" TFT la cual se adquirió por medio del sitio del fabricante. El fabricante provee un gran soporte para dicha pantalla y garantiza el funcionamiento de la misma con la Raspberry Pi 2 modelo B. Para configurar la pantalla en nuestra Raspberry Pi primero debemos de agregar el repositorio `apt.adafruit.com` a nuestro equipo, lo cual lo hacemos con el siguiente comando.

- `curl -SLs https://apt.adafruit.com/add-pin | sudo bash`

Luego se descargó e instaló algunas librerías para el funcionamiento y calibración de la pantalla en nuestra Raspberry Pi 2, para lo cual se utilizaron los siguientes dos comandos.

- `sudo apt-get install raspberrypi-bootloader`
- `sudo apt-get install adafruit-pitft-helper`

Ahora vamos a ejecutar una de las librerías instaladas anteriormente, la cual sirve para configurar y calibrar la pantalla en la Raspberry Pi 2, por lo que debemos indicar que estamos utilizando una pantalla de 3.5 pulgadas del tipo resistivo, lo cual se realizó con el siguiente comando.

- `sudo adafruit-pitft-helper -t 35r`

Por último, se reinició la Raspberry Pi para que los cambios surjan efecto y se pueda desplegar el escritorio del sistema Raspbian en la pantalla táctil de la Raspberry Pi 2 modelo B.

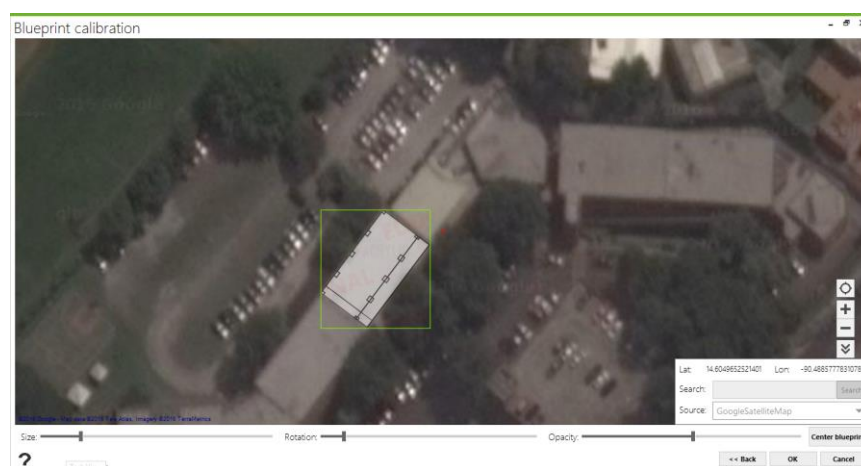
- sudo reboot

F. CONFIGURACIÓN Y USO DEL SOFTWARE ACRYLIC WI-FI HEATMAPS

Lo primero que muestra el programa al abrirlo es una ventana de Inicio Rápido. En esta ventana se creó un nuevo proyecto. Luego se presenta otra ventana en la cual se deben ingresar los datos del proyecto, tales como el nombre del mismo, una breve descripción, *etc.* En esta ventana es donde también se agregaron las ubicaciones en la cuales se realizó el estudio. Al agregar una ubicación, es necesario ingresar un plano o un bosquejo del área a realizar el estudio.

La herramienta provee la opción de calibrar dicho plano sobre un mapa satelital, el cual es útil no solo para proveer las dimensiones al plano en el software sino para tener la localización exacta con coordenadas reales de cada medición realizada en el estudio. Se procedió a calibrar satelitalmente los planos, bosquejos e imágenes utilizadas para la realización de las mediciones, este proceso puede verse en la Figura 19, en donde se muestra un bosquejo de la cafetería de la Universidad del Valle de Guatemala referenciado con imágenes satelitales. En el Anexo C. se encuentran los mapas obtenidos y generados de la Universidad del Valle campus central.

Figura 19. Ejemplo de la calibración satelital



Teniendo las áreas en las cuales será realizado el estudio de campo ya con sus planos calibrados satelitalmente se procedió a realizar la configuración del software para la realización correcta del estudio tanto en modo pasivo, como en modo activo. Se procedió también a realizar la instalación y habilitación de

los drivers NDIS para permitir la captura de paquetes en modo monitor. En la Figura 20. Se puede observar la configuración para el modo activo, en ese momento se utilizó el servidor iperf con dirección IP que se observa en la figura, además de la dirección de la puerta de enlace para realizar las pruebas de latencia. Es importante que la tarjeta de red que va a realizar el análisis en modo pasivo o modo monitor no esté conectada a ninguna red de área local inalámbrica, únicamente la que realiza el estudio en modo activo.

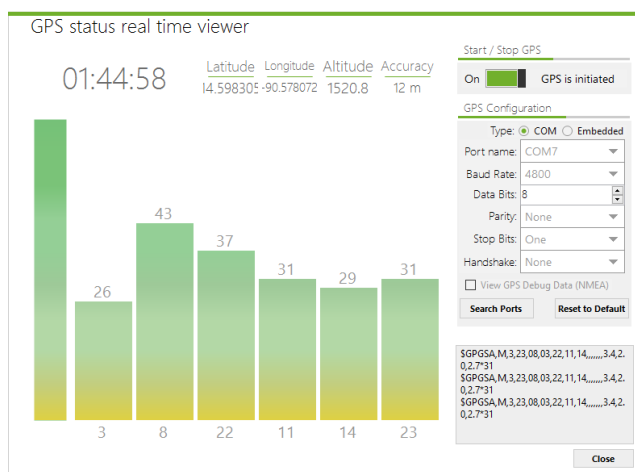
Figura 20. Configuración del modo activo.

Luego se procedió a realizar la configuración para la captura en modo monitor, para lo cual fue necesario activar dicha función y colocar como dispositivo primario la tarjeta de red Netgear A6200. Para utilizar el modo monitor se habilitó la opción de Salto de Canal o *Channel Hopping*, la cual permite recolectar datos de la red para los puntos de acceso que transmitan en la banda 2.4 GHz y 5 GHz, alternando entre estas en un periodo de tiempo determinado. Se determinó el tiempo de 114 milisegundos para alternar entre las dos bandas, como se puede observar en la Figura 21.

Figura 21. Configuración del salto de canal.

Para las pruebas en exteriores y áreas de mucho tamaño se habilito el uso del Sistema de Posicionamiento Global, GPS por sus siglas en inglés, para que las mediciones se realicen cada vez que se detecte un cambio en las coordenadas de este. En la Figura 22. Se observa la configuración y para el correcto funcionamiento del GPS en el software. El GPS se conecta con la computadora de manera serial, por lo que esta lo detecta como un puerto COM, en este caso COM7. Los bits de datos deben de ser 8, debe de utilizar un *baudrate* de 4800, ningún bit de paridad, y un único bit para detenerse. Cabe mencionar que el sistema GPS no funciona correctamente en interiores.

Figura 22. Configuración y correcto funcionamiento del GPS

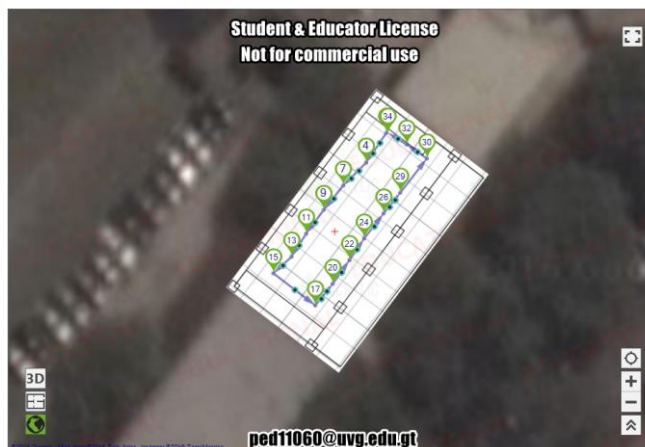


Habiendo realizado las configuraciones anteriores se puede procedió a realizar las mediciones de campo para la generación de los mapas de calor. Todas las mediciones se realizaron utilizando el modo continuo, exceptuando las de exteriores, las cuales se realizaron utilizando el modo GPS.

G. GENERACIÓN DE LOS MAPAS DE CALOR Y OBTENCIÓN DE CORRELACIONES

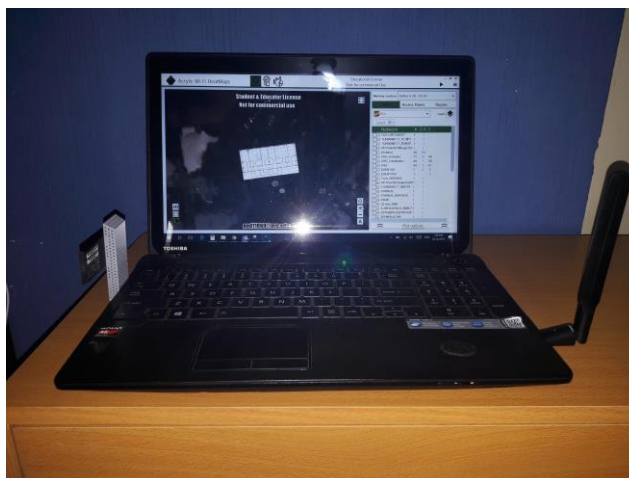
Para la generación de un mapa de calor de un sitio es necesario realizar un recorrido físico por todo el sitio tratando de alcanzar y de caminar en la mayoría de puntos posibles de este. Es necesario cubrir la mayor parte de área con los recorridos y de marcar con exactitud los puntos que tendrá dicho recorrido. Para la generación de los mapas de calor se caminó con el equipo a velocidad constante por todas las áreas en las cuales se deseaba realizar una medición y se marcó en el mapa cada vez que se realiza un cambio de dirección. En la Figura 23. Se observa el ejemplo de un recorrido realizado en la cafetería de la Universidad del Valle de Guatemala campus central. Los recorridos se realizaron utilizando el modo continuo del programa, exceptuando los de exteriores los cuales se realizaron con la ayuda del GPS.

Figura 23. Recorrido realizado en la cafetería de la Universidad.



Para la obtención de los índices de correlación de las mediciones que provee la herramienta de validación de la información implementada fue necesario para cada punto del recorrido, realizar una medición con dicha herramienta. Esto con el propósito de obtener la intensidad de señal de la red en ese punto para luego compararlo con los datos de velocidad de descarga, velocidad de subida de archivos, latencia y *throughput* que nos da la herramienta y obtener la relación que existe entre estos valores. Se realizaron estas pruebas en diez recorridos, en modo manual, tomando como mínimo 20 puntos de medición en cada recorrido, dichas pruebas se realizaron en el laboratorio de electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala campus central. En la Figura 24. Se observa la computadora personal utilizada para realizar las mediciones junto con las tarjetas de red utilizadas, teniendo en la izquierda a la Netgear A6200 y a la derecha a la TRENDnet AC600.

Figura 24. Computadora personal utilizada para la generación de los mapas de calor



Fue necesario también encontrar el comportamiento que tiene el ancho de banda de la red WiFi UVG que provee la universidad a lo largo del tiempo, con el objetivo de encontrar si este presenta algún patrón que pudiera relacionarse con la cantidad de usuarios en la Universidad o algún otro factor. Para este propósito la herramienta implementada obtuvo y graficó las velocidades de descarga, de subida y la latencia en la red UVG constantemente cada cinco minutos todo el día durante una semana.

Estas pruebas se realizaron con las pruebas de speedtest.net. Se realizaron también pruebas montando el servidor iperf y colocando la Raspberry Pi 1 modelo B como servidor y una Raspberry pi 2 modelo B como cliente tomando muestras cada minuto a lo largo de todo un día. Dichas pruebas realizadas en iperf fueron graficadas con el complemento Jperf, el cual provee un ambiente grafico para las pruebas de iperf.

VI. RESULTADOS

A. HERRAMIENTA IMPLEMENTADA

Figura 25. Herramienta implementada



B. ÍNDICES DE CORRELACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LA RED UVG A LO LARGO DEL TIEMPO

Cuadro 13. Índices de correlación lineal de las pruebas de velocidad de speedtest.net

Índices de correlación lineal	
RSSI (dBm) - PING (ms)	0.04
RSSI (dBm) - Download (Mbit/s)	0.45
RSSI (dBm) - Upload (Mbit/s)	0.33
PING (ms) - Download (Mbit/s)	-0.05
PING (ms) - Upload (Mbit/s)	-0.18
Download (Mbit/s) - Upload (Mbit/s)	0.32

Cuadro 14. Índices de correlación lineal de las pruebas de *throughput* de iperf.

Índices de correlación lineal	
<i>Throughput</i> (Mbits/s) - RSSI (dBm)	0.23
<i>Throughput</i> (Mbits/s) - Latencia (ms)	-0.17
RSSI (dBm) - Latencia (ms)	-0.24

Figura 26. Pruebas de velocidad en día sábado

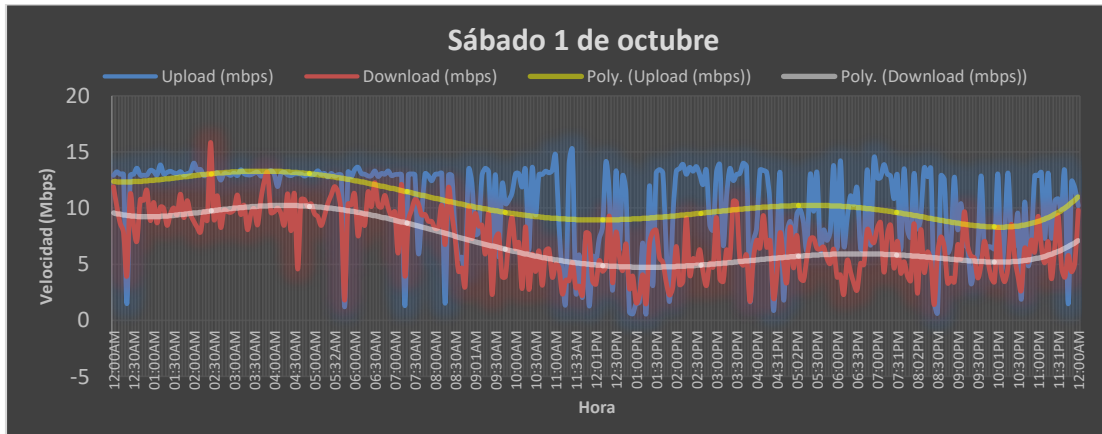


Figura 27. Latencia en día sábado

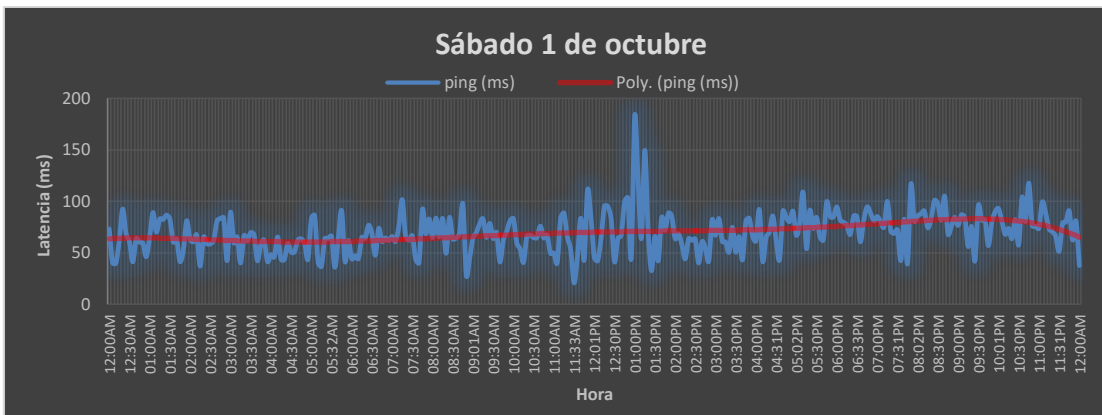


Figura 28. Pruebas de velocidad en día domingo

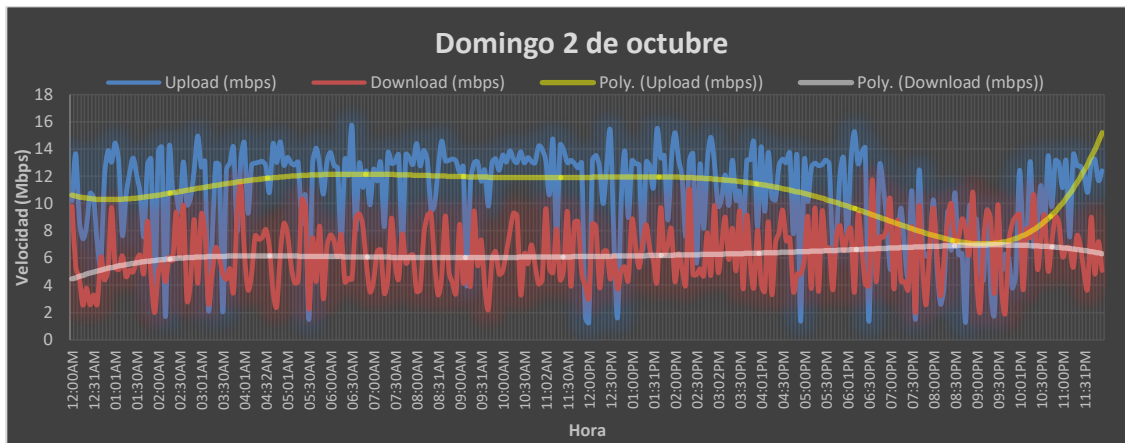


Figura 29. Latencia en día domingo

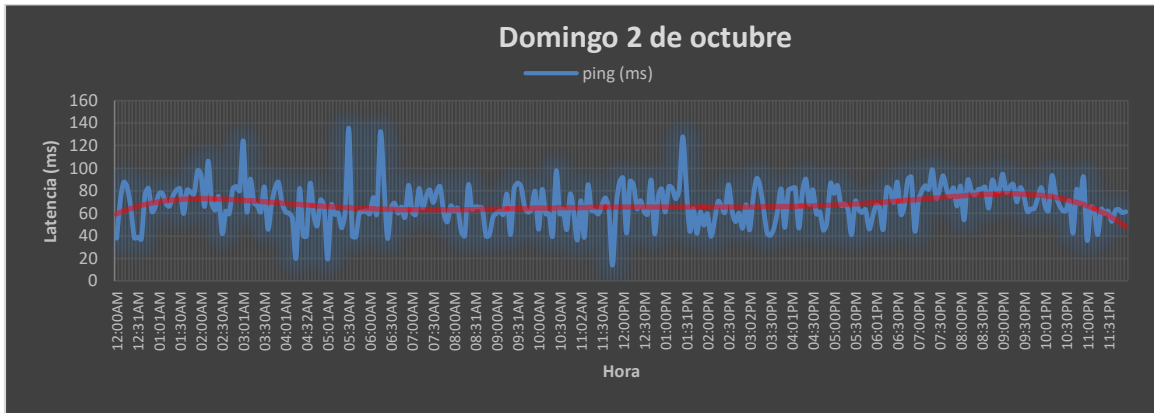


Figura 30. Pruebas de velocidad en día lunes

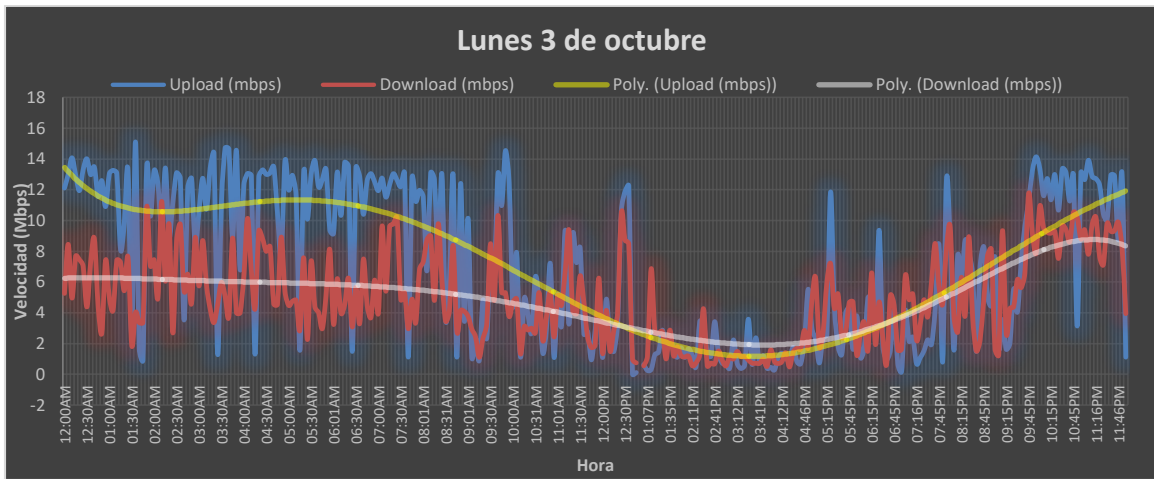


Figura 31. Latencia en día lunes

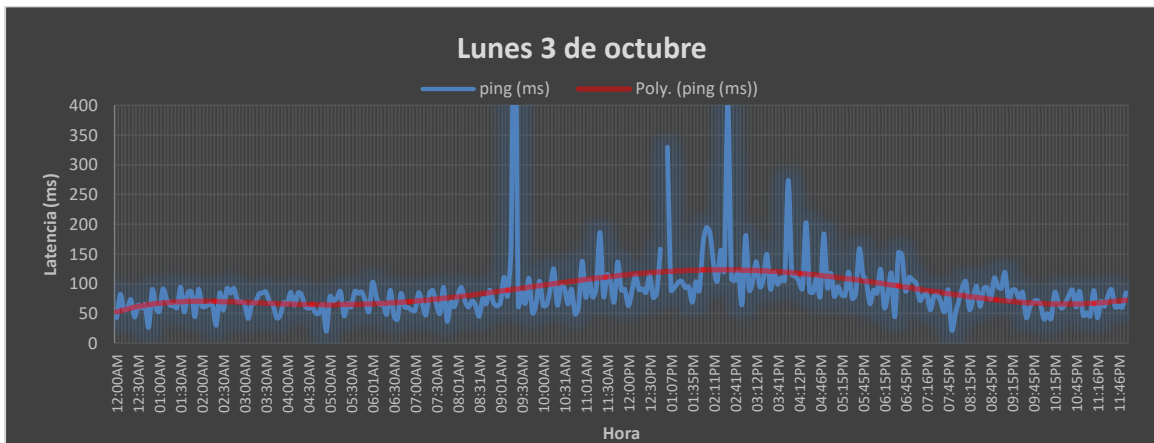


Figura 32. Pruebas de velocidad en día martes

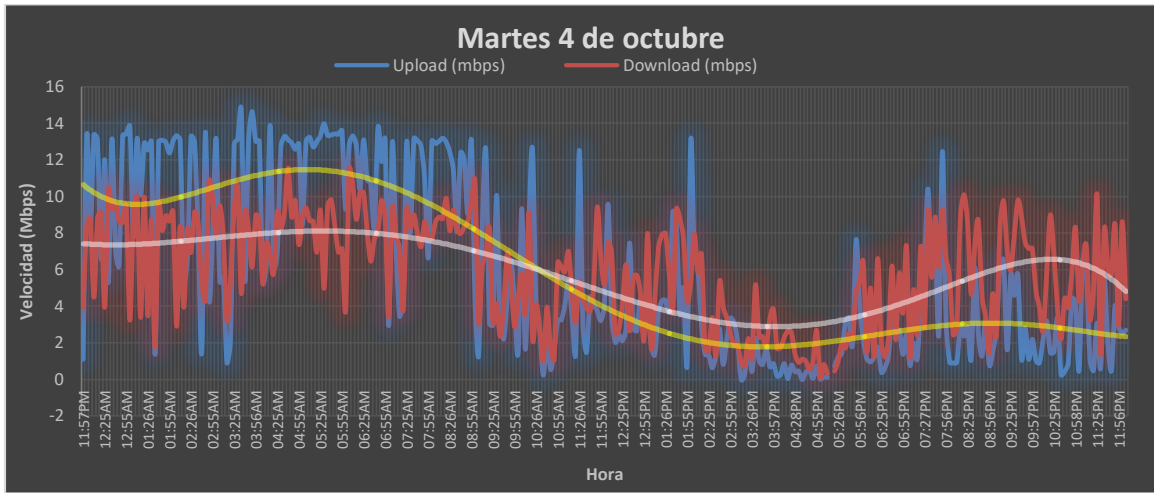


Figura 33. Latencia en día martes

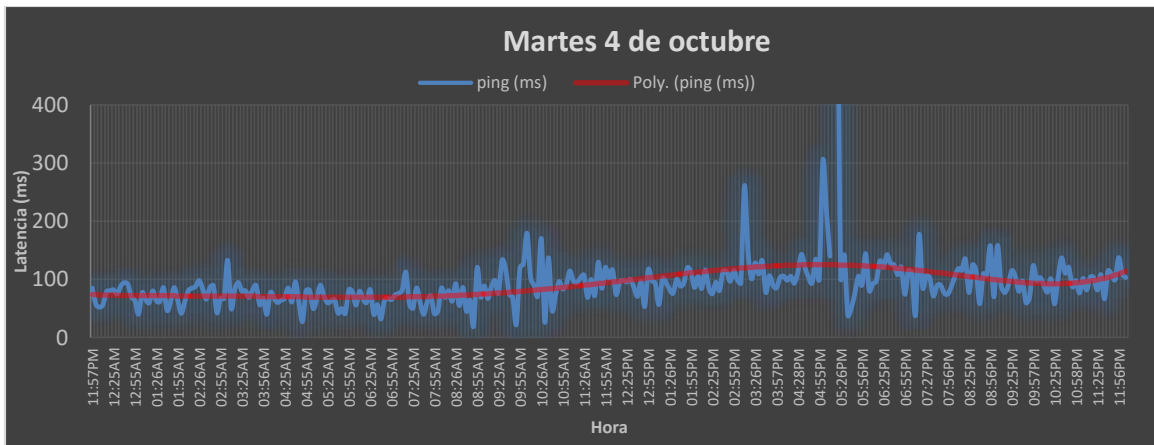


Figura 34. Pruebas de velocidad en día miércoles

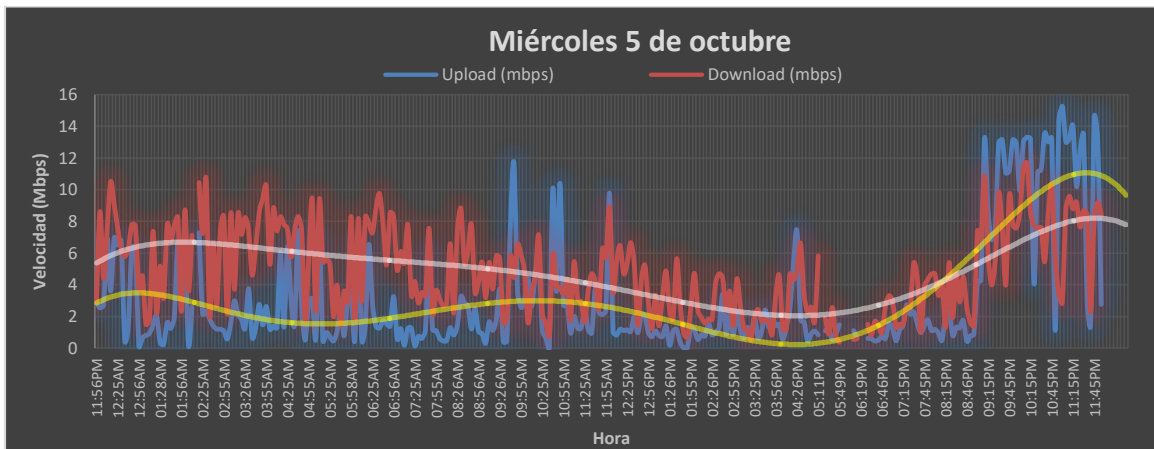


Figura 35. Latencia en día miércoles

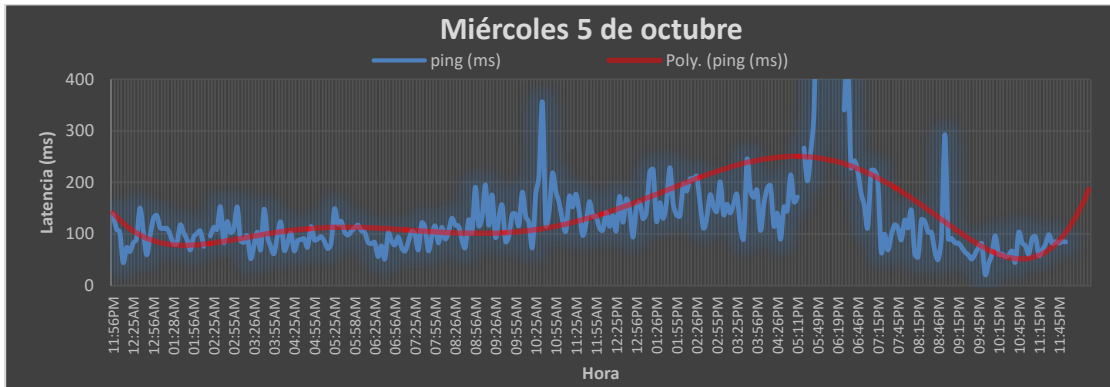


Figura 36. Pruebas de velocidad en día jueves

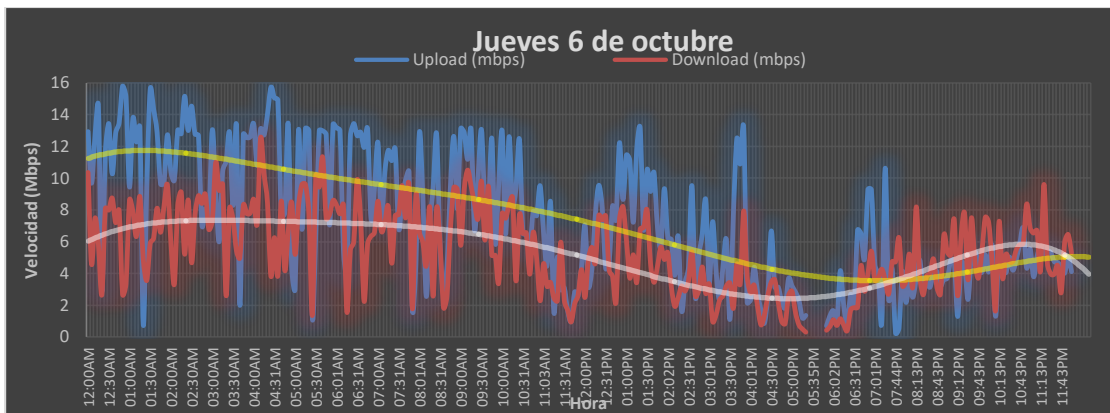


Figura 37. Latencia en día jueves.

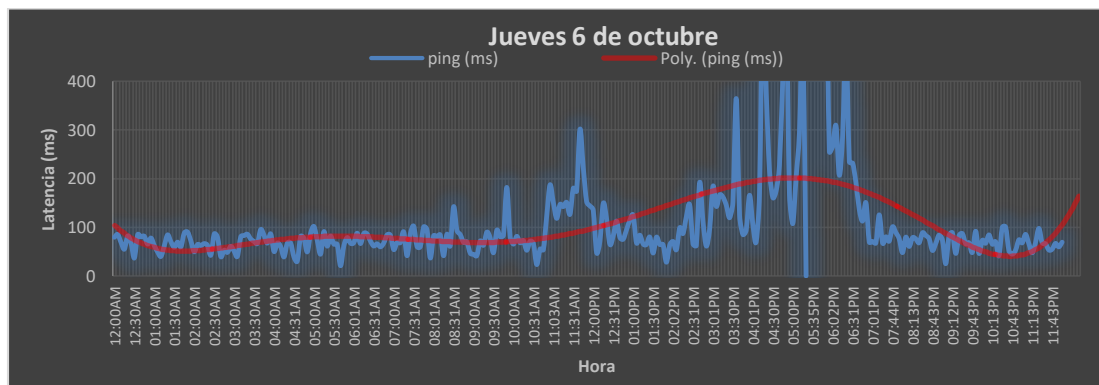


Figura 38. Pruebas de velocidad en día lunes de otra semana

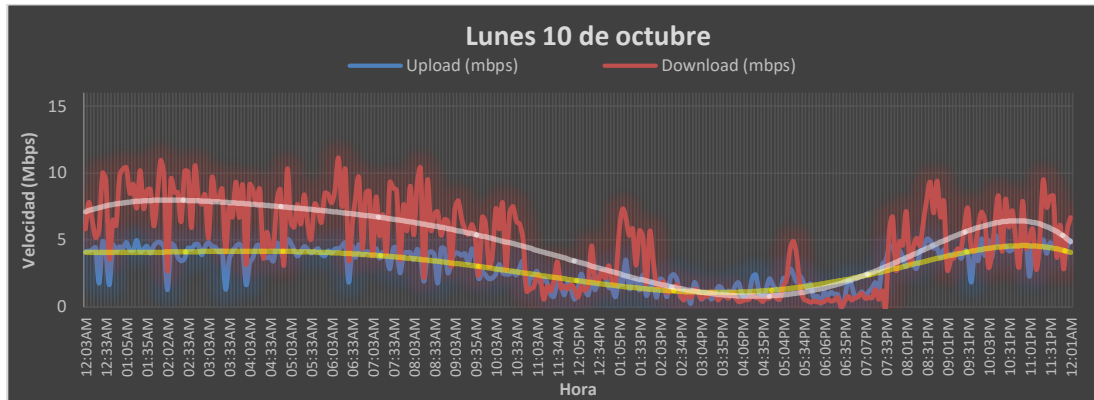
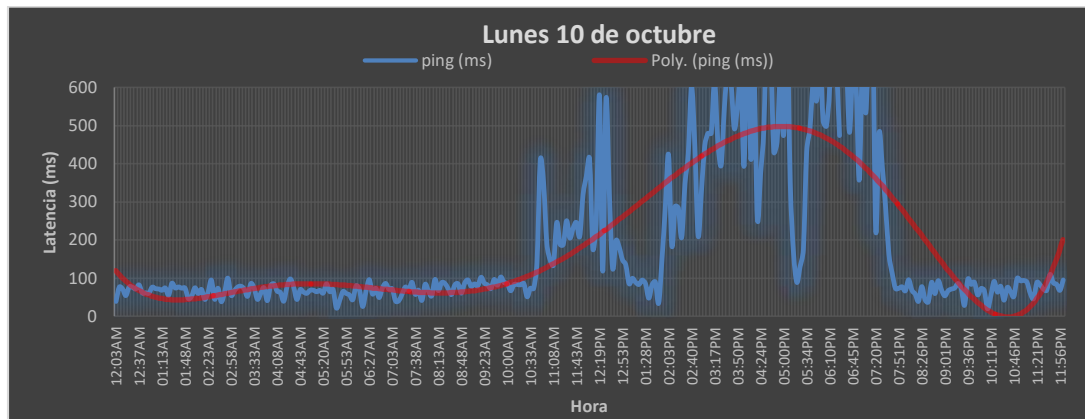
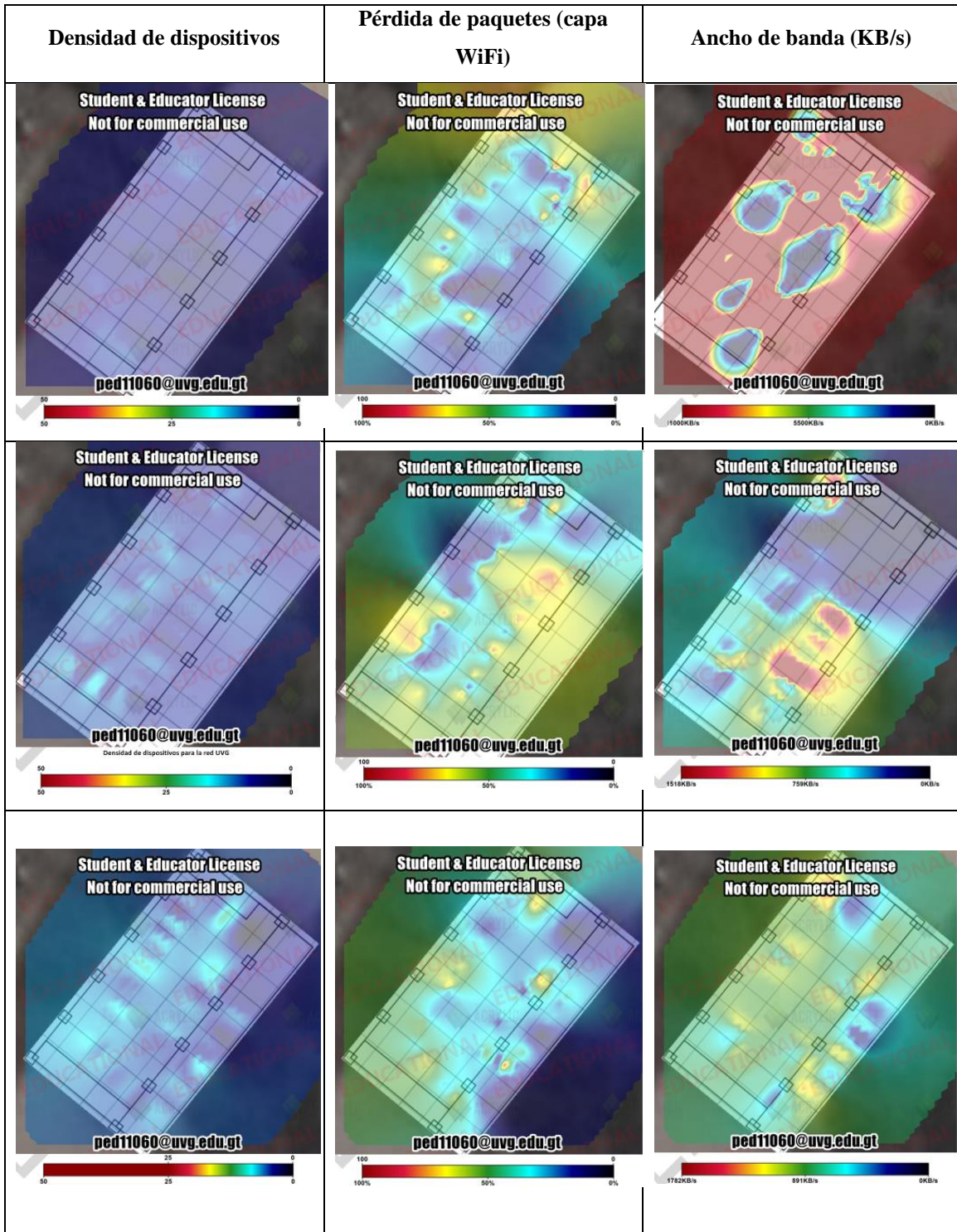


Figura 39. Pruebas de latencia en día lunes de otra semana

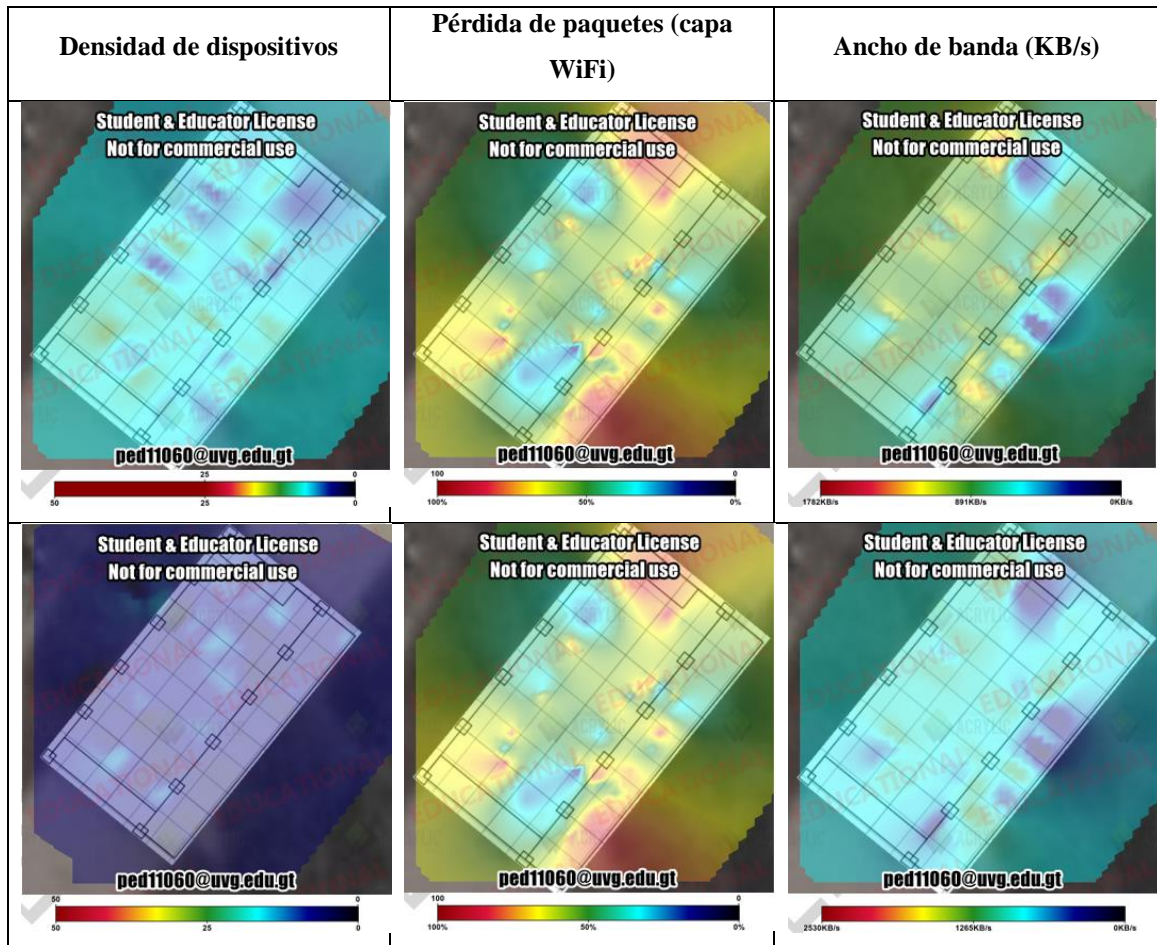


C. PRUEBAS INTENSIDAD DE SEÑAL Y ANCHO DE BANDA

Cuadro 15. Comparación entre densidad de dispositivos, pérdida de paquetes y ancho de banda



Continuación Cuadro 15. Comparación entre densidad de dispositivos, pérdida de paquetes y ancho de banda



D. MAPAS DE CALOR

1. Edificio A

Figura 40. Intensidad de señal primer nivel edificio A

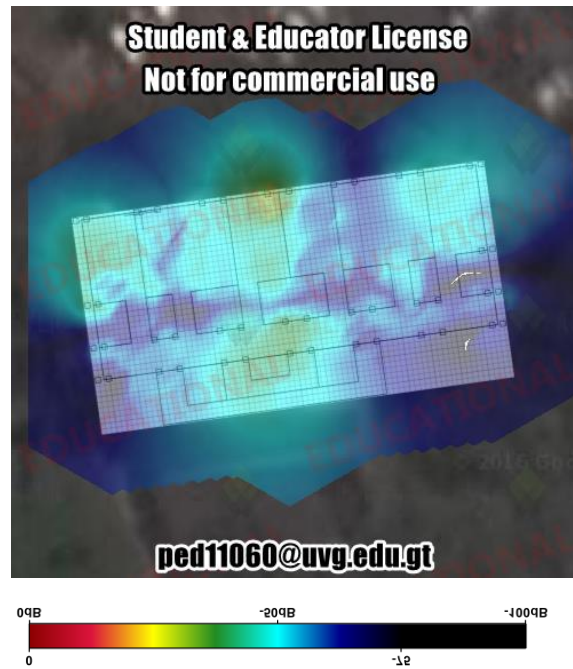


Figura 41. Puntos de acceso detectados primer nivel edificio A

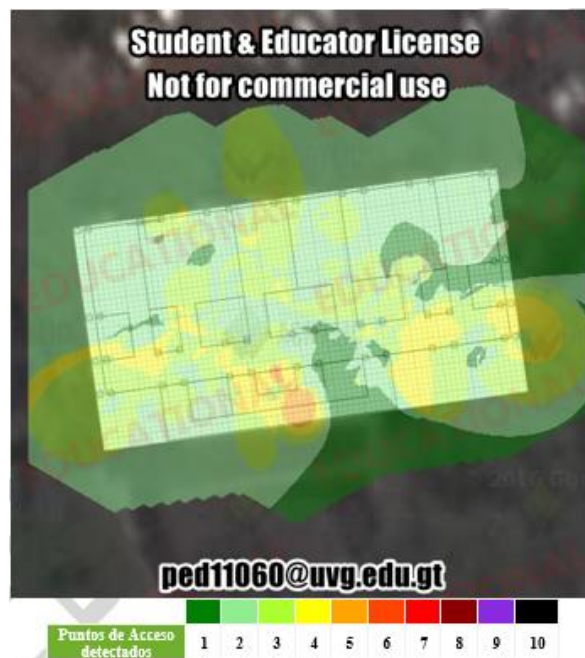


Figura 42. Cobertura por punto de acceso primer nivel edificio A



Figura 43. Cobertura por canal primer nivel edificio A

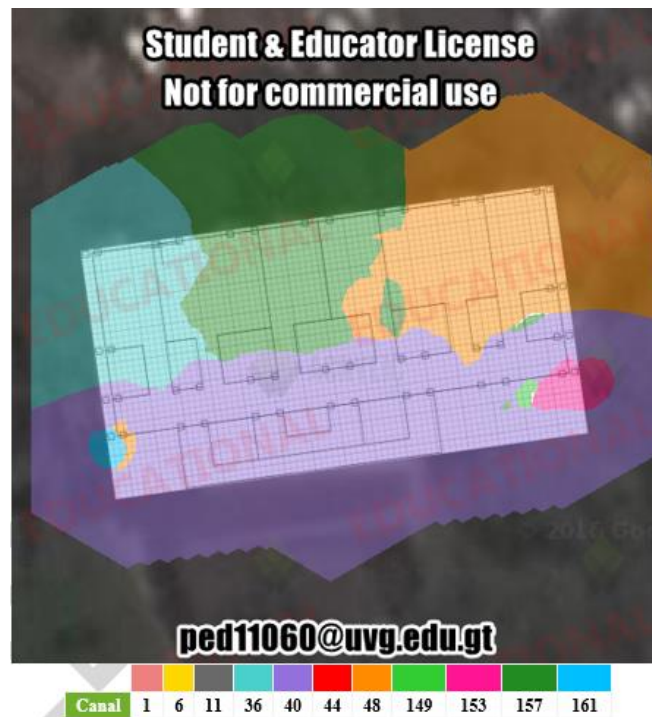


Figura 44. Solapamiento por canal primer nivel edificio A



Figura 45. Tasas de transferencia primer nivel edificio A

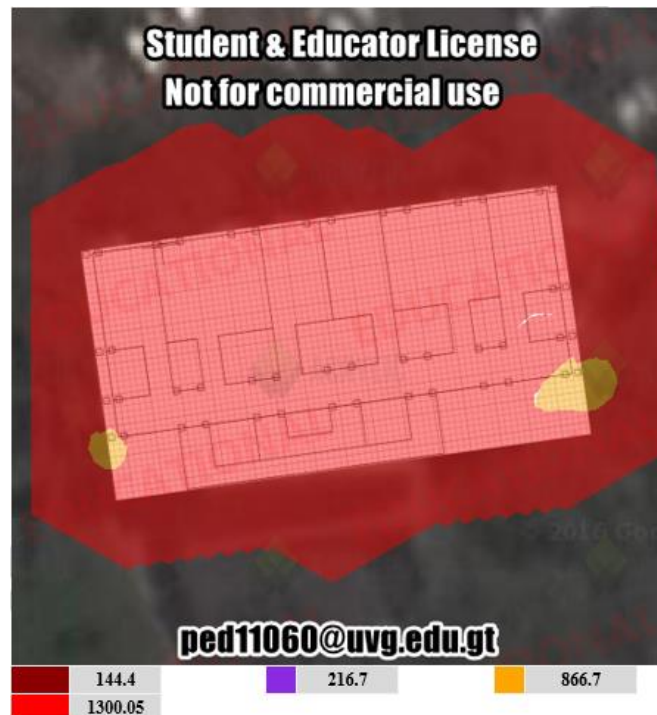


Figura 46. Pérdida de paquetes (capa WiFi) primer nivel edificio A

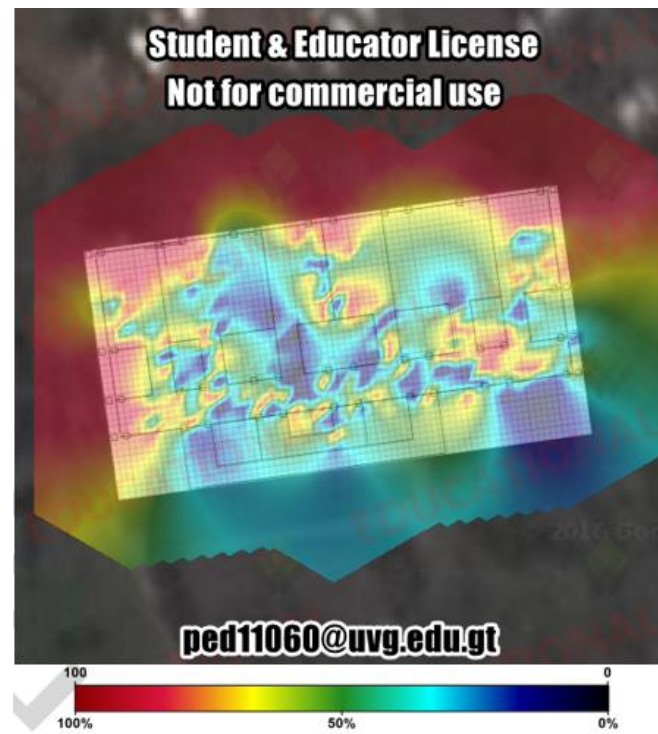


Figura 47. Latencia primer nivel edificio A



Figura 48. Itinerancia primer nivel edificio A

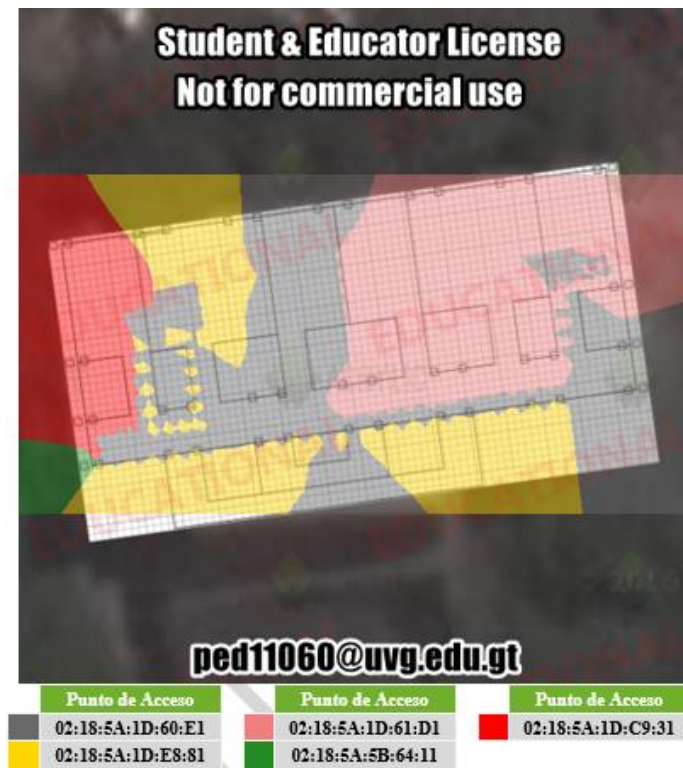


Figura 49. Intensidad de señal segundo nivel edificio A



Figura 50. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio A

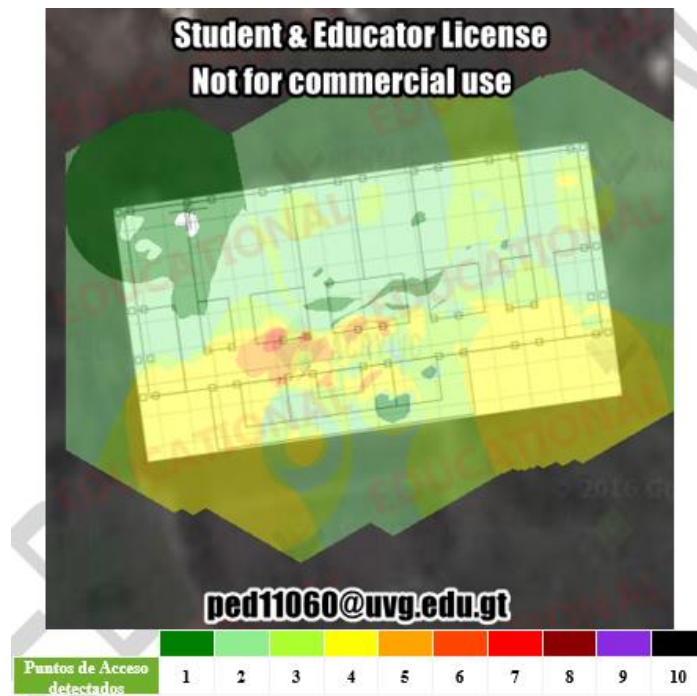


Figura 51. Cobertura de los puntos de acceso segundo nivel edificio A



Figura 52. Cobertura por canal segundo nivel edificio A



Figura 53. Solapamiento de canales segundo nivel edificio A

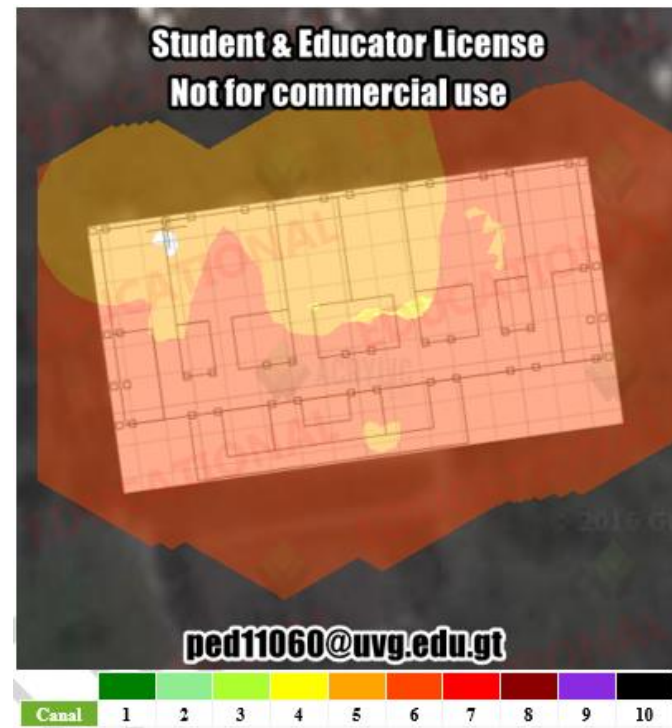


Figura 54. Tasa de transferencia de datos segundo nivel edificio A



Figura 55. Pérdida de paquetes (capa WiFi) segundo nivel Edificio A

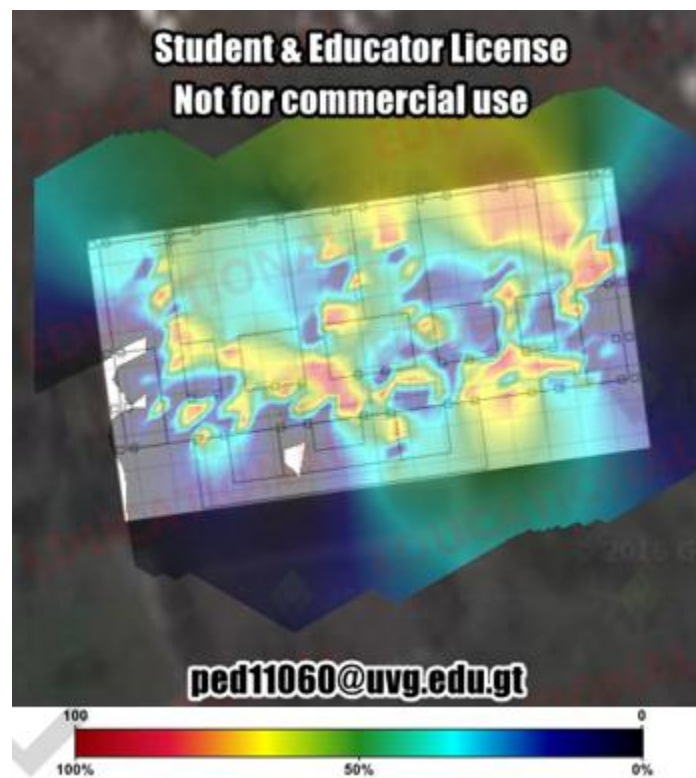


Figura 56. Latencia segundo nivel edificio A

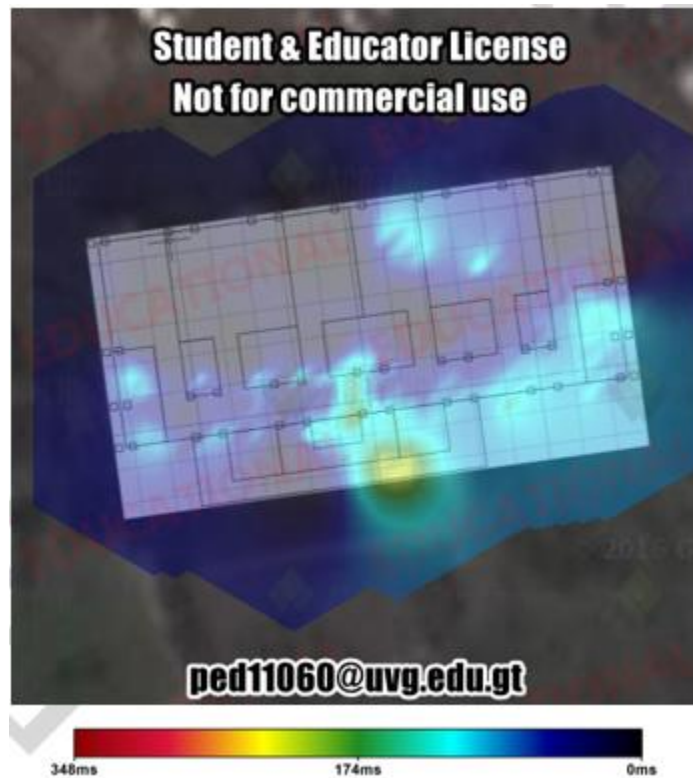


Figura 57. Itinerancia segundo nivel edificio A



Figura 58. Intensidad de señal tercer nivel edificio A

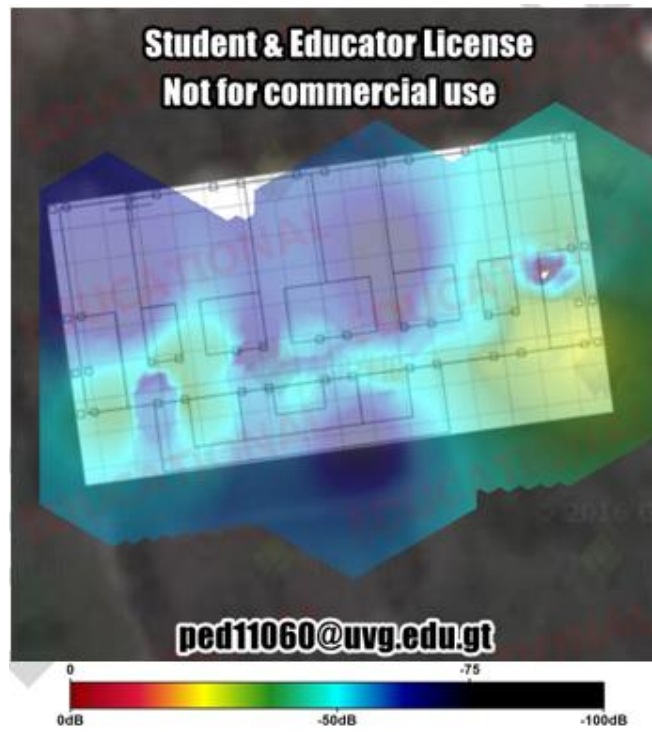


Figura 59. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificio A



Figura 60. Cobertura de los puntos de acceso tercer nivel edificio A



Figura 61. Cobertura por canal tercer nivel edificio A



Figura 62. Solapamiento de canales tercer nivel edificio A



Figura 63. Pérdida de paquetes (capa WiFi) tercer nivel edificio A



Figura 64. Latencia tercer nivel edificio A

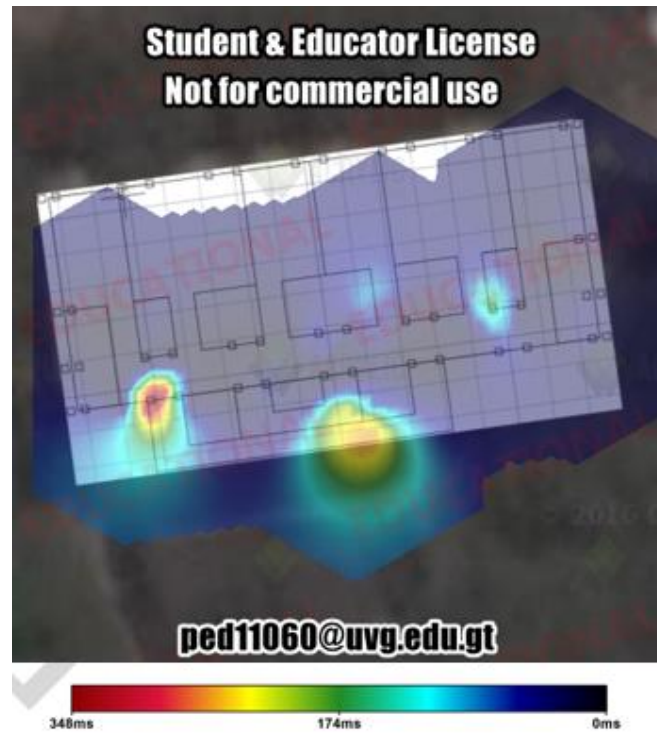
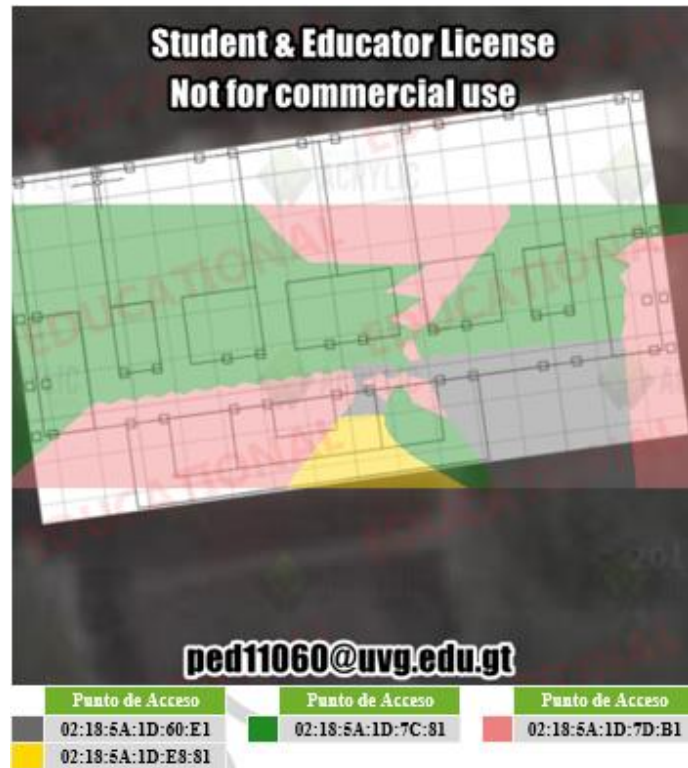


Figura 65. Itinerancia tercer nivel edificio A



2. Edificio F y G

Figura 66. Intensidad de señal primer nivel edificios F y G



Figura 67. Puntos de acceso detectados primer nivel edificios F y G



Figura 68. Cobertura por canal primer nivel edificios F y G



Figura 69. Solapamiento de canales primer nivel edificios F y G

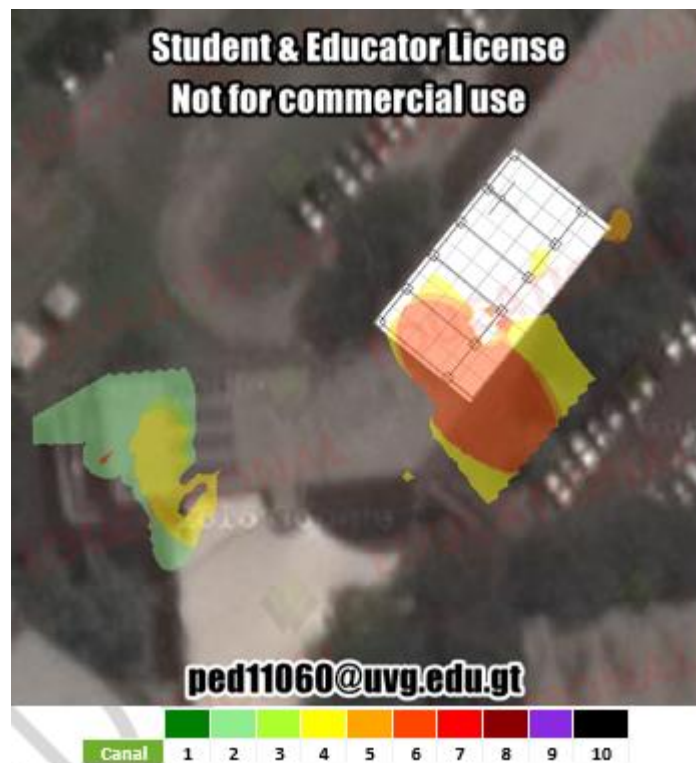


Figura 70. Pérdida de paquetes (capa WiFi) primer nivel edificios F y G

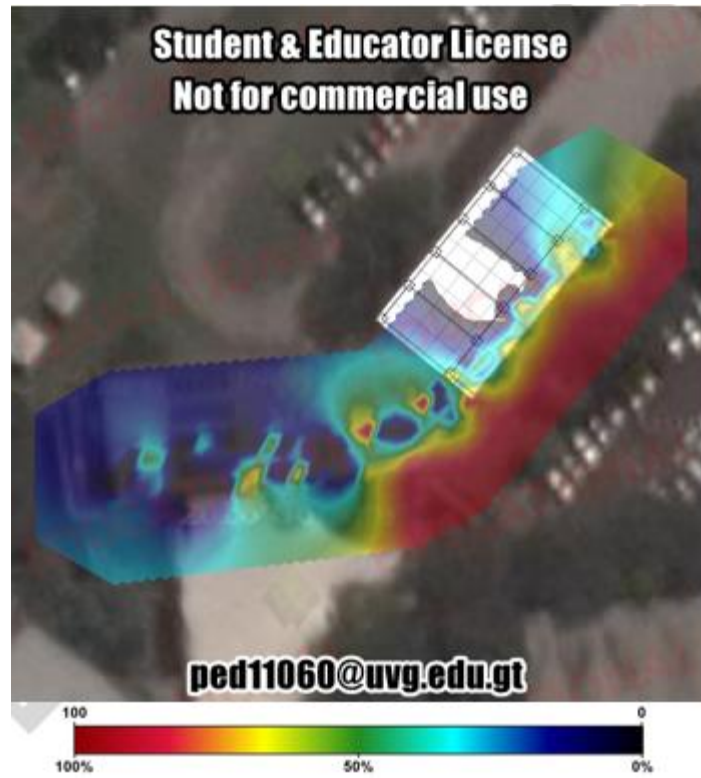


Figura 71. Ancho de banda en KB/s primer nivel edificios F y G

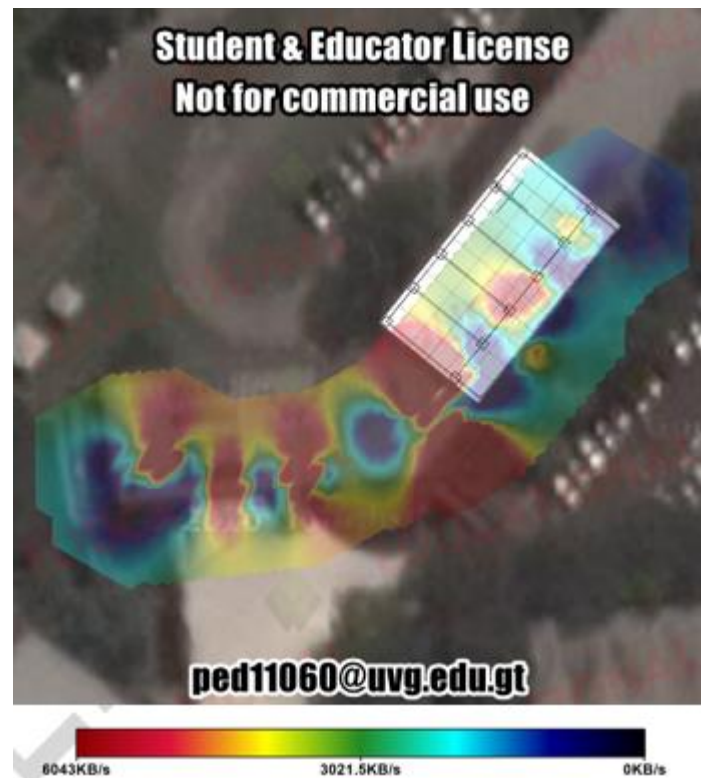


Figura 72. Latencia edificios primer nivel F y G



Figura 73. Itinerancia primer nivel edificios F y G

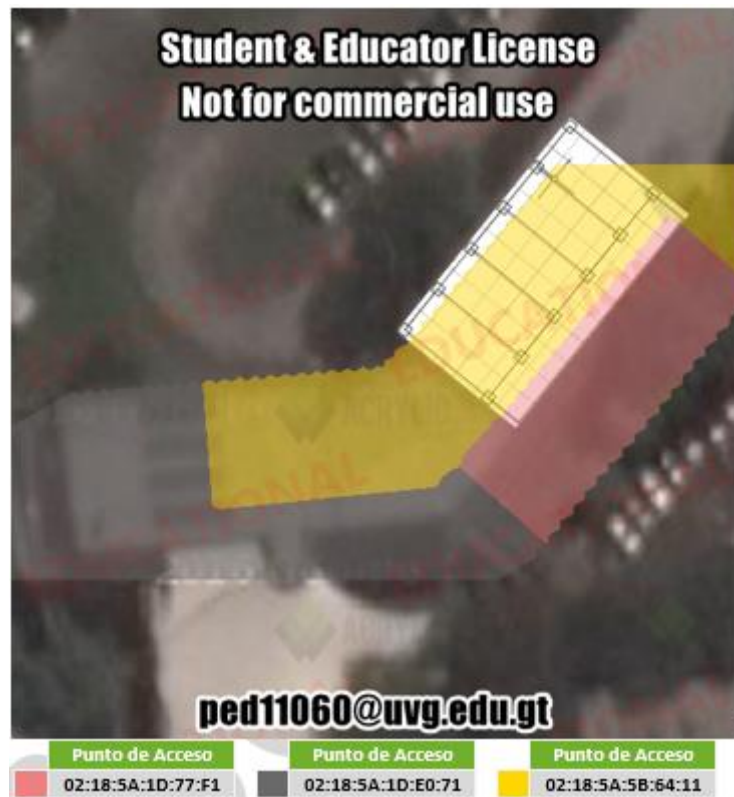


Figura 74. Intensidad de señal segundo nivel edificios F y G

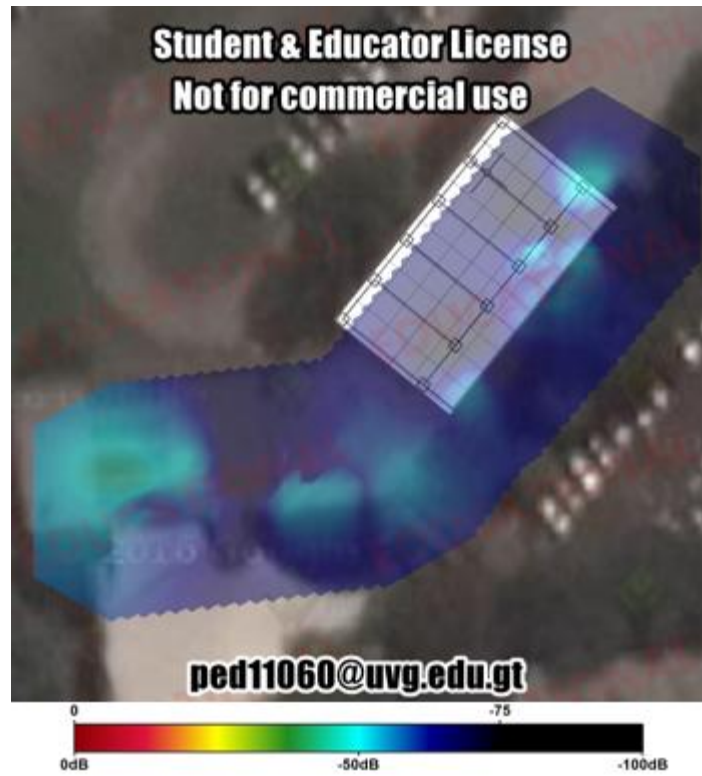


Figura 75. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificios F y G



Figura 78. Pérdida de paquetes (capa WiFi) segundo nivel edificios F y G

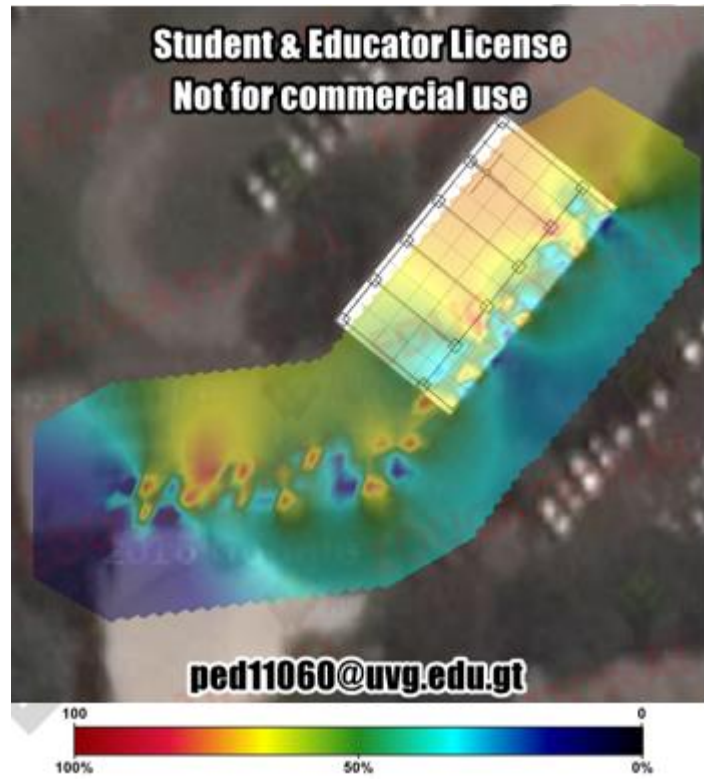


Figura 79. Latencia segundo nivel edificios F y G

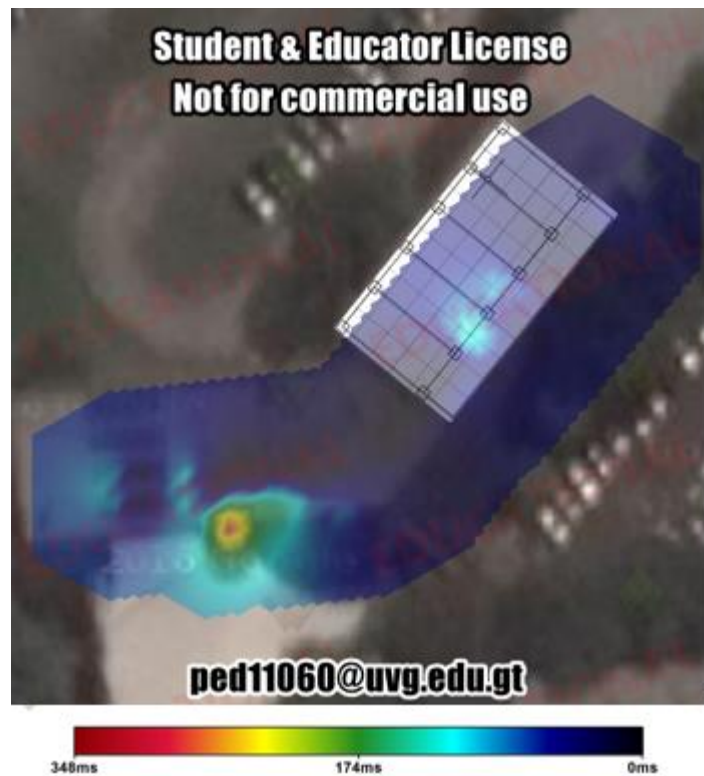


Figura 80. Itinerancia segundo nivel edificios F y G

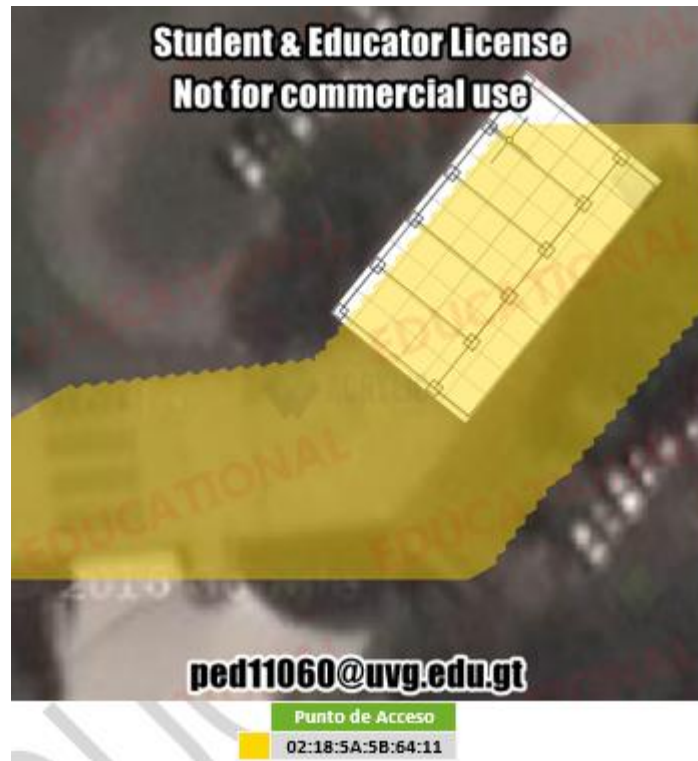


Figura 81. Intensidad de señal tercer nivel edificios F y G



Figura 82. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificios F y G

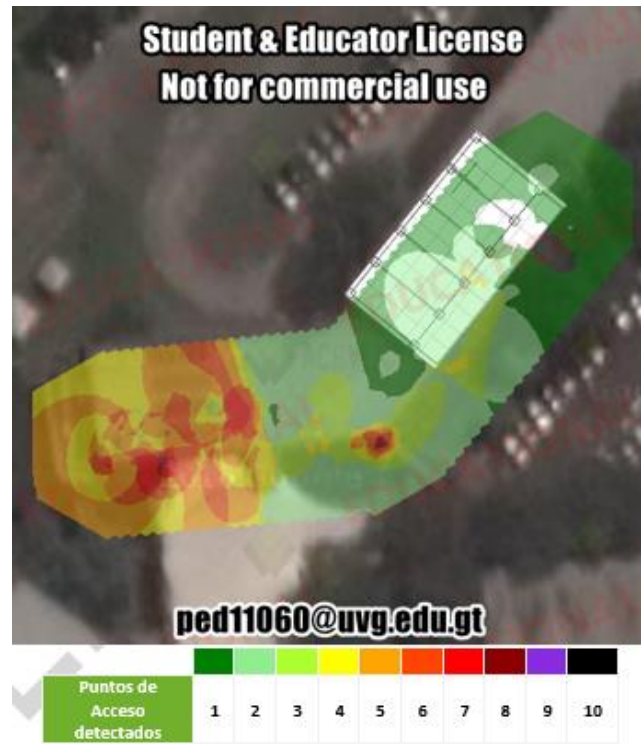


Figura 83. Cobertura por canal tercer nivel edificios F y G



Figura 84. Solapamiento de canal tercer nivel edificios F y G



Figura 85. Densidad de dispositivos tercer nivel edificios F y G

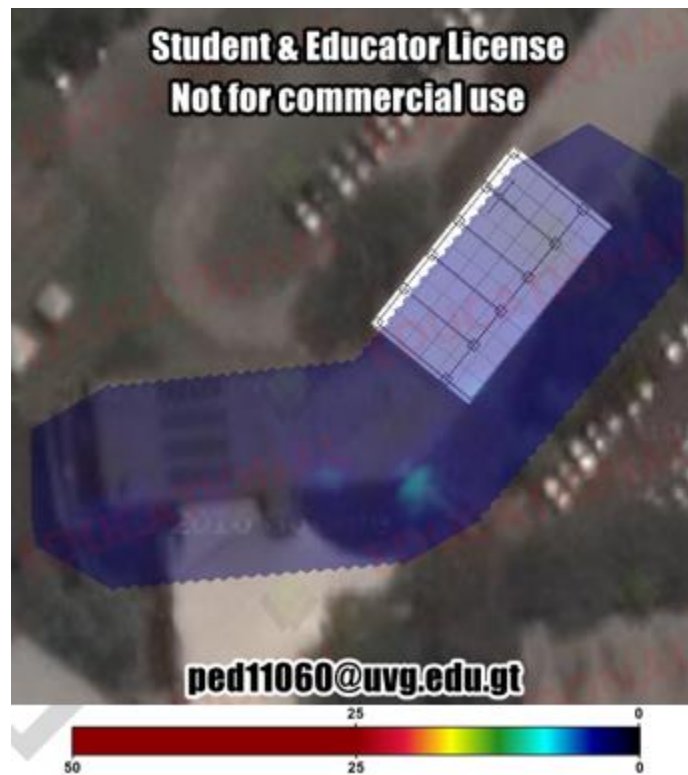


Figura 86. Pérdida de paquetes (capa WiFi) tercer nivel edificios F y G

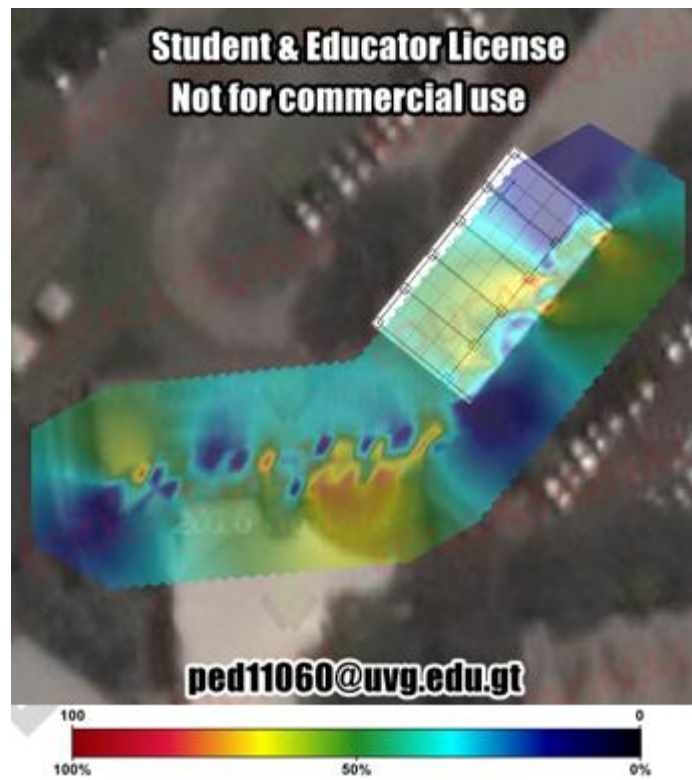


Figura 87. Ancho de banda en KB/s tercer nivel edificios F y G



Figura 88. Latencia tercer nivel edificios F y G

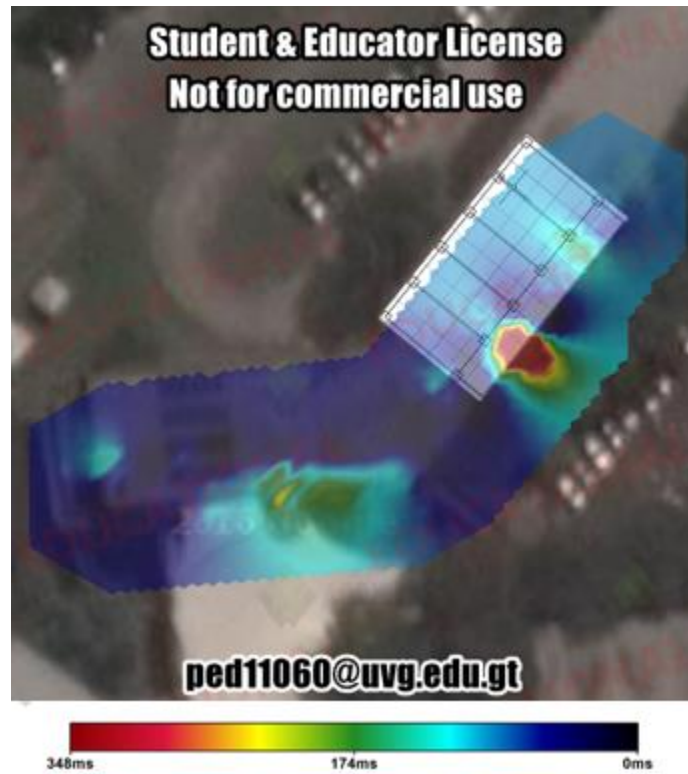
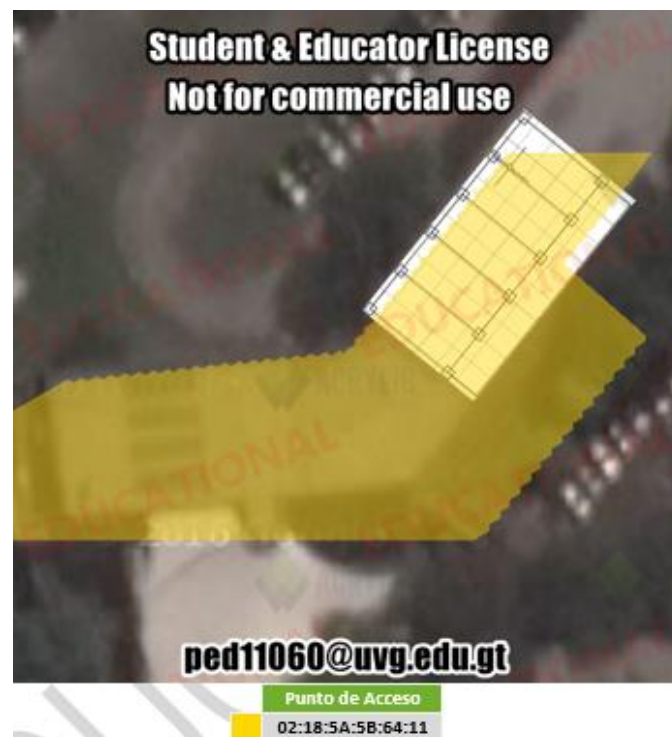


Figura 89. Itinerancia tercer nivel edificios F y G



3. Edificio H

Figura 90. Intensidad de señal primer nivel edificio H (cafetería)



Figura 91. Puntos de acceso detectados primer nivel edificio H



Figura 94. Latencia primer nivel edificio H

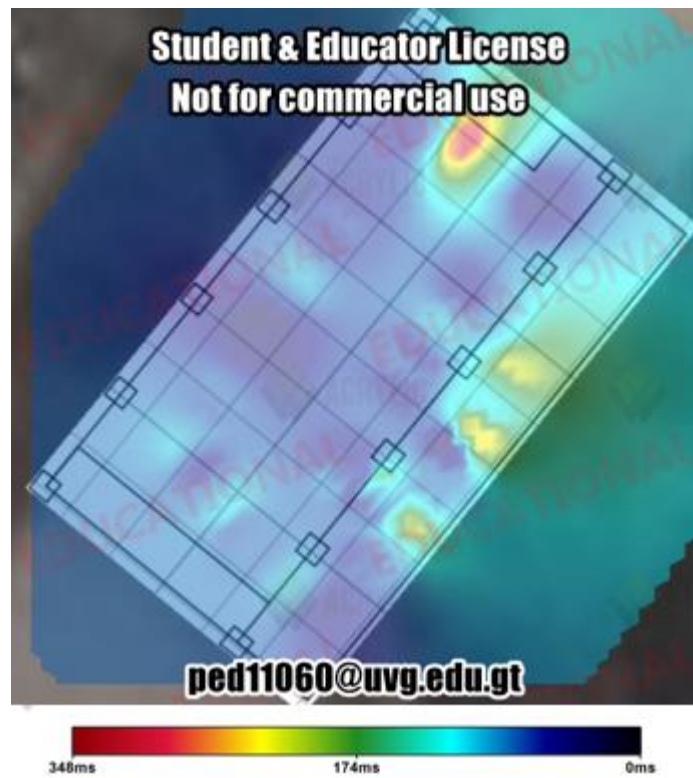


Figura 95. Itinerancia primer nivel edificio H



Figura 96. Intensidad de señal segundo nivel edificio H

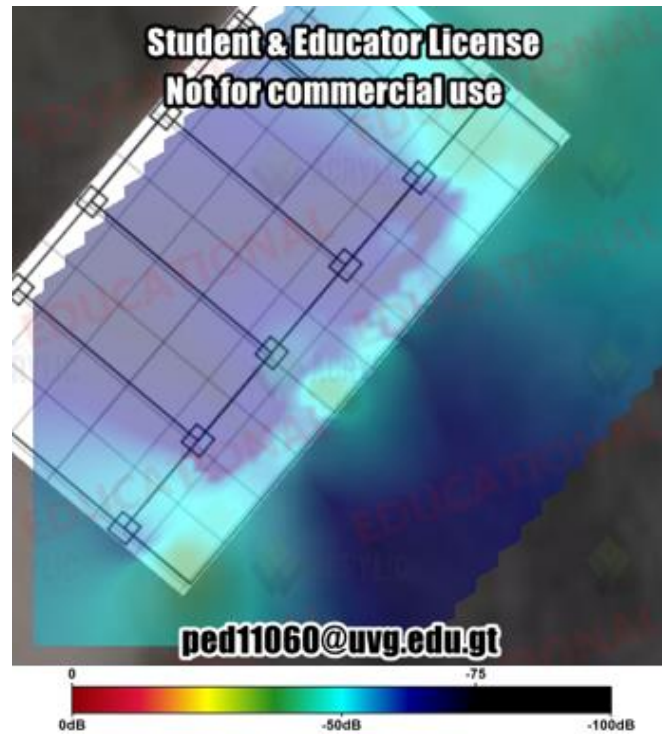


Figura 97. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio H

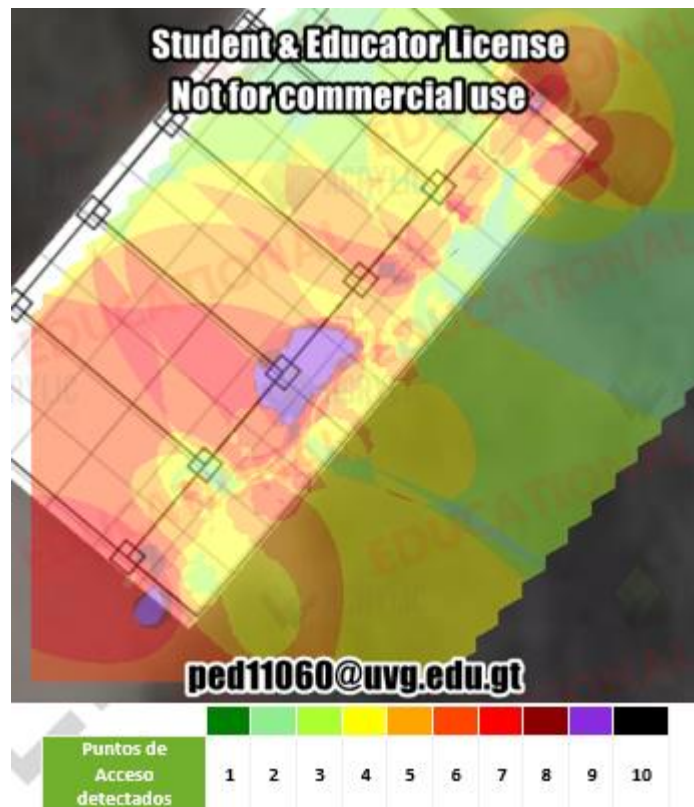


Figura 98. Cobertura por canal segundo nivel edificio H



Figura 99. Solapamiento de canal segundo nivel edificio H

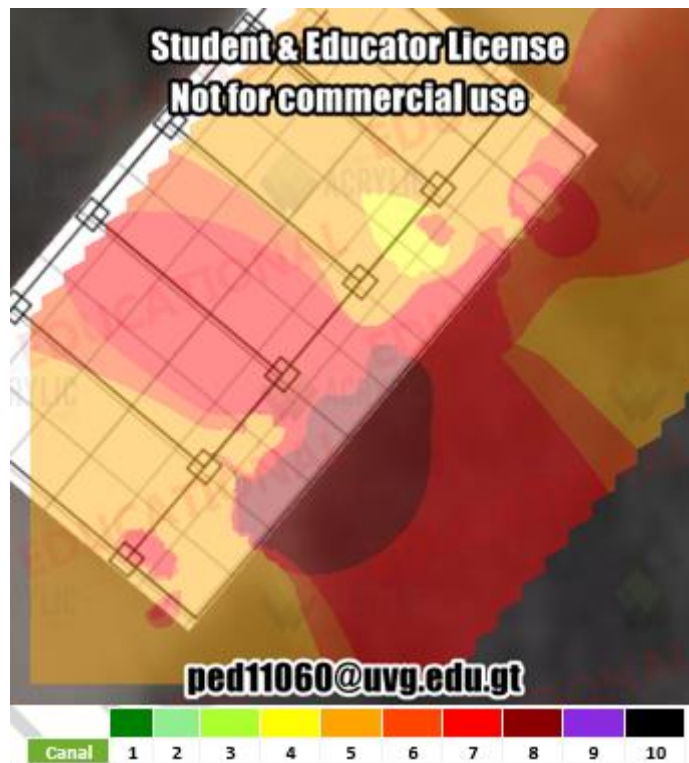


Figura 100. Latencia segundo nivel edificio H



Figura 101. Itinerancia segundo nivel edificio H



Figura 102. Intensidad de señal tercer nivel edificio H

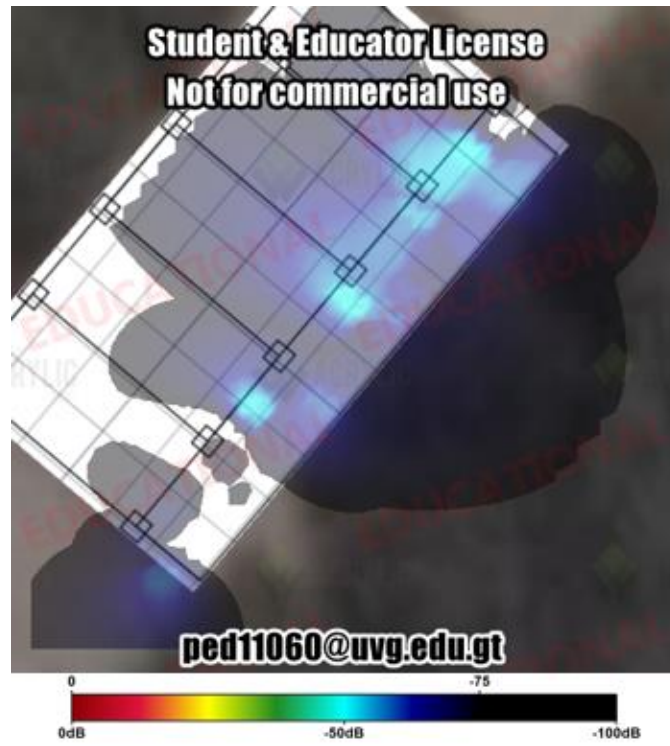


Figura 103. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificio H

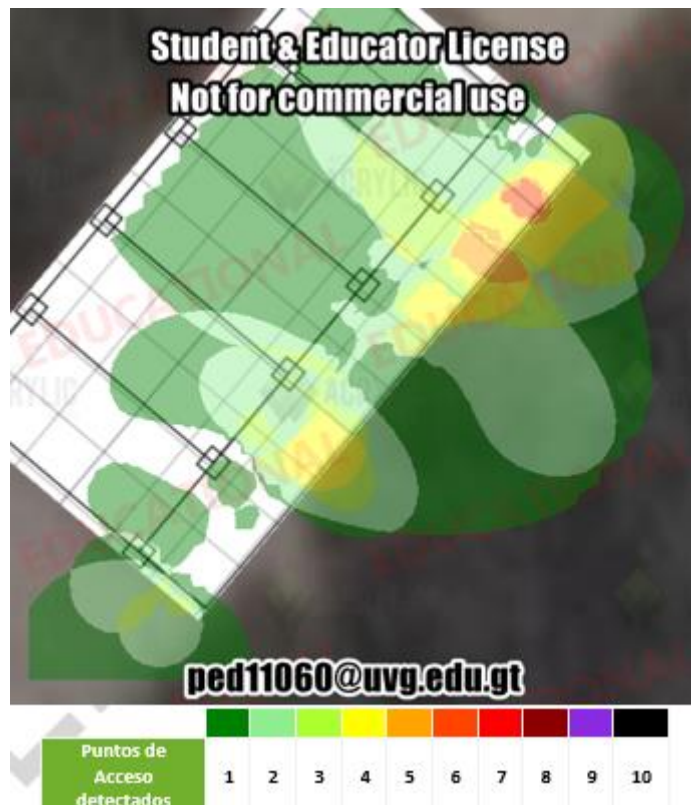


Figura 106. Latencia tercer nivel edificio H



Figura 107. Itinerancia tercer nivel edificio H



4. Edificio I

Figura 108. Intensidad de señal segundo nivel edificio I

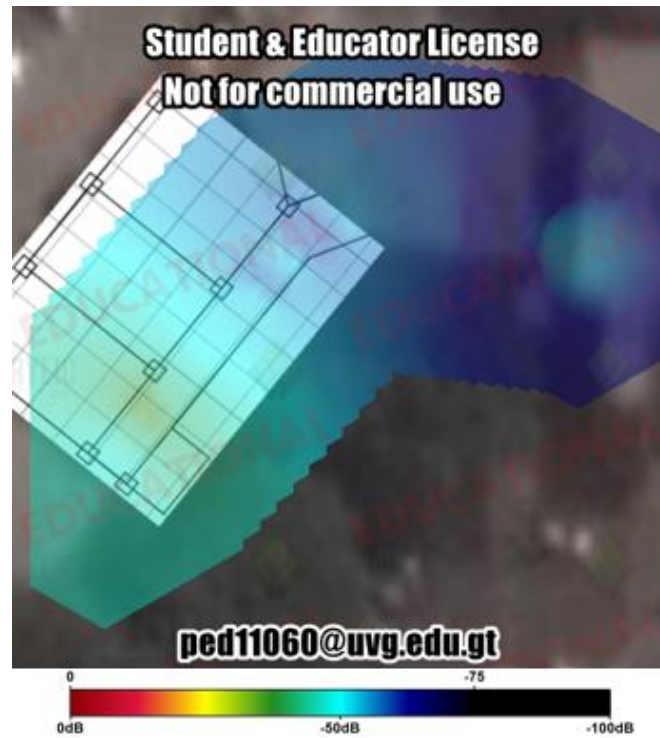


Figura 109. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio H

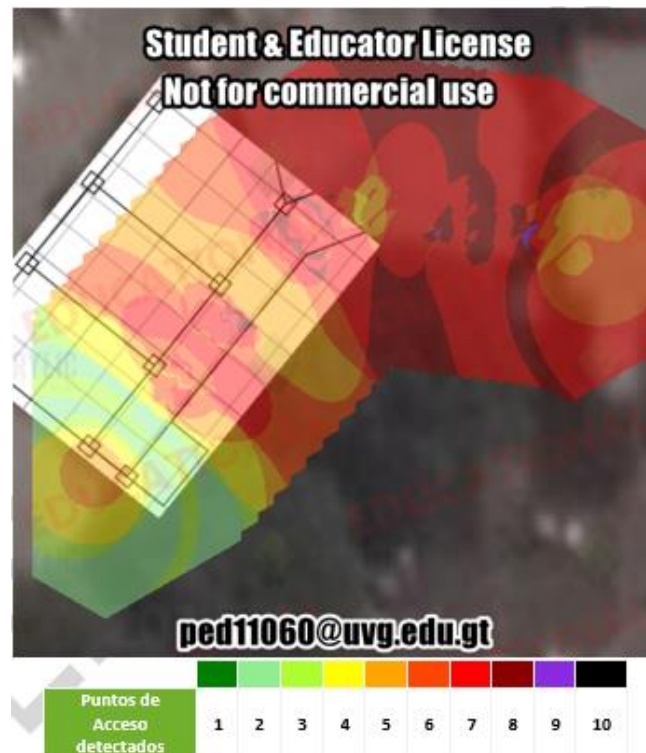


Figura 112. Latencia segundo nivel edificio I

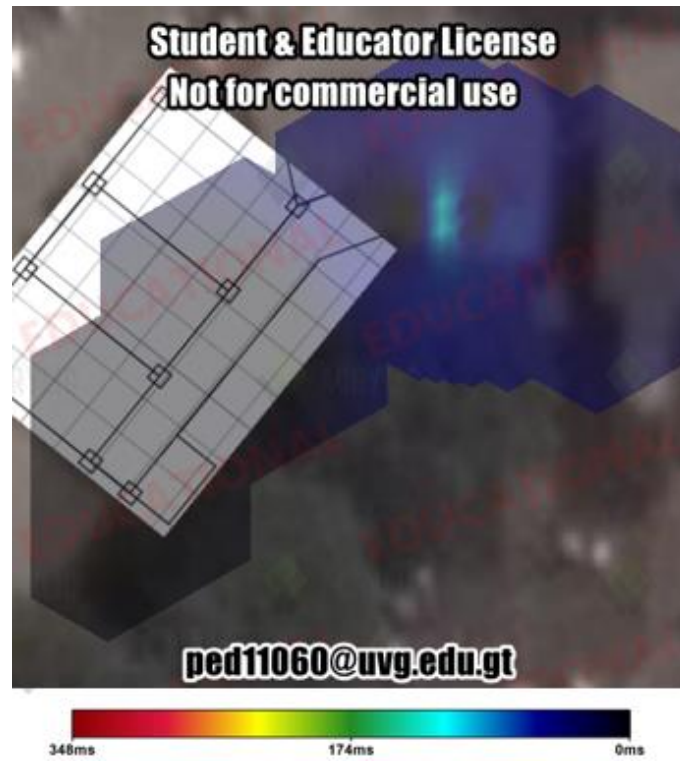


Figura 113. Itinerancia segundo nivel edificio I



5. Edificio J

Figura 114. Intensidad de señal primer nivel edificio J

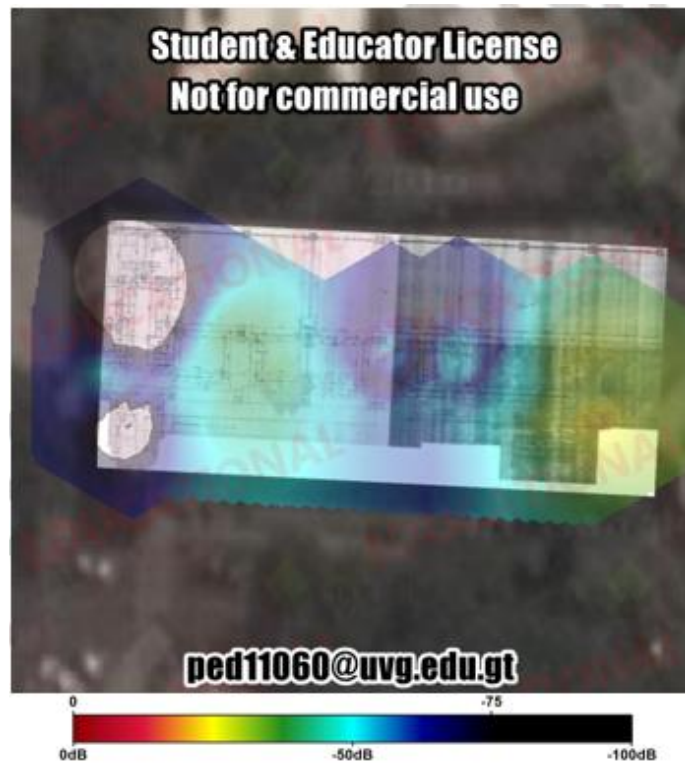


Figura 115. Cobertura por canal primer nivel edificio J



Figura 116. Solapamiento de canales primer nivel edificio J



Figura 117. Pérdida de paquetes (capa WiFi) primer nivel edificio J

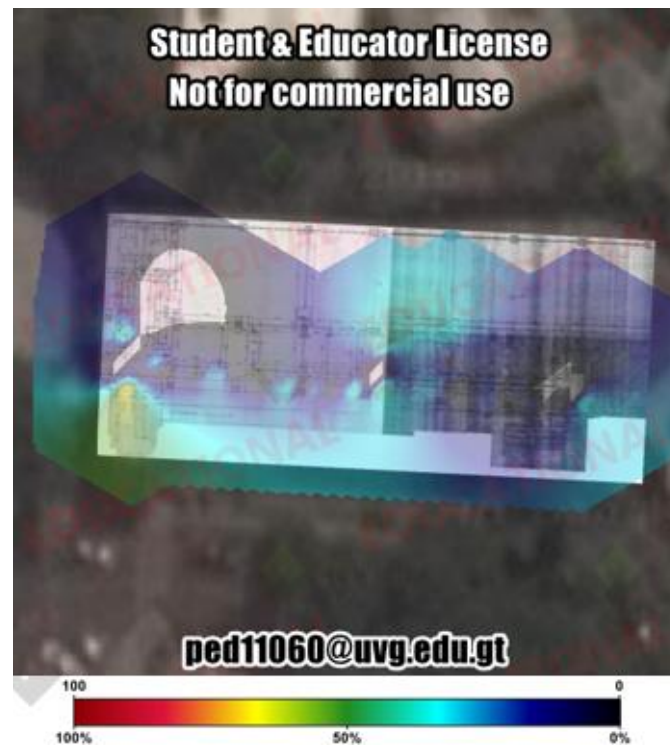


Figura 118. Latencia primer nivel edificio J

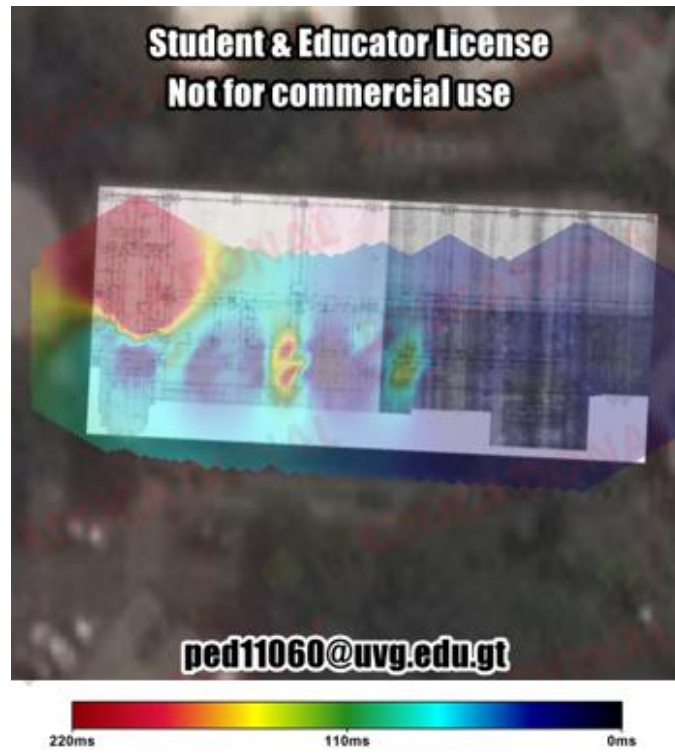


Figura 119. Itinerancia primer nivel edificio J



Figura 120. Intensidad de señal segundo nivel edificio J



Figura 121. Puntos de acceso detectados segundo nivel edificio J



Figura 122. Cobertura de canales segundo nivel edificio J

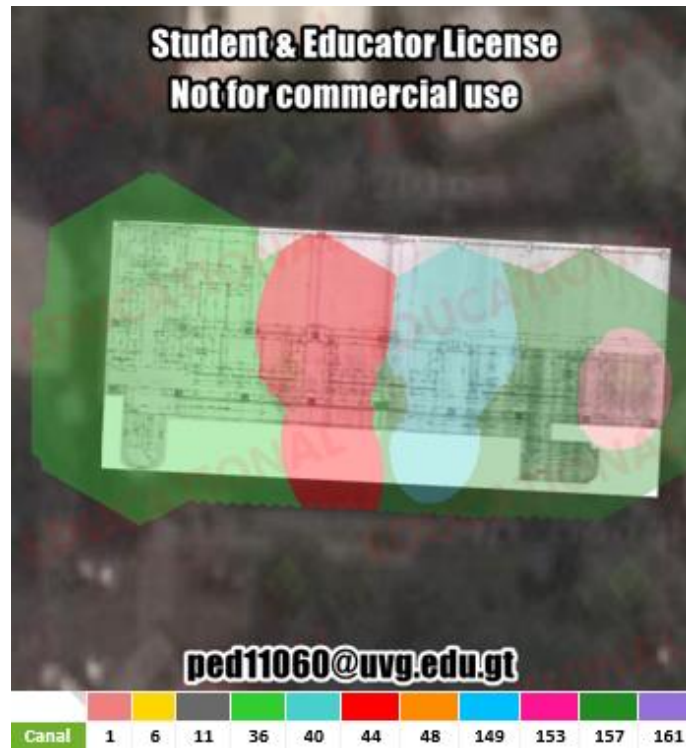


Figura 123. Solapamiento de canales segundo nivel edificio J

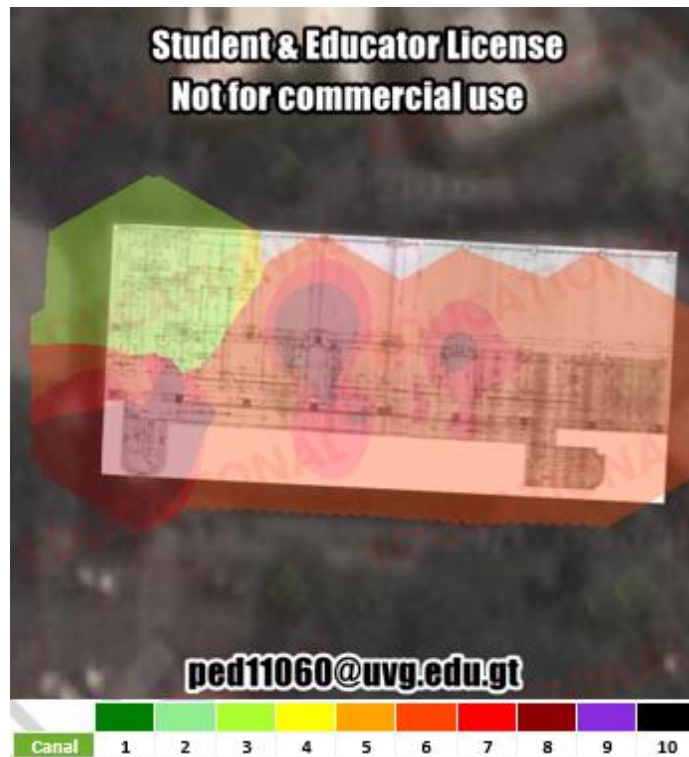


Figura 124. Latencia segundo nivel edificio J



Figura 125. Itinerancia segundo nivel edificio J



Figura 126. Intensidad de señal tercer nivel edificio J

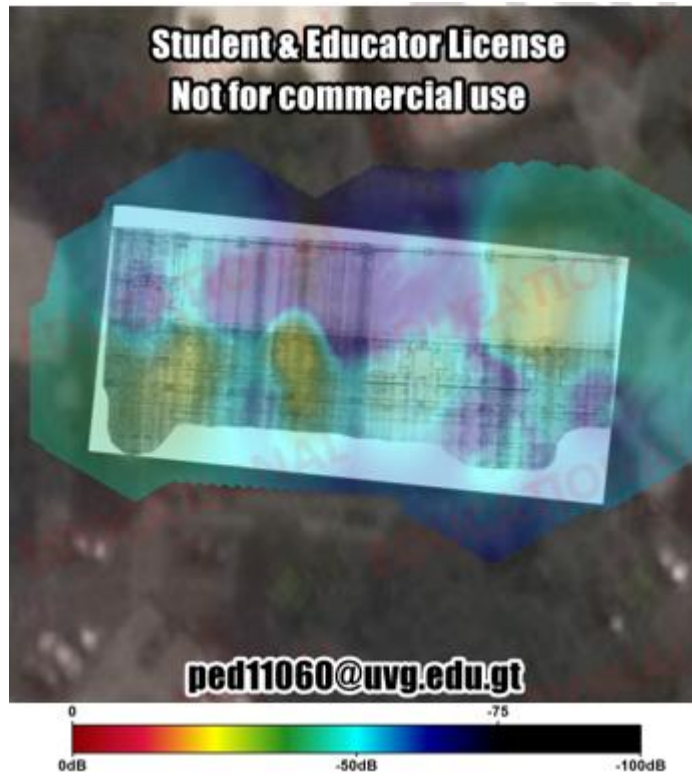


Figura 127. Puntos de acceso detectados tercer nivel edificio J

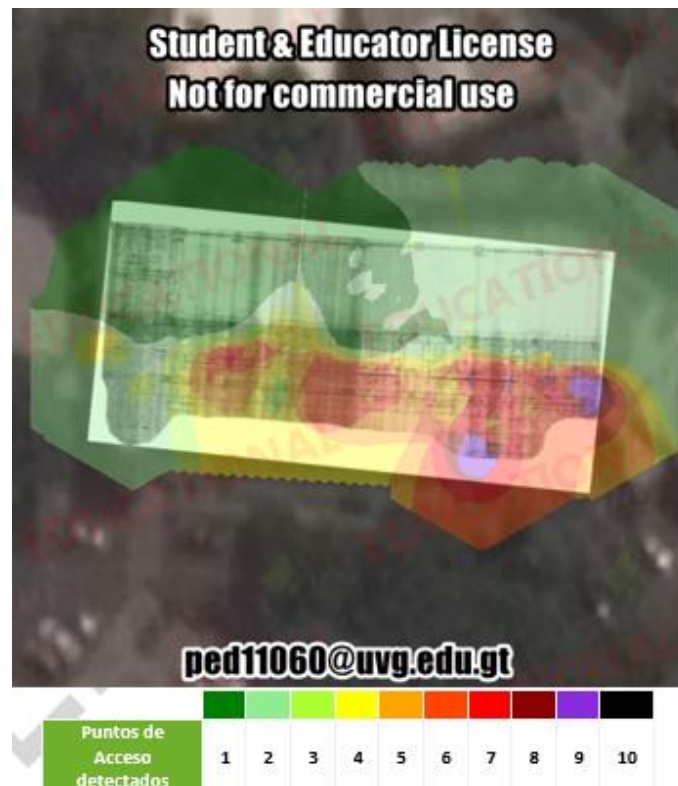


Figura 128. Cobertura de los puntos de acceso tercer nivel edificio J



Figura 129. Cobertura por canal tercer piso edificio J



Figura 130. Solapamiento de canal tercer nivel edificio J

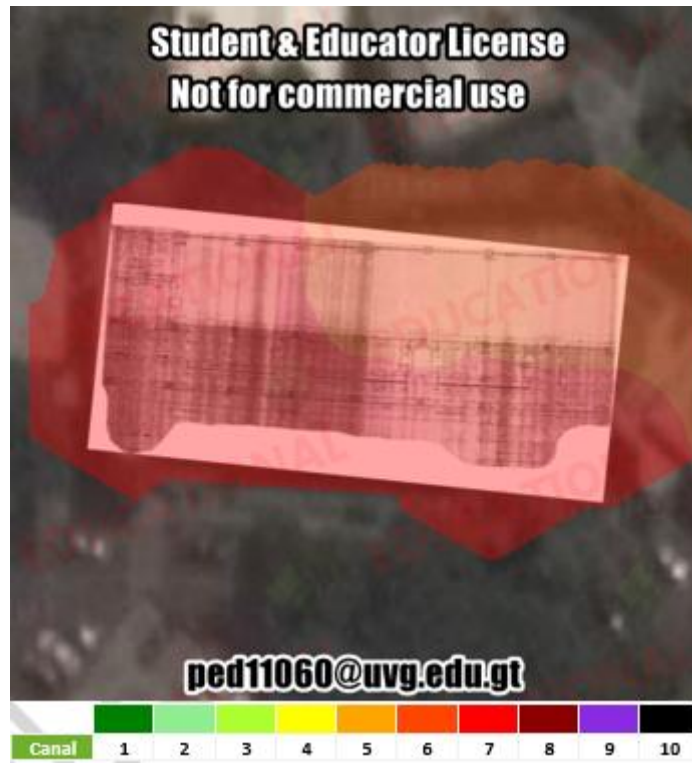


Figura 131. Pérdida de paquetes tercer nivel edificio J

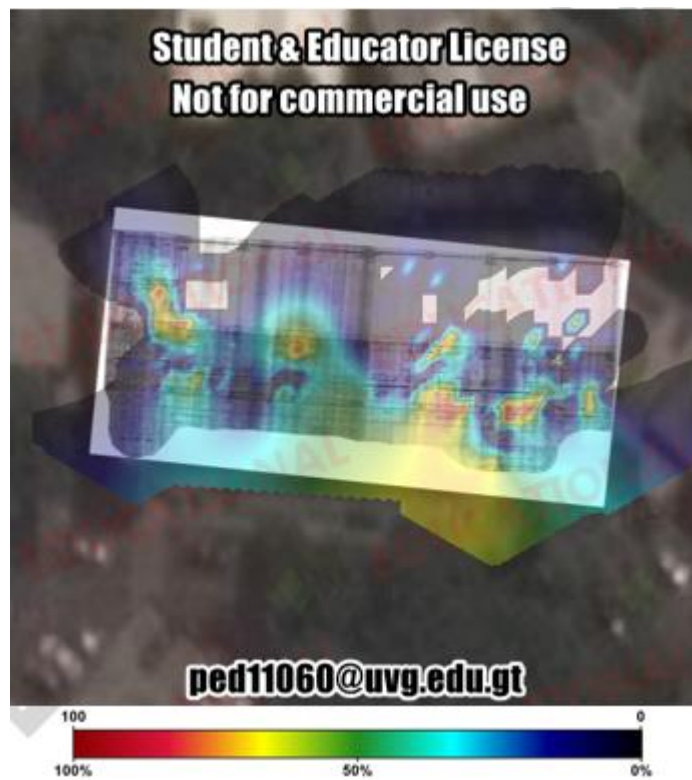


Figura 132. Ancho de banda en KB/s tercer nivel edificio J

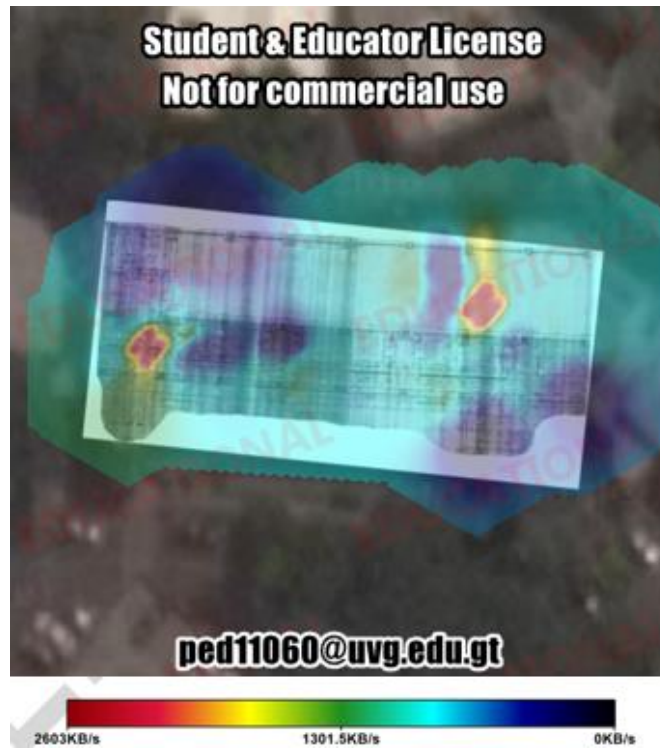


Figura 133. Latencia tercer nivel edificio J



Figura 134. Pérdida de paquetes (capa de red) tercer nivel edificio J

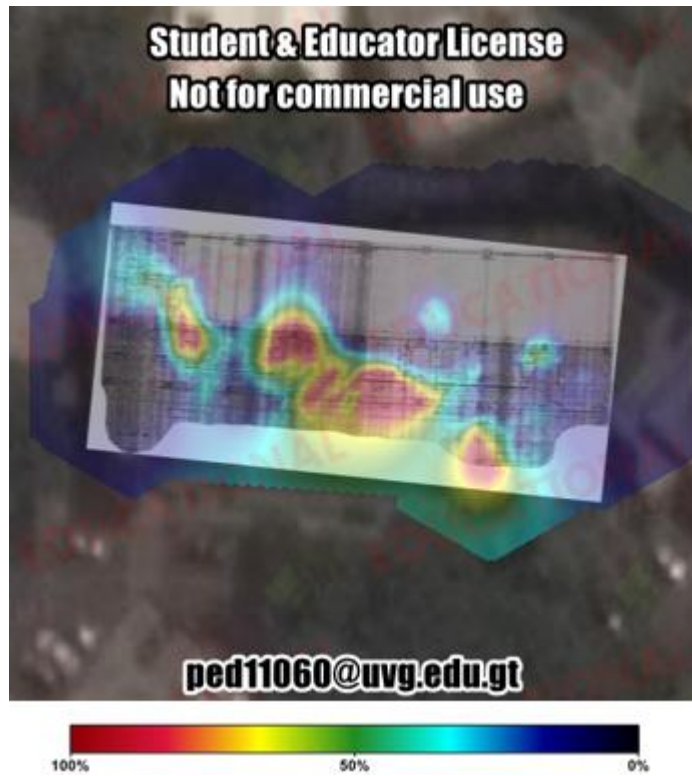


Figura 135. Itinerancia tercer nivel edificio J



6. Edificio K

Figura 136. Intensidad de señal tercer nivel edificio K



Figura 137. Intensidad de señal segundo nivel edificio K



Figura 138. Intensidad de señal primer nivel edificio K



Figura 139. Intensidad de señal sótano edificio K



7. Parques y áreas abiertas

Figura 140. Intensidad de señal Plaza Paiz Riera



Figura 141. Puntos de acceso detectados Plaza Paiz Riera

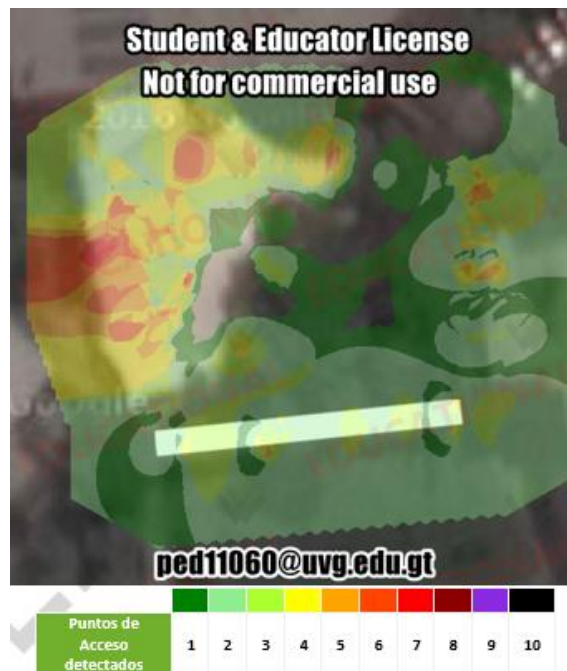


Figura 142. Cobertura por canal Plaza Paiz Riera



Figura 143. Solapamiento de canales Plaza Paiz Riera

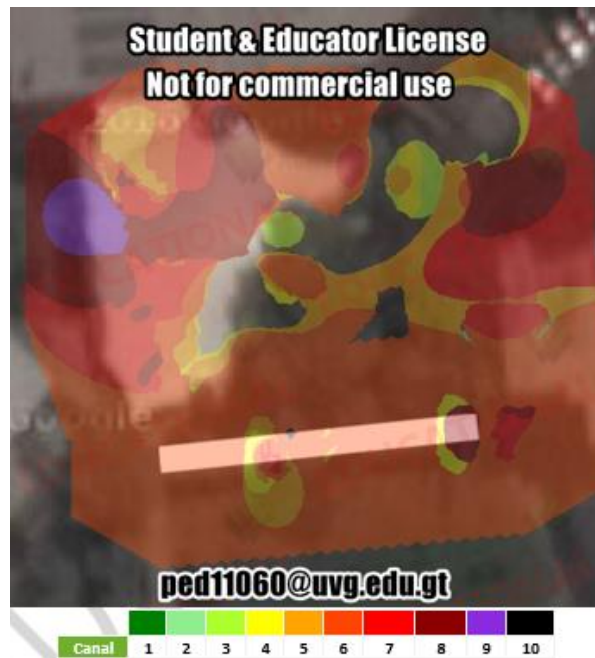


Figura 144. Itinerancia área Plaza Paiz Riera



Figura 145. Intensidad de señal parqueo interno



Figura 146. Puntos de acceso detectados parqueo interno UVG

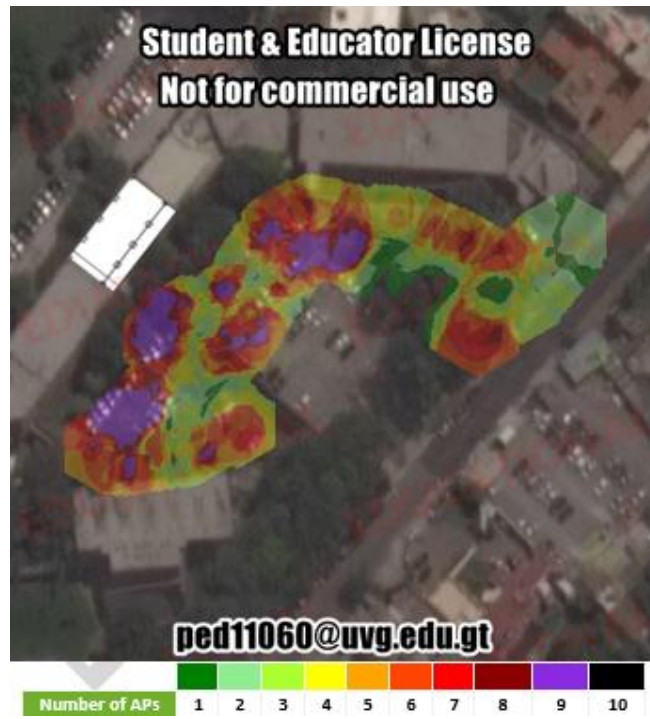


Figura 147. Cobertura por canal parqueo interno



Figura 148. Solapamiento de canal parqueo interno UVG



Figura 149. Itinerancia parqueo interno UVG

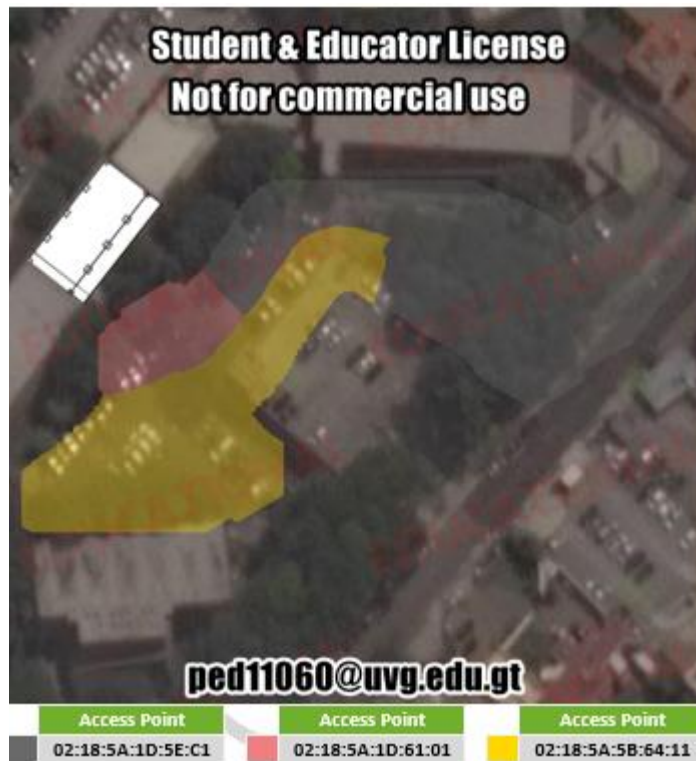


Figura 150. Intensidad de señal parqueo atrás de la cafetería



Figura 151. Puntos de acceso detectados parqueo atrás de la cafetería



Figura 154. Itinerancia parque atrás de la cafetería



Figura 155. Intensidad de señal alrededores biblioteca



Figura 156. Puntos de acceso detectados alrededores biblioteca

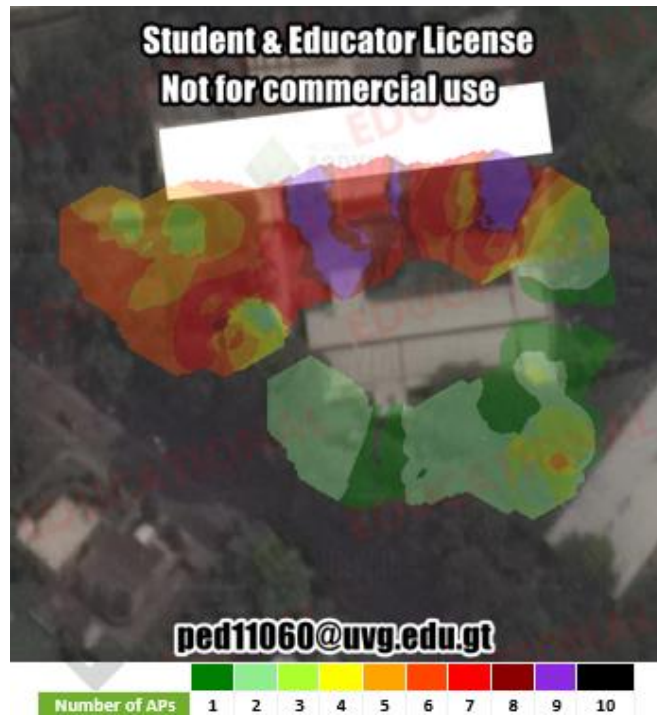


Figura 157. Cobertura por canal alrededores biblioteca



Figura 158. Solapamiento de canal alrededor biblioteca

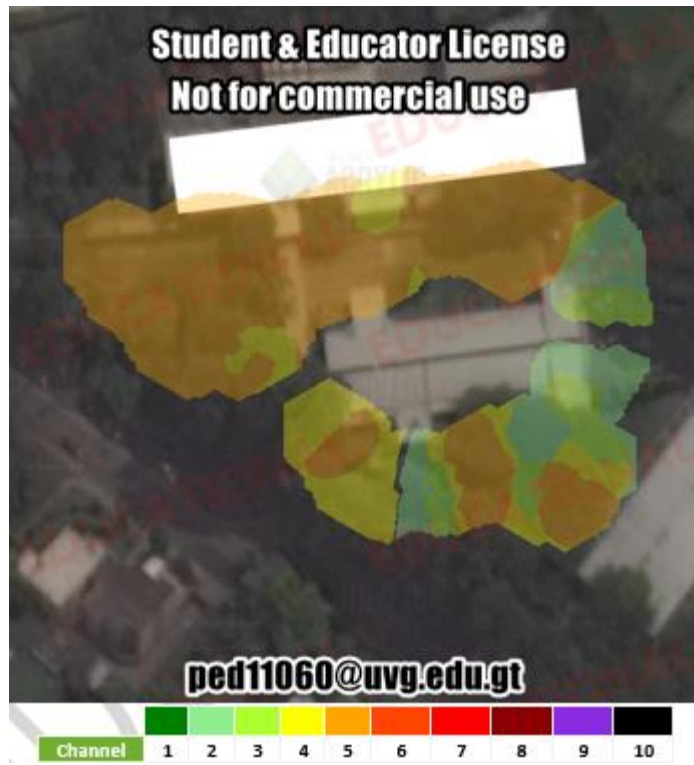


Figura 159. Itinerancia alrededor biblioteca



VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La herramienta de medición implementada tiene la capacidad de realizar pruebas con los servidores speedtest.net, realizando pruebas de carga y de descarga, así como de latencia con el servidor el cual es elegido manualmente para esta prueba. Cuando estas pruebas se realizan automáticamente sin seleccionar servidor e ingresar parámetros, eligen el servidor con el cual realizan las pruebas en función del PING, eligiendo el servidor con el valor de PING más bajo y retornando este valor, junto con las pruebas de carga y descarga que realizan. Para las pruebas efectuadas se tomó un único servidor en forma manual con el objetivo de que todas las pruebas tuvieran el mismo punto de referencia, y no hubiera variaciones en los datos obtenidos al elegir servidores distintos que pudieran estar en condiciones diferentes al servidor seleccionado manualmente utilizado el cual, en este caso, fue el proveído para tal propósito por la empresa de telefonía Tigo.

Para el parámetro que mide la latencia comúnmente denominado PING también fue encontrada la correlación que guarda con las velocidades de descarga y de subida, estos resultados se aprecian en el Cuadro 13. en donde podemos ver que es una correlación negativa. Esta correlación tiene un valor muy cercano al cero para la velocidad de descarga, lo que nos indica que la relación existente entre ambas variables es casi nula; sin embargo, para la velocidad de subida esta correlación tiene el valor de -0.18 lo que indica que la velocidad de subida aumenta cuando el valor del PING sea más bajo. Para el *throughput*, el valor de la correlación encontrada fue muy similar al del encontrado con la velocidad de subida, teniendo un valor de -0.17, como se puede visualizar en el Cuadro 14. Este comportamiento es evidenciado con las pruebas de speedtest realizadas a lo largo del día, en donde podemos tomar como ejemplo las Figuras 30. y 31. en donde queda evidenciado que en las horas del día en donde se encuentran las velocidades de carga y descarga más bajas, la latencia también presenta los valores más altos de ese lapso de tiempo.

Las mediciones realizadas con speedtest.net por la herramienta implementada tienen el inconveniente de que toman la muestra en un tiempo muy elevado, teniendo cada medición un tiempo de alrededor de dos minutos, esto causa el inconveniente de que la movilidad que provee la herramienta, si se elige este método para las mediciones, es que es muy lento recorrer un área muy grande. Las pruebas realizadas con el servidor iperf tienen la ventaja de que el tiempo de duración total de la prueba puede ser modificado, al igual que el tiempo que toma en obtener un resultado y guardarlo, lo que hace a esta herramienta más versátil para realizar una medición de este tipo. Como este tipo de prueba satura la red de tráfico TCP, el rendimiento de la red mientras se realiza la prueba podría llegar a comprometerse, ya que busca utilizar todo el ancho de banda del enlace para determinar cuánto flujo de información puede pasar por la banda, lo que se denomina *throughput*. Es necesario resaltar que se asume que no existe congestión en la puerta de salida de internet (*gateway*) de la red UVG de la Universidad, en la cual se realizaron todas las pruebas.

Es común pensar que la intensidad de la señal recibida de una red inalámbrica de área local WLAN afecta de una manera directa la calidad de la conexión existente entre el punto de acceso y el dispositivo que utiliza la red. Uno de los propósitos de este trabajo fue el de encontrar la relación que existe entre estas dos características, y en los resultados encontrados con la herramienta implementada con las pruebas de speedtest.net, las que se pueden apreciar en el Cuadro 13. En dicho cuadro podemos observar que la intensidad de la señal recibida tiene un coeficiente de correlación lineal cercano a 0 con la latencia, lo cual indicaría que no existe realmente una correlación entre estos dos valores. Sin embargo, en el análisis realizado por la herramienta con el programa de servidor-cliente iperf, se encuentra que la latencia tiene una correlación lineal negativa de -0.24, lo cual nos dice que la relación existente entre las variables es inversa, pero que no tiene tanto impacto y que se puede traducir a este contexto con el siguiente enunciado “cuando la intensidad de señal recibida disminuye, la latencia aumenta.”

La intensidad de la señal de una WLAN está también relacionada con la velocidad de descarga y la velocidad de subida, tal y como fue comprobado con las pruebas en los servidores de speedtest.net. En el Cuadro 13. se puede apreciar la correlación entre estos tres valores, y se puede ver que esta es una correlación positiva de 0.45 para la velocidad de descarga y de 0.33 para la velocidad de subida, lo cual indica que existe una relación más fuerte que la que presenta la latencia con la intensidad de señal recibida, por lo que esta es una relación que indica que al aumentar la intensidad de señal recibida se incrementa la velocidad de descarga y de subida. Con la prueba de throughput realizada con el servidor iperf se puede observar un comportamiento bastante similar, y que puede comprobarse en el Cuadro 14. en donde se ve que la correlación lineal existente entre el flujo de información transmitida (*throughput*) y la intensidad recibida por el equipo es de 0.23, lo que indica que, a mayor intensidad de señal, el *throughput* será mayor, pero al ser este valor bastante cercano a cero, indica que la relación existente entre ambos no es tan fuerte.

Con las pruebas realizadas por la herramienta implementada, mencionadas anteriormente, las cuales sirven para la medición de parámetros como latencia, velocidad de descarga, velocidad de subida y *throughput*, se confirma que el objetivo de desarrollar una herramienta con dichas capacidades se cumple, al igual de que dicha herramienta sea escalable a N módulos. La medición de intensidad de señal recibida no es medida por dicha herramienta sino por el programa utilizado para la generación de mapas de calor. El objetivo de encontrar la correlación entre las herramientas se cumple ya que la intensidad de señal medida es proveída por el software utilizado mientras que los demás valores son medidos propiamente por la herramienta.

Para conocer el comportamiento del servicio de WiFi que presta la Universidad del Valle de Guatemala en el campus central es necesario obtener datos como velocidad de descarga, velocidad de subida y latencia a lo largo del tiempo, por lo que con la herramienta implementada se realizaron mediciones durante una semana cada cinco minutos. Los resultados de estas pruebas dan a conocer los horarios en los cuales la red presenta un mal rendimiento, este comportamiento se puede observar por cada día de la semana. Es necesario

también tener un punto de comparación, por lo que la herramienta realiza adicionalmente estas pruebas durante el fin de semana, con el objetivo de observar el comportamiento de la red cuando la Universidad se encuentra sin usuarios, como es el caso del sábado por la tarde y del domingo. Con estas pruebas se cumple el objetivo de conocer las horas de cada día en la que la carga por la cantidad de usuarios de la red es mayor, ocasionando un mal rendimiento de la misma. La herramienta únicamente debe situarse en un área donde tenga conexión a la red WLAN llamada UVG de la Universidad del Valle y darle energía a esta por medio de un cargador de al menos 1 Amperio, en vez de optar por la batería recargable. En las Figuras 28 y 29 que corresponden a pruebas de velocidad de descarga y de subida, y de latencia respectivamente durante un día domingo, se aprecia que el valor de ambas mediciones se mantiene alrededor del mismo punto, sin presentar tantas variaciones que se mantengan a lo largo del tiempo, sin mostrar valles ni picos.

Un comportamiento que se muestra constante en la red UVG es que las velocidades de descarga y de subida más altas, al igual que una latencia más baja, se encuentran en los horarios en los que la Universidad no presenta usuarios, como lo es el caso de las horas de la madrugada. Dicho comportamiento se ilustra claramente en la Figura 30. Para las velocidades de carga y de descarga, y en la Figura 31. para la latencia. Ambas figuras hacen referencia a pruebas realizadas en día lunes, pudiéndose ver en ellas que también el comportamiento mencionado anteriormente vuelve a presentarse después de las diez de la noche, cuando la Universidad vuelve a estar sin usuarios nuevamente.

Se puede observar también que, en los días hábiles, la red UVG de la Universidad presenta horas específicas por día en las que su rendimiento es menor, teniendo las velocidades de subida y bajada más bajas, y la latencia más alta, y que estas también coinciden en el mismo horario, como se mencionó anteriormente. Estos comportamientos también varían de acuerdo al día en que se esté realizando la prueba, ya que no en el mismo momento del día, la red UVG presenta la misma demanda de usuarios. Este comportamiento se observa en la Figura 30. en donde se ve que la hora más afectada del día es alrededor de las 3:15 PM para el día lunes, y que para el día martes es alrededor de las 4:00PM, tal como se puede observar en la Figura 32. El comportamiento vuelve a repetirse el día lunes de la siguiente semana, y se muestra muy similar al día lunes de la semana anterior, como se puede apreciar en las Figuras 38 y 39. Observando estos resultados obtenidos con la herramienta implementada, podemos darnos cuenta de que el objetivo de analizar los datos obtenidos por dicha herramienta es cumplido.

Un estudio de campo de redes inalámbricas de área local tiene el objeto de analizar la propagación de la señal de estas redes inalámbricas, identificando el estado real de la cobertura WiFi y el rendimiento que puede tener dicha red, mediante la ejecución de estudios activos con la herramienta Acrylic Wi-Fi Heatmaps, que fue mencionada con anterioridad. Esta herramienta es capaz de generar mapas de calor que muestran los diferentes valores que tiene la intensidad de señal y otros parámetros a ser medidos, y que se superponen sobre el plano del área en la que se realiza el estudio, en este caso el campus central de la Universidad del

Valle de Guatemala. Los valores que pueden ser medidos se encuentran en el Anexo B. Los mapas generados por esta herramienta fueron utilizados para generar los mapas de calor de la red UVG de la Universidad del Valle de Guatemala campus central, y así determinar el estado de la misma, cumpliendo los objetivos de elaborar un reporte y de la generación de mapas de calor útiles para tal propósito.

Es necesario resaltar que las pruebas activas, con las cuales se mide ancho de banda, latencia y pérdida de paquetes en capa de red del modelo OSI, dan una vista del momento exacto en el que se hicieron las mediciones, se puede decir que es realmente una fotografía de ese momento, ya que el comportamiento se verá afectado por factores como la cantidad de usuarios que estén utilizando la red en ese momento, como se discutió con anterioridad. Es importante continuar con los estudios en modo pasivo para analizar a lo largo del tiempo el rendimiento de la red. Los estudios pasivos son los que describen las características físicas de la red, estos no se verán afectados por la hora o el día en que se realicen las pruebas, sus características cambiarán únicamente al modificar el esquema físico de la red, como la colocación de más puntos de acceso o el movimiento de estos, o la decisión de transmitir en distintos canales a los que se utilizan para la transmisión de la red UVG actualmente.

Comparando la cantidad de usuarios que podría haber un punto, en este caso en particular en la cafetería de la Universidad, con el mapa generado por la herramienta de Acrylic de Densidad de dispositivos, con el mapa de Pérdida de paquetes en capa WiFi, se puede observar que mientras la densidad de dispositivos es más cercana a cero, existe una menor pérdida de paquetes en capa WiFi, lo que significa que una menor cantidad de paquetes de información tienen que ser retransmitidos. Este comportamiento encontrado se puede observar en el Cuadro 15. en donde también se comparan estos dos valores con el Ancho de Banda obtenido en esos mismos instantes. Se puede observar claramente que el mejor ancho de banda existe en la primera columna de dicho cuadro, que coincide con la menor densidad de dispositivos conectados a la red UVG, y que también coincide con la menor pérdida de paquetes. Una pérdida mayor de paquetes indica que el ancho de banda debe utilizarse en gran parte para retransmitir dichos paquetes, y que esto tiene un impacto negativo en el flujo de información que puede ser transmitido satisfactoriamente a través del canal.

Existen otros factores importantes a ser considerados a la hora de analizar el rendimiento de una red inalámbrica de área local. Uno de estos factores es la relación de señal-ruido (SNR). Esta relación es importante ya que el ruido puede ser una de las causas más grandes de pérdida de paquetes, además de que puede indicar la presencia de interferencia con alguna otra señal. La red UVG que la Universidad provee a los usuarios es transmitida tanto en la banda de frecuencias de 2.4 GHz como en la de 5 GHz, sin embargo, pueden llegar a existir muchas interferencias para la transmisión en la banda de 2.4 GHz ya que muchos dispositivos inalámbricos transmiten también en estas frecuencias. Por ese motivo es importante el uso de un analizador de espectro para encontrar estas interferencias y de la medición del parámetro SNR, que para ser medido por la herramienta de Acrylic necesita de dispositivos de captura especiales los cuales oscilan en su

costo en alrededor de los \$500.00 para un equipo usado y de alrededor de \$1000.00 dólares para uno nuevo, razón por lo que se optó por omitir este parámetro del estudio, y razón por la cual no se completa el objetivo de la generación de mapas de calor del ruido, o la medición de este valor.

La intensidad de la señal recibida es un parámetro que varía según la tarjeta de red y la antena utilizada, antenas con más capacidad podrían indicar que existe una mayor cobertura en un punto en donde una con menor capacidad podrá indicar que no hay cobertura en dicho punto. Esto impactara también en la cantidad de puntos de acceso que son detectados en un punto dado, al igual que los canales que pueden ser detectados también. Para el estudio de campo realizado en la Universidad, en todos los puntos en los que este fue realizado, que son los que se encuentran en la Sección D. de los resultados de este trabajo, se detectó que existe cobertura en todos los puntos, exceptuando el primer nivel del Edificio K de la Universidad, y también en el sótano del mismo, como puede apreciarse en las Figuras 132. y 133.

Para una red WLAN en modo infraestructura ESS, como lo es la red UVG de la Universidad del Valle de Guatemala campus central, es importante que exista la Itinerancia, ya que esto provee al usuario de la movilidad que necesita tener, sin desconectarse de la red que exista una desconexión de la red. Existe Itinerancia tanto en los edificios de la Universidad donde se realizó el estudio, como en las áreas aledañas a estas. La cobertura de estas áreas aledañas está dada por puntos de acceso que utilizan antenas que permiten la emisión de la señal con una mayor potencia de transmisión y con un patrón de radiación distinto a las que se utilizan en los interiores de los edificios, como puede apreciarse en el Anexo D, en donde se encuentran imágenes de los dos tipos de Puntos de Acceso encontrados en la Universidad.

El solapamiento de los canales es un fenómeno que puede causar interferencias ya que el ancho de banda de un canal de 2.4 GHz se traslapa en el espectro de otros tres canales, por lo que de los 11 canales que pueden existir, únicamente tres de estos canales no se van a solapar ni a interferir entre sí; por lo que es una buena práctica la utilización de estos canales en áreas donde debe haber más de un punto de acceso. Estos canales son el 1, el 6 y el 11. En el estudio de campo realizado en la Universidad se encuentra que se respeta el uso de dichos canales que no se solapan para la transmisión de la red UVG en la banda de los 2.4 GHz. En la transmisión de la red UVG en la banda de los 5 GHz, se utilizan también canales que no se solapan entre sí, lo cual indica que la red UVG tuvo un buen diseño al considerar evitar este tipo de interferencias co-canal.

En general puede decirse que la red inalámbrica de área local UVG de la Universidad del Valle de Guatemala campus central se encuentra diseñada correctamente ya que garantiza a los usuarios la cobertura en la gran mayoría del área del campus central, y que no utiliza canales para la transmisión que puedan tener interferencia co-canal tanto en las bandas de 2.4 GHz como en la de 5 GHz. Sin embargo, el rendimiento de la misma se ve afectada por la gran cantidad de usuarios que tiene la red a diferentes horas del día, el cual fluctúa pasando de un buen desempeño cuando no se presentan usuarios en la Universidad a un mal

rendimiento cuanto mayor sea la cantidad de usuarios de esta red en la Universidad. Existen posibles soluciones para dicho problema, los cuales serán explorados en la sección de Recomendaciones de este trabajo.

VIII. CONCLUSIONES

Se elaboró e implementó una herramienta capaz de realizar mediciones de velocidad de descarga, velocidad de subida, latencia y flujo de información (*throughput*) permitiendo movilidad a lo largo del campus central de la Universidad del Valle de Guatemala campus central y permitiendo la obtención de los datos para el posterior análisis de los mismos.

La herramienta es escalable a N módulos, y que estos puedan utilizarse simultáneamente en distintos puntos de la Universidad para la obtención de datos de la red UVG.

Se encontró la correlación entre los datos recopilados por el software y por la herramienta implementada, mostrando que existe una correlación lineal negativa entre la latencia y la velocidad de descarga, velocidad de subida y *throughput*, lo que indica que mientras la latencia baje, las velocidades de carga y descarga y el flujo de información que puede atravesar el canal serán mayores.

La intensidad de señal recibida por un dispositivo inalámbrico de una red inalámbrica de área local tiene una correlación lineal negativa con la latencia, indicando que mientras la intensidad de señal recibida disminuya, la latencia aumentará.

La intensidad de señal recibida por un dispositivo inalámbrico de una red inalámbrica de área local tiene una correlación lineal positiva con la velocidad de descarga, velocidad de subida y *throughput*, lo que indica que mientras la intensidad de señal recibida sea mayor, mayor serán las velocidades de subida y bajada y el flujo de información que pasa a través del medio será mayor.

La Universidad garantiza la cobertura de la señal de la red UVG en las áreas donde es necesaria la presencia de una red inalámbrica de área local con conectividad a internet, lo cual pudo observarse realizando los mapas de calor de intensidad de señal, por lo que este objetivo se cumple.

La Universidad cumple con las buenas prácticas a la hora de implementar la red de área local inalámbrica UVG, al no existir el solapamiento en los canales que utiliza para la transmisión de la red, además de existir Itinerancia en los recorridos realizados dentro del campus central de la Universidad, lo que confirma el cumplimiento de conocer el estado actual de la red WiFi de la Universidad.

La cantidad elevada de usuarios que están conectados a la red de área local inalámbrica de la universidad en determinados momentos del día, es la causa principal del rendimiento pobre de la misma.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda que el servidor *iperf* utilizado para las pruebas de *throughput* se ejecute en un dispositivo con las mismas capacidades del dispositivo cliente, ya que la velocidad del procesador de la Raspberry Pi 1 utilizada en este proyecto, es menor a la de la Raspberry Pi 2, la cual era el cliente, y esto ocasiona que los datos recopilados no sean los mismos en el cliente y en el servidor.

Es necesario utilizar siempre la misma antena a la hora de generar los mapas de calor de intensidad de señal recibida, cobertura de canales, *etc.* Ya que de no realizar los estudios con la misma antena los valores encontrados serán diferentes para cada antena, por lo que no se podrá realizar una comparación entre valores de estudios futuros con estudios pasados.

Se recomienda también la obtención por parte de la Universidad de la herramienta de captura *Airpcap*, ya que con ella será capaz de la generación de mapas de calor de la relación señal-ruido que puede existir en los diversos puntos, lo cual le será útil para futuras planeaciones de mejoramiento y/o expansión de la red. La adquisición de este dispositivo debe ir de la mano con la adquisición de una licencia profesional de la herramienta de generación de mapas de calor *Acrylic Wi-Fi Heatmaps* para la ejecución de estudios futuros.

Para mitigar el problema del bajo rendimiento de la red UVG de la Universidad del Valle de Guatemala al existir una gran cantidad de usuarios conectados y haciendo uso de la misma, se recomienda a la Universidad la segmentación de los puntos de acceso en las áreas donde se encuentran la mayor cantidad de usuarios, como lo es el caso de la cafetería de la misma. La segmentación permitirá que el ancho de banda pueda ser repartido en más usuarios, permitiendo que el ancho de banda que es capaz de ocupar cada usuario sea mayor. Contemplar la obtención de un mayor ancho de banda por parte del proveedor de servicios de internet es también una solución que podría incrementar el ancho de banda para cada usuario, siendo mayor la cantidad de este que debe repartirse entre cada uno.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Acrylic WiFi. *Hardware Wi-Fi en modo monitor*. <https://www.acrylicwifi.com/soporte/hardware-compatible/>. [14/09/16].
- Acrylic WiFi. 2016. *Manual de usuario Acrylic WiFi Heatmaps*. Estados Unidos: Tarlogic Security SL. 126 págs.
- Adafruit. *DIY installer script*. <https://learn.adafruit.com/adafruit-pitft-3-dot-5-touch-screen-for-raspberry-pi/easy-install#diy-installer-script>. [20/09/16].
- Allan, Alasdair. *Use raspberry pi to measure broadband speeds to hold your ISP accountable*. <http://makezine.com/projects/send-ticket-isp-when-your-internet-drops/>. [14/09/16].
- Australian War Memorial. *Technology, weaponry and communications in 1918*. <https://www.awm.gov.au/exhibitions/1918/technology/> [16/09/16].
- Beal, Vangie. *802.11 IEEE Wireless LAN standards*. http://www.webopedia.com/TERM/8/802_11.html [16/09/16].
- Bengtsson, Henrik. *Speedtest-cli-extras*. <https://github.com/HenrikBengtsson/speedtest-cli-extras> [14/09/2016].
- Carrera, Blaise. *Iperf*. <https://openmaniak.com/iperf.php> [20/09/16].
- CCM. *Introducción a Wi-Fi (802.11 o WiFi)*. <http://es.ccm.net/contents/789-introduccion-a-wi-fi-802-11-o-wifi> [20/09/16].
- Christensson, Per. *Wi-Fi Definition*. <http://techterms.com/definition/wifi> [19/07/2016].
- Coleman, David y Westcott, David. 2006. *Certified Wireless network administrator*. Wiley Publishing Inc: Indianapolis. 526 págs.
- Davis, Larry. *Visible optical spectrum*. http://www.interfacebus.com/Visible_Optical_Spectrum.html [18/09/16].

- Ekahau. *Ekahau Heatmapper*. Ekahau. <http://www.ekahau.com/wifidesign/ekahau-heatmapper> [19/07/2016].
- Espejel, Luis. *Ancho de banda y troughput*. <http://www.ipref.info/2009/11/ancho-de-banda-y-throughput.html> [17/09/16].
- Frenzel, Louis. 2014. *Principles of electronic communication systems*. 4^a ed. Nueva York: McGraw-Hill Education. 930 págs.
- Hindle, Pat. *History of Wireless Communications*. <http://www.microwavejournal.com/articles/24759> [16/09/16].
- Investopedia. *Correlation coefficient*. <http://www.investopedia.com/terms/c/correlationcoefficient.asp> [19/09/16].
- Marin-Tordera, Eva, *et al.* 2010. <<Quality of experience enforcement in wireless networks>> *Wired/wireless internet communications*. VIII. 180 -191.
- Martz, Matt. *Speedtest-cli*. <https://github.com/sivel/speedtest-cli>. [14/09/16].
- Microsoft. *The OSI model's seven layers defined and functions explained* . <https://support.microsoft.com/en-us/kb/103884> [17/09/16].
- Netgear. *AC1200 Adaptador WiFi USB*. http://www.netgear.es/home/products/networking/wifi-adapters/a6200.aspx?cid=wmt_netgear_organic. [14/09/16].
- Odom, Wendell. 2008. *CCENT/CCNA ICND1 Official exam certification guide*. 2^a ed. Indianapolis: Cisco Press. 641 págs.
- Raspberry Pi Foundation. *Raspberry pi 1 model B*. <https://www.raspberrypi.org/products/model-b/> [20/09/16].
- Raspberry Pi Foundation. *Raspberry pi 2 model B*. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/> [20/09/16].
- Rouse, Margaret. *Gateway definition*. <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/gateway>. [22/09/16].

Sarkar, Tapan, *et al.* 2006. *History of wireless*. Estados Unidos: Wiley. 680 págs.

Shea, John. *History of Wireless Communication*.

<http://wireless.ece.ufl.edu/jshea/HistoryOfWirelessCommunication.html> [16/09/16].

Simoneau, Paul. 2006. *The OSI model: understanding the seven layers of computer networks*. Estados Unidos: Global Knowledge Training LLC.

Speed Guide. *How to read RSSI/signal and SNR/Noise ratings?* <http://www.speedguide.net/faq/how-to-read-rssisignal-and-snrnoise-ratings-440> [19/07/2016].

Tech Republic. 2003. *Wireless networking survival guide*. Louisville: TechRepublic. 186 págs.

The Wi-Fi Alliance. *Certification*. <http://www.wi-fi.org/certification> [16/09/16].


Vouzis, Panagiotis. *Raspberry pi and distributed network monitoring: Iperf*.

<https://netbeez.net/2014/08/19/raspberry-pi-and-distributed-network-monitoring-iperf/> [17/09/16].

Metageek. *Designing a dual-band wireless network*. <http://www.metageek.com/training/resources/design-dual-band-wifi.html>. [25/11/16].

XI. ANEXOS

A. PRESENTACIÓN DE ACRYLIC WI-FI HEATMAPS



LA HERRAMIENTA DE SITE SURVEY MÁS AVANZADA

SITE SURVEY

Acrylic WiFi Heatmaps es la herramienta más potente e intuitiva que te permitirá analizar fácilmente la calidad de cualquier red Wi-Fi, su rendimiento y seguridad con un simple recorrido por las instalaciones. Mediante un sencillo proceso automático de análisis de la red Wi-Fi y la identificación de puntos de acceso, Acrylic WiFi Heatmaps almacena, entre otros datos, los niveles de señal y localización de los puntos de acceso, solapamiento de canales, seguridad, etc. mostrando toda esta información en gráficos detallados de gran calidad que representan el estado y el rendimiento de la red.



Representación en 3D Puntos de medición

- 2.4 y 5GHz 802.11 a/b/g/n/vw.
- Análisis pasivo y activo (Perf).
- Modo monitor.
- GPS para análisis de estaciones.
- Soporta AirPcap.
- Identifica y ubica los puntos de acceso (APs).

*Modo monitor requiere una tarjeta compatible, más información en www.acrylicwifi.com

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los diferentes datos recogidos durante el proceso de medición se presentan en más de 14 mapas de gran calidad y editables. Estos mapas en 2D y 3D son la representación visual más intuitiva de los diversos parámetros examinados durante el site survey, para poder analizar el rendimiento de la red y detectar cualquier zona con problemas en la calidad de señal. Además de los mapas en 2D y 3D, Acrylic WiFi Heatmaps genera mapas en KML, para poder visualizar tu proyecto en Google Earth.



Tipos de mapas

- Mapas de gran calidad.
- Mapas de calor en 2D y 3D.
- Cobertura de red (RSSI).
- Cobertura y densidad de APs.
- Data rates de los APs.
- Densidad de dispositivos Wi-Fi.
- Relación señal/ruido (SNR).
- Visión en malla con información segmentada en celdas.
- Ancho de banda real.
- Latencia de las comunicaciones.
- Tasa de pérdida de paquetes.
- Identificación de problemas de roaming.

Descarga hoy tu versión de prueba

 **COMPLETAMENTE GRATIS**
www.acrylicwifi.com

INFORMES DETALLADOS

El módulo de generación de informes exhaustivos de Acrylic WiFi Heatmaps te permitirá presentar las conclusiones y los resultados de las mediciones del site survey de la manera más sencilla. Solo tendrás que seleccionar el tipo de informe que deseas generar, escoger las localizaciones o escaneos que quieres incluir, el idioma, el formato y ¡listo! Ovídense de tediosos documentos no editables, con Acrylic WiFi Heatmaps podrás modificar datos, gráficos y mapas y adaptar las secciones del informe a tus necesidades.



Informe

CALIDAD WI-FI

Acrylic WiFi Heatmaps cuenta con un módulo integrado de análisis de calidad de la red que te permite identificar las zonas donde se necesita mejorar el rendimiento.

El módulo WiFi Quality incluye dos perfiles: Web Browsing y VoIP, con parámetros configurados por nuestros expertos en optimización Wi-Fi, que muestran en cada zona estudiada, si la red soporta o no navegación y llamadas sobre IP, respectivamente.

Este módulo te permitirá establecer perfiles con requisitos (tales como niveles de cobertura, latencia, ancho de banda, etc.) y visualizar las zonas en las que se cumplen y aquellas en las que no.

MODELO DE LICENCIAMIENTO FLEXIBLE

El modelo de licenciamiento flexible de Acrylic WiFi Heatmaps está especialmente diseñado para adaptarse a tus necesidades y presupuesto. Si realizas proyectos de site survey ocasionalmente, las licencias de 1 mes y 3 meses de Acrylic WiFi Heatmaps te permitirán optimizar tus costes. Si por el contrario, realizas análisis de cobertura frecuentemente, te recomendamos que optes por una licencia de mayor duración, con lo que te beneficiarás de un mejor precio y tendrás Acrylic WiFi Heatmaps disponible siempre que lo necesites.

MÁS INFORMACIÓN DISPONIBLE EN:

Acrylic WiFi - Tarlogic Security
www.acrylicwifi.com
sales@acrylicwifi.com
 Tel: (+34) 881972680
 Travesía de Montauto, 1 Bajo
 15804 TED - A Coruña - España



• Informe ejecutivo: dirigido a personal no técnico, muestra de manera resumida las conclusiones del proyecto.

• Informe técnico: dirigido a personal técnico, incluye, además de las conclusiones, los resultados técnicos obtenidos durante el site survey.

• Informe completo: además de conclusiones y resultados, ofrece información detallada de las mediciones de cada punto de acceso.

• Formatos editables: .DOCX, .CSV y .XLS.

• Múltiples controles de calidad de la red.

• Categorización de la red en base a parámetros objetivos y configurables.

• Evaluación de la red según su uso categorizado por perfiles: navegación, VoIP, multimedia, etc.



Calidad Wi-Fi por zonas

REQUISITOS DEL SISTEMA

SISTEMA OPERATIVO	Windows Vista, 7, 8, 8.1, 10
LIBRERÍA NECESARIA	Microsoft .Net Framework 4.5 (instalado por defecto en Windows 8.1 y superior)
PROCESADOR	1.5GHz (multicore recomendado)
MEMORIA	2GB RAM (4GB recomendado)
ESPACIO EN DISCO	40 MB para la instalación de Acrylic WiFi y 500 MB de espacio extra para los informes (+1 GB recomendado)
ADAPTADORES WIFI	Cualquier dispositivo WiFi, mínimo estándar (USB). Aunque se recomienda tener el apartado destinado a los dispositivos soportados.

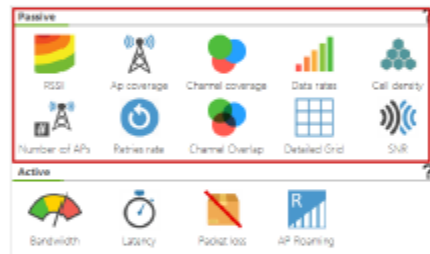
*Modo monitor requiere una tarjeta compatible, más información en www.acrylicwifi.com

B. MAPAS DE CALOR DE ACRYLIC WI-FI HEATMAPS




4.3.1.1 Gráficos de una captura pasiva

A continuación se analizan los gráficos que se pueden generar tras haber realizado una monitorización en modo pasivo.



4.3.1.1.1 Nivel de señal (RSSI)

 Mapa de calor que representa el nivel de señal de las redes en el área de la captura de datos.

Los valores del RSSI varían desde 0dBm (mejor señal) hasta -100dBm (peor señal).

Los valores habituales se encuentran en el rango de -40 a -70.



4.3.1.1.3 Cobertura por canal (channel coverage)

Este gráfico representa, para cada punto, el canal recibido con mayor intensidad de señal.



Al visualizar la distribución de los canales sobre el plano o satélite se podrá reconocer y actuar sobre posibles solapamientos de canales, al evidenciar que las áreas de canales geográficamente contiguas no respetan la separación mínima de 5 canales.

4.3.1.1.4 Tasas de transferencia de datos (data rates)

Este gráfico representa las tasas de transferencia soportadas por los puntos de acceso con mejor cobertura en cada zona. Es importante que se cubra la mayor área posible con la mayor tasa de transferencia soportada posible. Esta tasa no implica que se pueda conseguir el ancho de banda soportado, puesto que hay factores adicionales que influyen en las transmisiones de datos, tales como intensidad de señal, el ruido presente en el medio radioeléctrico, saturación de la red, etc. Para medir con precisión valores reales de ancho de banda será necesario realizar un site survey activo.



Esta tasa de transferencia se refiere a la máxima soportada por cada punto de acceso. Aunque un punto de acceso soporte una determinada tasa de transferencia, no siempre es posible realizar transmisiones de datos a esas tasas, dependiendo del ruido presente en el medio radioeléctrico, la intensidad con la que se reciben las señales, el número de dispositivos que compiten por el medio inalámbrico, la distancia del cliente al punto de acceso, etc. Estos factores pueden afectar negativamente al rendimiento de la red.

NOTA: Para conocer valores reales de transferencia de datos es necesario realizar un **site survey activo**.

4.3.1.1.5 Densidad de dispositivos (*cell density*)

Este mapa de calor representa la densidad de dispositivos conectados a los puntos de acceso seleccionados. Permite visualizar las zonas con mayor nivel de dispositivos WiFi, para identificar aquellos puntos de acceso que deben ser optimizados para soportar un mayor número de conexiones o áreas en las que la densidad es elevada y es necesario desplegar nuevos puntos de acceso que eviten la saturación de los existentes.

Una zona con una densidad de dispositivos alta puede tener implicaciones negativas en el rendimiento de la red, ya que existirá una mayor ocupación del medio inalámbrico (*airtime*).

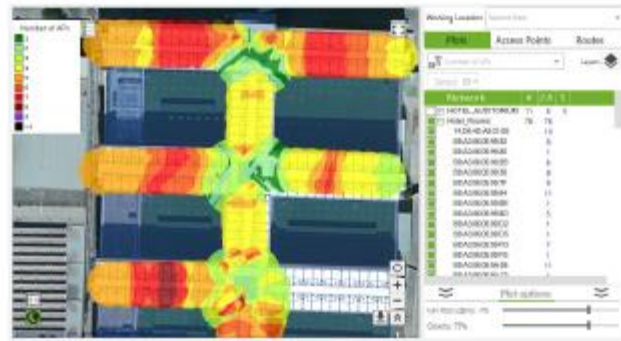




NOTA: Esta información solo estará disponible si la monitorización se ha realizado usando modo monitor o un dispositivo Airpcap.

4.3.1.1.6 Número de puntos de acceso (number of aps)

Este gráfico representa el número de puntos de acceso que se detectan en cada zona.



Este gráfico complementa la información de solapamiento de canal. Una alta densidad de puntos de acceso de una misma red puede ser beneficiosa siempre y cuando el solapamiento sea bajo.

4.3.1.1.7 Tasa de reenvíos (retries rate)

Este gráfico representa la tasa de reenvíos detectados mediante el análisis del tráfico capturado de manera pasiva.



Por lo general, un reenvío es el resultado de una transmisión fallida provocada por interferencias, un nivel de ruido excesivo o una mala ubicación de las antenas de un dispositivo WiFi o punto de acceso. Es interesante conocer aquellas zonas donde se han producido tasas altas de reenvío para centrar los esfuerzos en mejorar este parámetro y de este modo aumentar el rendimiento de la red.

Es un porcentaje que oscila entre 0 a 100. Valores por encima del 10% se consideran negativos para el rendimiento de la red.

Estas tasas se calculan teniendo en cuenta el tráfico capturado en un preciso instante, por lo que son dependientes de los datos que se estén transmitiendo en cada momento.

NOTA: Este gráfico solo está disponible si el site survey se realizó usando modo monitor o con un dispositivo Airpcap. Si el valor es muy elevado existe un problema real de rendimiento.



4.3.1.1.8 Solapamiento de canal (channel overlap)

Este gráfico representa la medida del nivel de solapamiento de los canales utilizados en cada área. Se incluyen en un mismo gráfico las interferencias co-canal y de canal adyacente, de manera que se pueden visualizar de una manera sencilla estos parámetros.



La interferencia de canal adyacente se produce cuando hay otro punto de acceso emitiendo en un canal próximo, de modo que las frecuencias de emisión se solapan. Dependerá del ancho de canal usado por cada punto de acceso y de la diferencia entre las intensidades de señal (diferencias inferiores a 20 dBm).

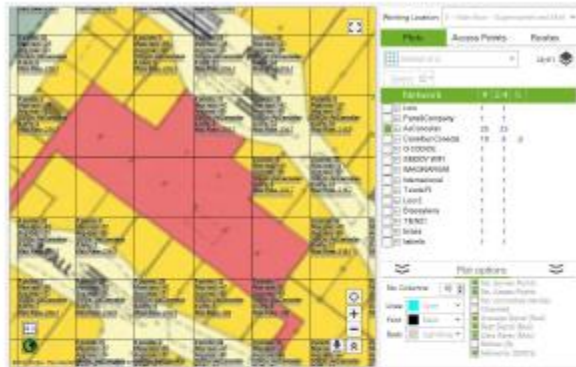
A su vez, las interferencias por co-canal se producen en el momento en que varios puntos de acceso emiten en el mismo canal y la diferencia entre las intensidades de señal es menor de 20 dBm.

Cuanto mayor sea el número de dispositivos interferentes peor será el rendimiento de la red. Por otro lado, también se debe intentar que exista el menor solapamiento posible.

4.3.1.1.9 Cuadrícula detallada (detailed grid)

Este gráfico divide el área de la monitorización en cuadrículas, mostrando datos en bruto agrupados en cada cuadrícula.

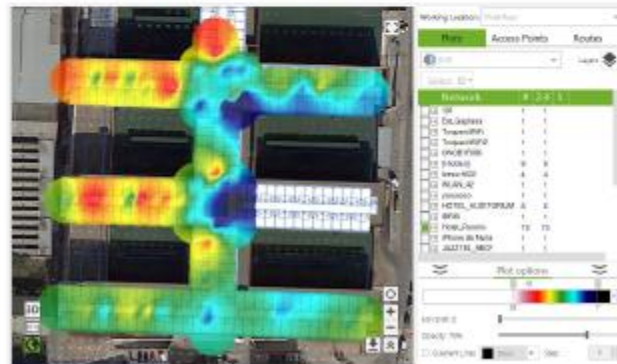




Este gráfico facilita visualizar datos concretos segmentando el área.

4.3.1.1.10 Relación señal ruido (Signal-to-Noise-Ratio)

Este gráfico muestra los valores de la relación entre la intensidad de la señal y el ruido, llamado SNR, asociada al nivel de señal con el que se reciben los paquetes de datos de un punto de acceso.



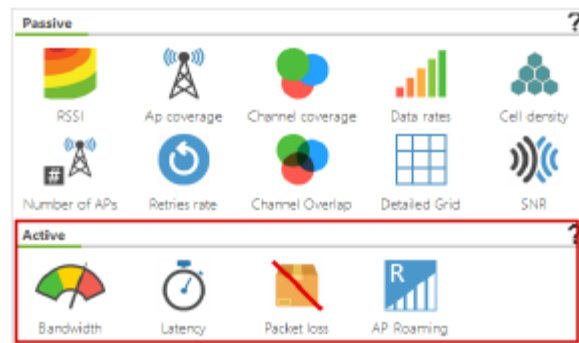
La relación señal/ruido es un buen parámetro para medir la calidad de una comunicación, puesto que tiene en cuenta la intensidad de señal recibida y el ruido presente en el medio inalámbrico.

Su valor oscila entre 0 (peor) a 100(mejor). Se considera un buen valor a partir de 60.


NOTA: Gráfico solo disponible si el site survey se realizó usando un dispositivo Aircap.

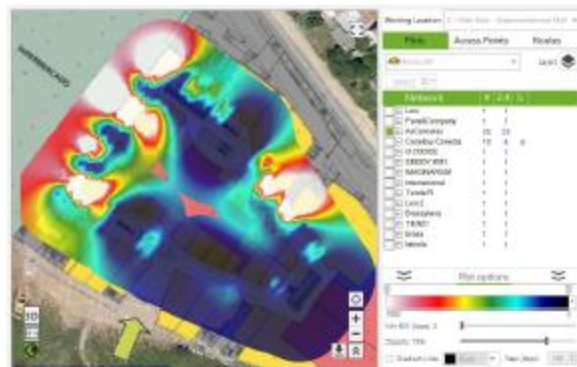
4.3.1.2 Gráficos de una captura activa

A continuación se analizan los gráficos que se pueden generar tras haber realizado una monitorización en modo activo.



4.3.1.2.1 Ancho de banda (bandwidth)

 Representa el ancho de banda en Kbps en cada uno de los puntos del área cubierta por la monitorización. La precisión de este parámetro variará en función del método elegido en la configuración: servidor iPerf o descarga de fichero. Más información acerca de las diferencias entre estos dos métodos en la sección de captura activa.



Cuanto mayor sea el ancho de banda mejor rendimiento global tendrá la red.

Para una comunicación VoFi fluida entre dos dispositivos WiFi se recomienda un mínimo de ancho de banda de 430 kbps.

4.3.1.2.2 Latencia (latency)

⌚ Representa la latencia (*latency*) de un paquete en milisegundos, es decir, el tiempo necesario en transmitir un paquete de datos y recibir el paquete de confirmación de que se ha enviado correctamente.

La latencia es el tiempo invertido en enviar un paquete de datos a un destino y recibirlo de vuelta. Este parámetro es importante en servicios que requieren respuestas rápidas como pueden ser comunicaciones por VoIP, videoconferencias o streaming.

Los valores de latencia en la red están relacionados con la experiencia final del usuario durante el uso de este tipo de comunicaciones.


Se recomienda tener una latencia por debajo de 150ms entre los dos extremos de una comunicación. Al hacer mediciones tenga en cuenta que es probable que el servidor con el que se mide la latencia no es el destinatario final de una llamada, por eso se recomienda tener valores por debajo de 45ms.



Mientras la pérdida de paquetes de la captura pasiva indica la tasa de paquetes WiFi que han tenido que ser enviados de nuevo, este valor indica los paquetes que se han perdido en la capa 4 del modelo OSI.

Son recomendables valores bajos con tasas por debajo del 1% para obtener un correcto funcionamiento.

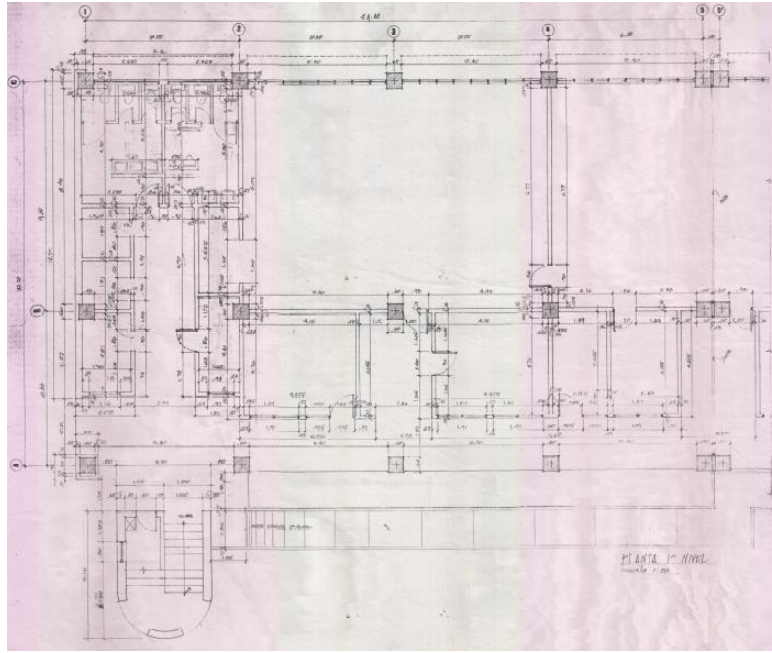
4.3.1.2.4 Itinerancia (roaming)

 Cataloga el área de monitorización atendiendo al funcionamiento de la itinerancia de datos asociándola al punto de acceso al cual estaba conectado.

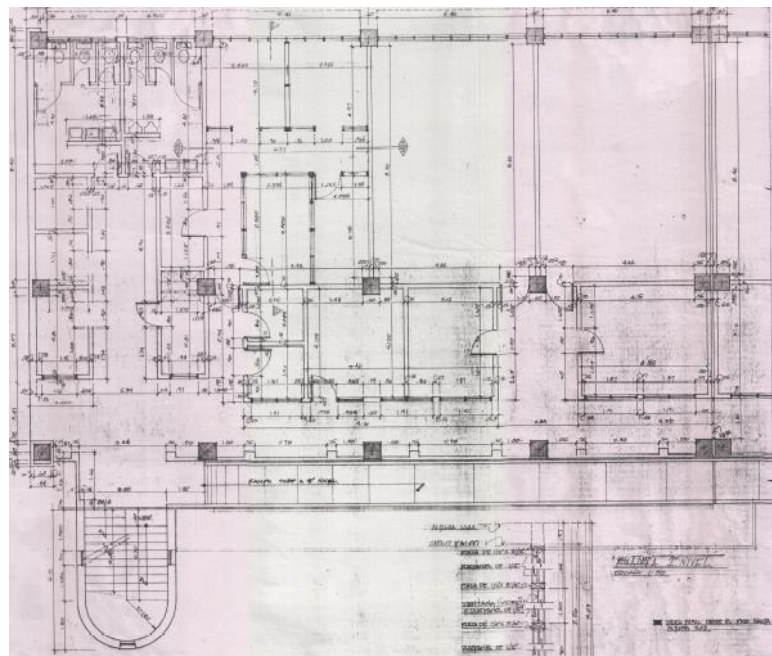


C. PLANOS UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DE CAMPO

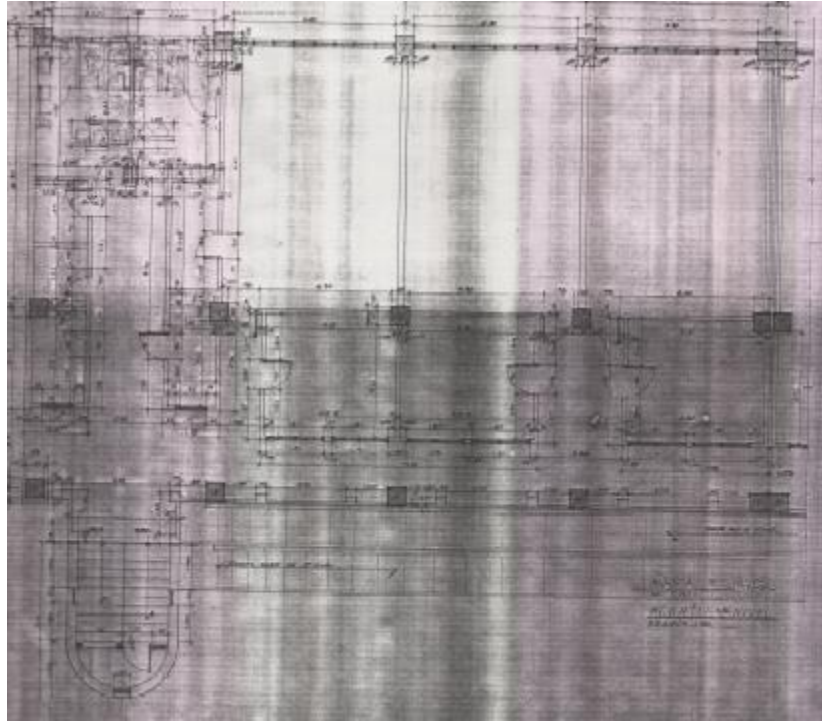
1. Edificio J, parte 1 primer nivel



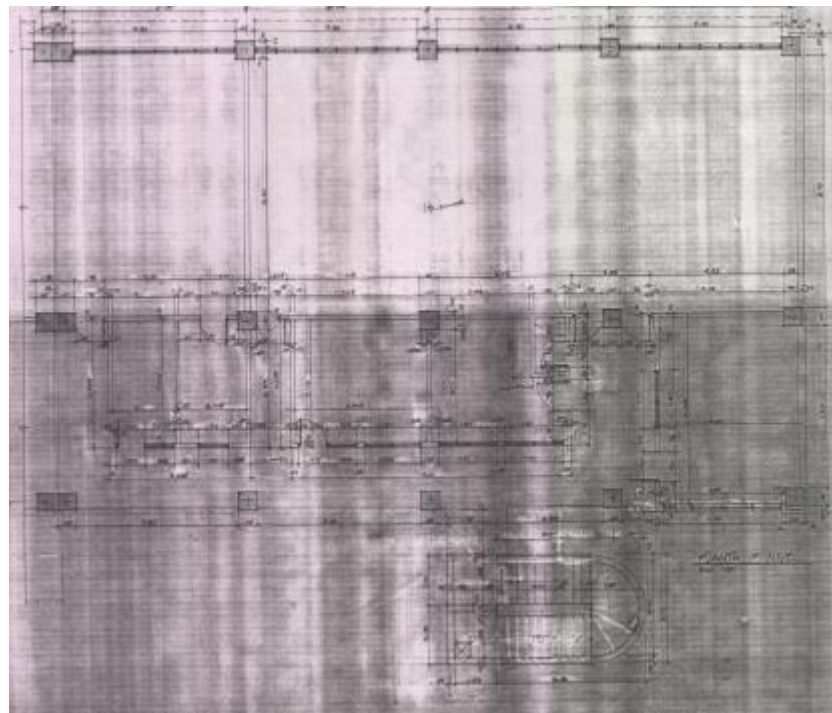
2. Edificio J, parte 1 segundo nivel



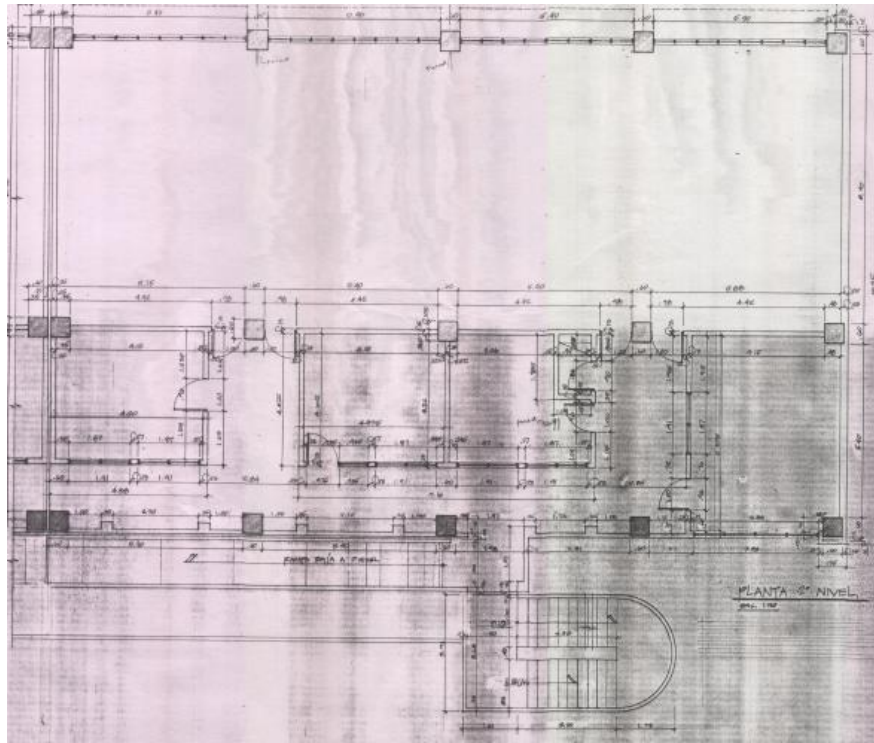
3. Edificio J, parte 1 tercer nivel



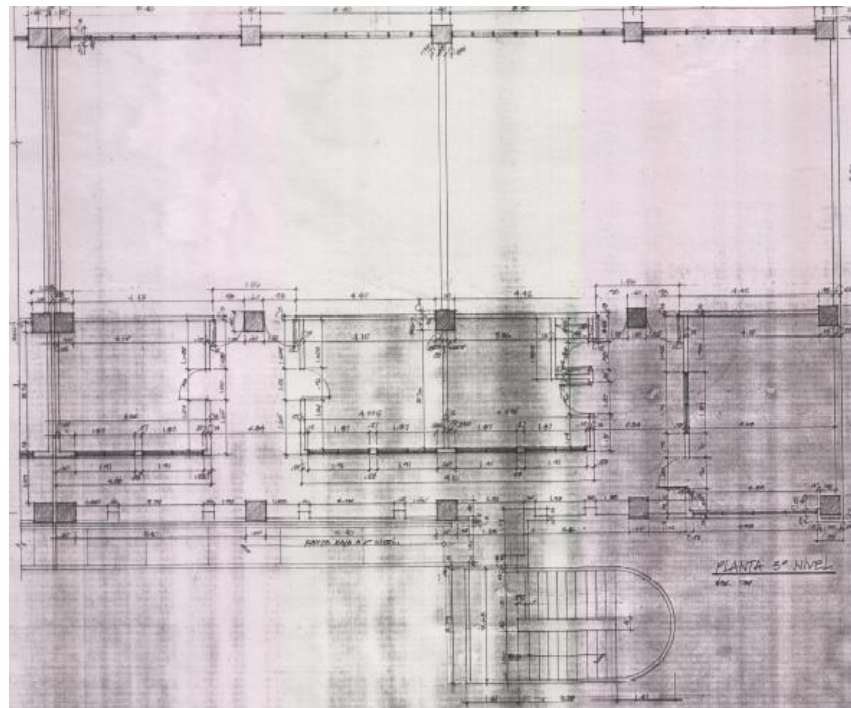
4. Edificio J, parte 2 primer nivel



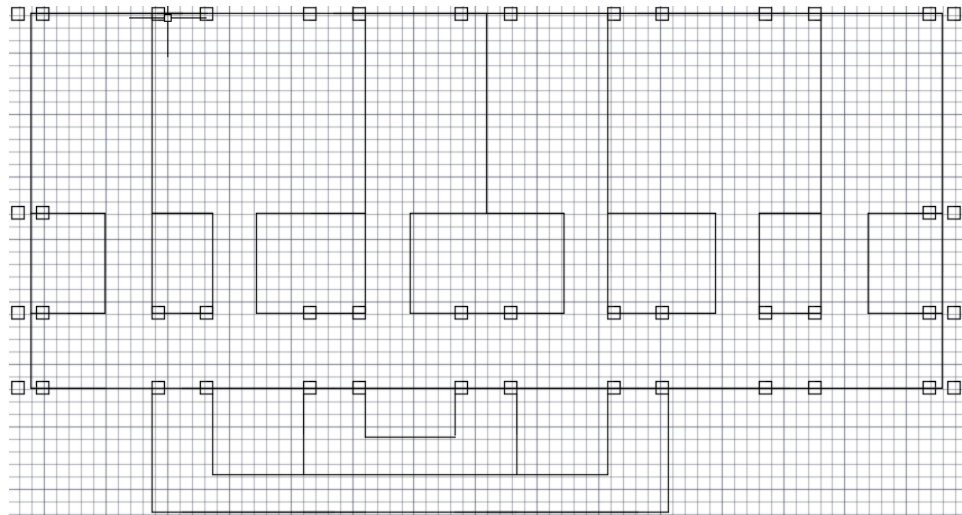
5. Edificio J, parte 2 segundo nivel



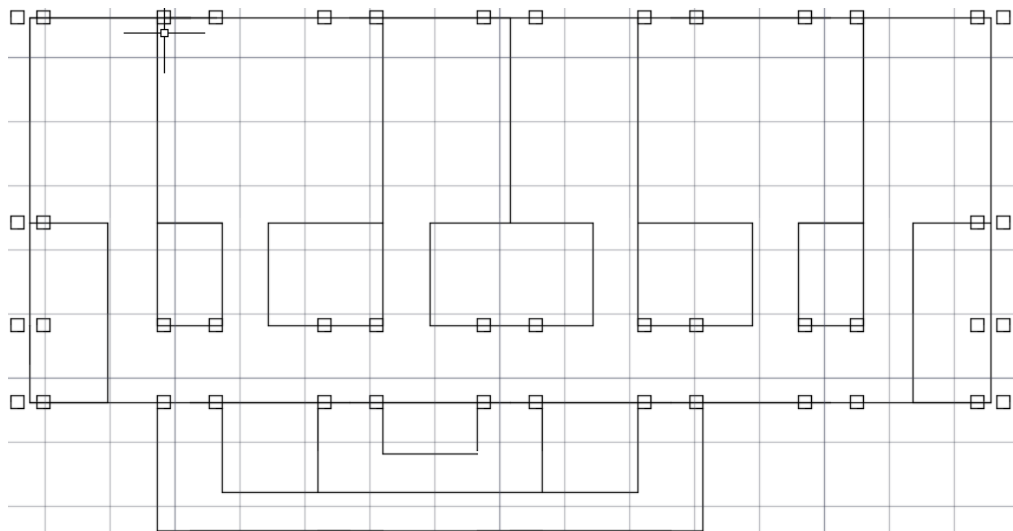
6. Edificio J, parte 2 tercer nivel



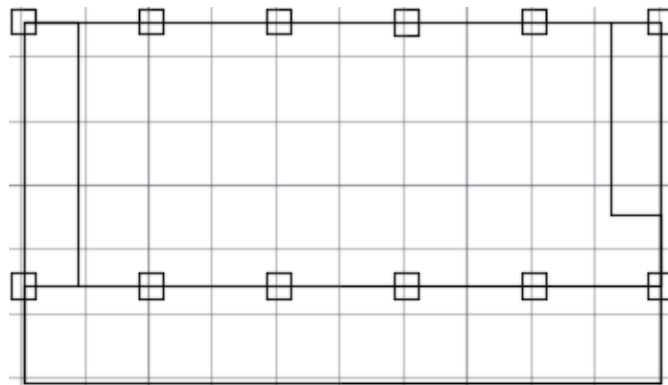
7. Edificio A, primer nivel



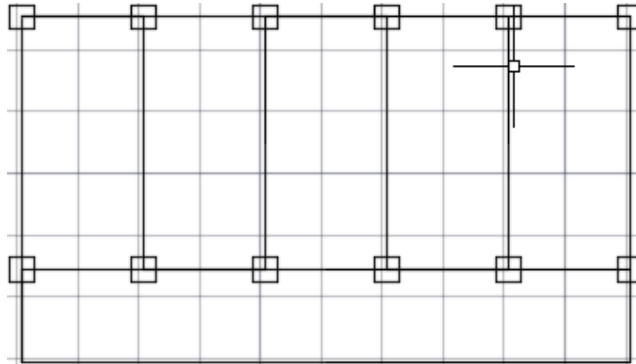
8. Edificio A, segundo y tercer nivel



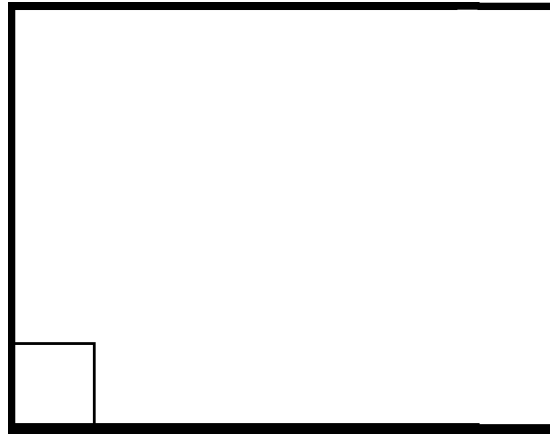
9. Edificio H, primer nivel (cafetería)



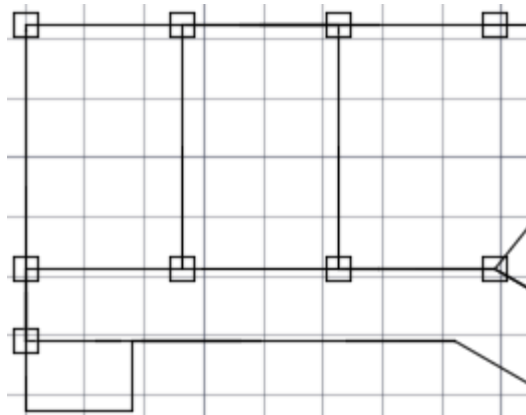
10. Edificio H, segundo y tercer nivel, es también para Edificio G primero, segundo y tercer nivel.



11. Edificio K, primero, segundo, tercer nivel y sótano.



12. Edificio I, segundo nivel.



D. DIFERENTES PUNTOS DE ACCESO ENCONTRADOS EN LA UNIVERSIDAD

1. Exteriores (sobre el Edificio K)



2. Interiores (J302)



XII. GLOSARIO

Calidad de señal: Es el porcentaje de teórico de señal entre la intensidad de señal y el ruido.

Gateway: Es un nodo que sirve para conectar una red de una empresa, de un hogar, o un dispositivo al internet. Es el enlace existente entre ambos.

Índice de correlación lineal: Es la medida que determina el grado en el que la variación de dos variables está asociada.

Intensidad de señal: Es la cantidad de señal útil de una onda de radio, esta es expresada en decibeles.

Mapas de calor: Son unos gráficos que nos muestran con distintos colores los diferentes valores que puede tomar una señal en un área determinada. Estos valores pueden ser de intensidad de señal, de ruido, entre otros.

Ruido: Es la combinación de todas las señales no deseadas que son detectadas por nuestros dispositivos. El ruido es medido en decibeles.

WiFi: Es una tecnología de redes que permite a los dispositivos conectarse entre sí o al internet de manera inalámbrica. Se basa en el estándar 802.11 desarrollado por la IEEE.