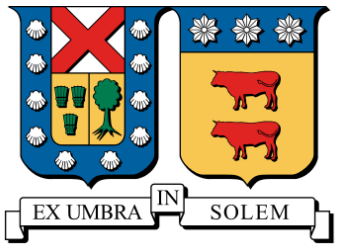
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

VALPARAÍSO – CHILE



"MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE DENSIDAD DE POTENCIA RADIADA WI-FI EN LUGARES DEL GRAN VALPARAÍSO"

ENZO ALEXIS RIVERA BENOIS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRÓNICO MENCIÓN TELECOMUNICACIONES

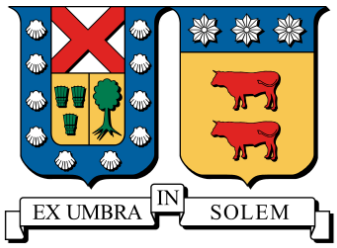
PROFESOR GUÍA: RICARDO OLIVARES VÉLIZ

AGOSTO – 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

VALPARAÍSO – CHILE



"MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE DENSIDAD DE POTENCIA RADIADA WI-FI EN LUGARES DEL GRAN VALPARAÍSO"

ENZO ALEXIS RIVERA BENOIS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRÓNICO MENCIÓN TELECOMUNICACIONES

PROFESOR GUÍA: RICARDO OLIVARES VÉLIZ
PROFESOR CORREFERENTE: HECTOR CARRASCO ESPINOSA
PROFESOR CORREFERENTE: WALTER GROTE HAHN

AGOSTO – 2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por sobre todo, por ser los pilares de mi existencia y estar siempre ahí, por sus consejos y amor incondicional y ser los guías incondicionales de la vida. Por sus retos y elogios, por sus castigos y premios; por darme la libertad y confianza en elegir y ayudarme a entender el mundo como es. Que sepan que todo lo que hago es gracias a sus esfuerzos por darme apoyo y sustento, la visión de la vida, los valores y compromisos en ellas que son importantes para la convivencia exterior y la paz interior. Que gracias a ellos tengo una formación integral, que siempre estará al servicio del bien común y nunca al interés propio. Por absolutamente todo lo que han dicho y hecho; soy el resultado de lo que mis padres quieren para mí y para el mundo.

A mis hermanos, abuel@s, ti@s y prim@s, por su apoyo y consejos, por todas y cada una las distintas perspectivas de la vida que me han aportado para formar la mía. Por todas las juntas familiares, con las discusiones políticas y de la vida que siempre las acompañan; nunca olvidando el respeto mutuo, siempre con altura de miras, aceptando la diversidad de pensamiento y jamás retirarse enojados al final del día. Por toda la alegría que siempre me llena al pensar en cada uno de ustedes, la unión de la familia que siempre han inculcado y que tengo conocimiento de ello, la alegría de la vida y el amor que siempre reina por sobre todas las cosas.

A la Universidad Técnica Federico Santa María, por darme las herramientas y formación necesarias para la vida profesional. También sus luchas dentro de ésta que me han sacudido y me han hecho reflexionar sobre las problemáticas de la institución, de la región, del país y del mundo, ayudándome a formar una visión propia del mundo que, quizás, no tendría si no hubiese sido parte de ella; afirmando mi posición de no ser solo un actor pasivo de la vida, sino un agente de cambio en pos del bien de la comunidad. En tanto, espero que siempre se recuerde y se cumpla la voluntad de Federico Santa María Carrera dada en su testamento, el cual es y debe ser la base de la institución.

Finalmente, a todas las personas que me ayudaron a realizar este trabajo. Las autoridades que han accedido y permitido realizar las mediciones en sus establecimientos. A los profesores Ricardo Olivares, Walter Grote y Hector Carrasco por sus consejos, palabras y ayuda desinteresada, ya sea para la memoria, para la vida como profesional y para la vida misma. A toda la comunidad de Internet, de profesionales y no profesionales, donde se ha utilizado material disponible en ésta, por lo que se dispone para su uso esta memoria a quien lo desee.

...Dedicado a mis padres, como un resultado de su amor incondicional, trabajo y esfuerzo invertido en mí, y la oportunidad que me han dado de convertirme en un profesional.

A mis abuelos (Q.E.P.D), que siempre me acompañarán y sepan que los tengo presente.

Al profesor Hector Carrasco (Q.E.P.D), por su ejemplo como persona y profesional y acompañarme durante esta aventura…

Medición y Análisis de Densidad de Potencia Radiada Wi-Fi en Lugares del Gran Valparaíso

Enzo Rivera Benois

Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil Electrónico,
Mención en Telecomunicaciones.

Universidad Técnica Federico Santa María

Profesor Guía: Dr. Ricardo Olivares

Agosto 2017

Resumen

Ha habido una creciente preocupación a nivel global sobre la radiación electromagnética y el potencial peligro en la salud de las personas debido a la proliferación de Wi-Fi. Este trabajo, da cuenta sobre mediciones registradas de densidad de potencia radiada asociada a la tecnología Wi-Fi (bandas 2,4 y 5 [GHz]), realizadas en 7 lugares del Gran Valparaíso. El procedimiento de medición y metodología utilizados, se basan en las recomendaciones de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-Ionizantes (ICNIRP), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y la normativa de la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SubTel). Para tal propósito, se adapta un sistema de monitoreo de bajo costo (~USD 700) para realizar las mediciones para su posterior análisis. El número de muestras obtenidas, se encuentran entre 358.400 y 487.536, por lugar. Las gráficas estadísticas despliegan una distribución normal, con promedios generados y valores medios que exhiben una correlación cercana a 1. Del análisis de resultados se concluye que ninguna medición de potencia supera el límite estipulado por la normativa nacional; para zonas urbanas (100 [$\mu W/cm^2$]) y zonas sensibles (10 [$\mu W/cm^2$]), como colegios u hospitales.

Palabras claves: Radiación Electromagnética, Wi-Fi, Densidad de Potencia, Radiación No-Ionizante Electromagnética.

Measurement and Analysis of Radiated Wi-Fi Power Density at Metropolitan Valparaíso (Chile) Locations

Enzo Rivera Benois

Final Project Report towards the fulfillment of Ingeniero Civil Electrónico, Minor in Telecommunications degree (6 year program).

Universidad Técnica Federico Santa María

Advisor: Ricardo Olivares

August 2017

Abstract

There has been a growing global concern about Electromagnetic Radiation (EMR) and potential human health issues due to the proliferation of Wi-Fi. This project reports about the recorded power density radiation associated with Wi-Fi technology (2.4 and 5 [GHz] bands) measured on 7 locations in the Metropolitan Valparaíso, Chile. The measurement procedure and methodology used are based on the recommendations of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), the International Telecommunication Union (ITU) and the Chilean Subsecretary of Telecommunications' (SubTel) regulations. For that purpose, a low-cost (~USD 700) monitoring system is adapted to perform the measurements for further examination. The number of samples acquired range from 358,400 to 487,536 per location. The statistical analysis of the results display a normal distribution, with generated averages and median values that exhibit a correlation close to 1. The analysis also reveals that none of the results exceed the national stipulated maximum level for public spaces (100 [$\mu W/cm^2$]) and for EMR restricted areas such as schools or hospitals (10 [$\mu W/cm^2$]).

Keywords: Electromagnetic Radiation, Wi-Fi, Power Density, Non-Ionizing Electromagnetic Radiation.

ÍNDICE

Resumen ..... **iv**

Abstract ..... **v**

1. INTRODUCCIÓN **1**

1.1. Introducción 1

1.2. Wi-Fi: ¿Wireless Fidelity? 3

1.3. Estándar IEEE 802.11 [11] 5

1.3.1. Arquitectura 802.11 5

1.3.2. Modos de Operación 6

1.3.3. Protocolo 802.11 8

2. TEORÍA Y FUNDAMENTOS **11**

2.1. Introducción 11

2.2. Parámetros Generales de una Antena 11

2.2.1. Intensidad de Radiación 11

2.2.2. Ganancia Directiva 12

2.2.3. Directividad 12

2.2.4. Diagrama de Radiación 13

2.2.5. Eficiencia y Ganancia de Potencia 14

2.2.6. Polarización 14

2.3. Cantidades y Unidades 16

2.4. Propagación de las Ondas de Radio 19

2.5. Modelo de Propagación en el Espacio Libre 20

2.6. Relacionando Potencia con el Campo Eléctrico 22

2.6.1. Campo Cercano y Campo Lejano 24

2.7. Los Tres Básicos Mecanismos de Propagación 27

2.7.1. Reflexión 28

2.7.2. Difracción 30

2.7.3. Dispersión 31

3. ESTADO DEL ARTE 32

3.1. Introducción 32

3.2. Trabajos Relacionados 32

3.2.1. "Radiofrequency Radiation Measurements Public Wi-Fi Installations in Hong Kong", Office of the Communications Authority, December 2014 [19] 32

3.2.2. "Case Study: Measurements of Radios Frequency Exposure from Wi-Fi Devices", Industry Canada, May 2012 [20] 33

3.2.3. "Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in Australian Schools", Ken Karipidis, December 2016 [24] 34

3.2.4. "Improving the Accuracy of Exposure Assessment to Stochastic like Radiofrequency Signals", Paul Bachet, Simona Miclaus and Andrei Bachet, October 2012 [25] 35

3.2.5. "Analysis of Human Exposure due to WiFi Signals based on a Novel Measurement Methodology", Marta Fernández, Ivan Peña, David Guerra and Amaia Arrinda, November 2016 [26] 37

3.3. Conclusiones 38

4. MEDICIÓN DE SEÑAL WI-FI 42

4.1. Introducción 42

4.2. Equipo de Monitoreo 42

4.2.1. Especificaciones y Características del Equipo de Monitoreo 43

4.3. Validación del Equipo de Monitoreo 48

4.4. Metodología y Procedimientos de Medición 57
4.4.1. Normativa Internacional 57
4.4.2. Normativa Nacional 60
4.4.3. Recomendación UIT-T K.83 “Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético” [29] 62
4.5. Ejecución de Mediciones 63
4.5.1. Lugares y Puntos de medición 63
4.5.2. Procesamiento de los datos obtenidos 74
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 76
5.1. Introducción 76
5.2. Resultados 80
5.2.1. Paradero 5 80
5.2.2. Jardín Infantil “Aprendemos Jugando” 87
5.2.3. Jardín Infantil “Snoopy” 90
5.2.4. Hospital “Carlos Van Buren” 97
5.2.5. Clínica “Ciudad del Mar” 104
5.2.6. Centro Comercial “Mall Marina” 111
5.2.7. Edificio “Torre Coraceros” 118
5.3. Análisis de Resultados 125
5.3.1. Paradero 5 125
5.3.2. Jardín Infantil “Aprendemos Jugando” 127
5.3.3. Jardín Infantil “Snoopy” 129
5.3.4. Hospital “Carlos Van Buren” 131
5.3.5. Clínica “Ciudad del Mar” 134

5.3.6. Centro Comercial “Mall Marina” 136

5.3.7. Edificio “Torre Coraceros” 139

6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS 142

6.1. Conclusiones 142

6.2. Sugerencias 146

REFERENCIAS 148

7. ANEXOS 151

Anexo A – Bandas de Frecuencia Wi-Fi 2,4 [GHz] y 5 [GHz] 151

Anexo B – RFExplorerAverageXXXX.m y RFExplorerMaxHoldXXXX.m, siendo XXXX = 2437, 5200, 5250, 5300 o 5775 156

Anexo C – Gráficos restantes de Resultados 192

C.1. Paradero 5 192

C.2. Jardín Infantil “Aprendemos Jugando” 195

C.3. Jardín Infantil “Snoopy” 200

C.4. Hospital “Carlos Van Buren” 203

C.5. Clínica “Ciudad del Mar” 206

C.6. Centro Comercial “Mall Marina” 215

C.7. Edificio “Torre Coraceros” 230

Anexo D – Valores_dBm_XXXX.m, siendo XXXX = 2437, 5200, 5250, 5300 o 5775 239

Anexo E – Histograma_CDF.m 245

Anexo F – CDF_PisoDeRuido_dBm.m 247

Anexo G – CDF_PDF_Reg_Pol.m 248

Anexo H – Graficos restantes de Análisis de Resultados 250

H.1. Paradero 5 250

H.2. Jardín Infantil “Aprendemos Jugando” 251
H.3. Jardín Infantil “Snoopy” 254
H.4. Hospital “Carlos Van Buren” 255
H.5. Clínica “Ciudad del Mar” 256
H.6. Centro Comercial “Mall Marina” 259
H.7. Edificio “Torre Coraceros” 264

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Arquitectura 802.11 6
Figura 1.2: Modo Infraestructura 7
Figura 1.3: Modo Ad-Hoc 7
Figura 1.4: Modelo OSI referencial 9
Figura 2.1: Diagramas de radiación para un dipolo diferencial 13
Figura 2.2: Tipo de polarización según trazado de la variación del vector de campo eléctrico con el tiempo 15
Figura 2.3: Ilustración de un radiador lineal de largo L ($L << \lambda$), conduciendo una corriente de amplitud i_0 y formando un ángulo θ con un punto P a una distancia d 22
Figura 2.4: Densidad de flujo de potencia a una distancia d de la fuente puntual 24
Figura 2.5: Campo eléctrico en el plano de incidencia 29
Figura 2.6: Campo eléctrico normal al plano de incidencia 29
Figura 2.7: Refracción de una onda según el principio de Huygens 30
Figura 2.8: Ejemplo de una dispersión en superficie rugosa 31
Figura 4.1: RF Eplorer 3G Combo y antenas Nagoya NA773 y Whip 2.4 [GHz], respectivamente 43
Figura 4.2: RF Explorer 6G Combo y antenas Nagoya NA773, Rubber Duck 5.8 [GHz] y Whip 2.4 [GHz], correspondientemente 43
Figura 4.3: Interior de cámara anecoica, vista desde la entrada hacia la antena transmisora 51
Figura 4.4: Interior de cámara anecoica, vista desde el lado de la antena transmisora hacia el equipo de monitoreo 51
Figura 4.5: Resultados primera medición de validación 53
Figura 4.6: Resultados segunda medición de validación 55
Figura 4.7: Comparación entre mediciones entre el equipo de monitoreo (S_Exp_1) y antena de referencia (S_Exp_2) 56

Figura 4.8: Mapa de los puntos de medición escogidos 65
Figura 4.9: Foto en el punto de medición, ubicados en el Paradero 5 68
Figura 4.10: Foto en el punto de medición, ubicados en el Jardín Infantil "Aprendemos Jugando" 69
Figura 4.11: Foto en punto de medición, ubicados en el Jardín Infantil "Snoopy" 70
Figura 4.12: Foto en punto de medición, ubicados en el Hospital "Carlos Van Buren" 71
Figura 4.13: Foto en punto de medición, ubicados en la Clínica "Ciudad del Mar" 72
Figura 4.14: Foto en el punto de medición, ubicados en el Centro Comercial "Mall Marina" 73
Figura 4.15: Foto en el lugar de medición, ubicados en el Edificio "Torre Coraceros" 74
Figura 5.1: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 80
Figura 5.2: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 80
Figura 5.3: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows" 81
Figura 5.4: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 81
Figura 5.5: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 82
Figura 5.6: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows" 82
Figura 5.7: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 83
Figura 5.8: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 83
Figura 5.9: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows" 84
Figura 5.10: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio 84
Figura 5.11: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo 85
Figura 5.12: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows" 85

Figura 5.13: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 87
Figura 5.14: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 87
Figura 5.15: Primera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Promedio 88
Figura 5.16: Primera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Máximo 88
Figura 5.17: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 90
Figura 5.18: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 90
Figura 5.19: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows” 91
Figura 5.20: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 91
Figura 5.21: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 92
Figura 5.22: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows” 92
Figura 5.23: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 93
Figura 5.24: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 93
Figura 5.25: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows” 94
Figura 5.26: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio 94
Figura 5.27: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo 95
Figura 5.28: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows” 95
Figura 5.29: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 97
Figura 5.30: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 97
Figura 5.31: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows” 98
Figura 5.32: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 98
Figura 5.33: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 99
Figura 5.34: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows” 99
Figura 5.35: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 100
Figura 5.36: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 100

Figura 5.37: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 101
Figura 5.38: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio..... 101
Figura 5.39: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo..... 102
Figura 5.40: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 102
Figura 5.41: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio..... 104
Figura 5.42: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo..... 104
Figura 5.43: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 105
Figura 5.44: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio..... 105
Figura 5.45: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo..... 106
Figura 5.46: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 106
Figura 5.47: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio..... 107
Figura 5.48: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo..... 107
Figura 5.49: Segunda medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 108
Figura 5.50: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio..... 108
Figura 5.51: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo..... 109
Figura 5.52: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 109
Figura 5.53: Sexta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio..... 111
Figura 5.54: Sexta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo..... 111
Figura 5.55: Sexta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 112
Figura 5.56: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio..... 112
Figura 5.57: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo..... 113
Figura 5.58: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 113

Figura 5.59: Tercera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 114
Figura 5.60: Tercera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 114
Figura 5.61: Tercera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 115
Figura 5.62: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio 115
Figura 5.63: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo 116
Figura 5.64: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 116
Figura 5.65: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 118
Figura 5.66: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 118
Figura 5.67: Quinta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 119
Figura 5.68: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 119
Figura 5.69: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 120
Figura 5.70: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 120
Figura 5.71: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 121
Figura 5.72: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 121
Figura 5.73: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 122
Figura 5.74: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio 122
Figura 5.75: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo 123
Figura 5.76: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows”..... 123
Figura 5.77: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 125
Figura 5.78: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 125
Figura 5.79: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 126

Figura 5.80: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 126
Figura 5.81: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 127
Figura 5.82: Primera medición banda 5.250 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 128
Figura 5.83: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 129
Figura 5.84: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 129
Figura 5.85: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 130
Figura 5.86: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 130
Figura 5.87: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 131
Figura 5.88: Primera medición banda 5200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada. 132
Figura 5.89: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 132
Figura 5.90: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 133
Figura 5.91: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 134
Figura 5.92: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 134
Figura 5.93: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 135
Figura 5.94: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 135

Figura 5.95: Sexta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 136
Figura 5.96: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 137
Figura 5.97: Tercera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 137
Figura 5.98: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 138
Figura 5.99: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 139
Figura 5.100: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 139
Figura 5.101: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 140
Figura 5.102: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 140
Figura 7.1: Canales disponibles Wi-Fi 2,4 [GHz] 151
Figura 7.2: Distribución de los canales en la banda ISM 2,4 [GHz] 152
Figura 7.3: Canales disponibles, y de interés, Wi-Fi 5 [GHz] y su comportamiento límite 153
Figura 7.4: Definiciones de operación de los terminales Wi-Fi en 5 [GHz] ... 154
Figura 7.5: Definiciones del comportamiento límite de los terminales 154
Figura 7.6: Distribución de los canales, y sus características, en la banda 5 [GHz] 155
Figura 7.7: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 192
Figura 7.8: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 192
Figura 7.9: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 193
Figura 7.10: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 193
Figura 7.11: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 194

Figura 7.12: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 194
Figura 7.13: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 195
Figura 7.14: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 195
Figura 7.15: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 196
Figura 7.16: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 196
Figura 7.17: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 197
Figura 7.18: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 197
Figura 7.19: Segunda medición banda 5.250 [MHz]. Función: Promedio 198
Figura 7.20: Segunda medición banda 5.250 [MHz]. Función: Máximo 198
Figura 7.21: Tercera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Promedio 199
Figura 7.22: Tercera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Máximo 199
Figura 7.23: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 200
Figura 7.24: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 200
Figura 7.25: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 201
Figura 7.26: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 201
Figura 7.27: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 202
Figura 7.28: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 202
Figura 7.29: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 203
Figura 7.30: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 203
Figura 7.31: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 204
Figura 7.32: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 204
Figura 7.33: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 205
Figura 7.34: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 205
Figura 7.35: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 206
Figura 7.36: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 206

Figura 7.37: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 207
Figura 7.38: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 207
Figura 7.39: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 208
Figura 7.40: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 208
Figura 7.41: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 209
Figura 7.42: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 209
Figura 7.43: Cuarta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 210
Figura 7.44: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 210
Figura 7.45: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 211
Figura 7.46: Quinta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 211
Figura 7.47: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 212
Figura 7.48: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 212
Figura 7.49: Segunda medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 213
Figura 7.50: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 213
Figura 7.51: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 214
Figura 7.52: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 214
Figura 7.53: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 215
Figura 7.54: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 215
Figura 7.55: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 216
Figura 7.56: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 216
Figura 7.57: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 217
Figura 7.58: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 217

Figura 7.59: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 218
Figura 7.60: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 218
Figura 7.61: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 219
Figura 7.62: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 219
Figura 7.63: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 220
Figura 7.64: Cuarta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 220
Figura 7.65: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 221
Figura 7.66: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 221
Figura 7.67: Quinta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 222
Figura 7.68: Séptima medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 222
Figura 7.69: Séptima medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 223
Figura 7.70: Séptima medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 223
Figura 7.71: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 224
Figura 7.72: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 224
Figura 7.73: Segunda medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 225
Figura 7.74: Tercera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 225
Figura 7.75: Tercera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 226
Figura 7.76: Tercera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 226
Figura 7.77: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 227
Figura 7.78: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 227
Figura 7.79: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 228
Figura 7.80: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 228
Figura 7.81: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 229

Figura 7.82: Segunda medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 229
Figura 7.83: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 230
Figura 7.84: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 230
Figura 7.85: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 231
Figura 7.86: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 231
Figura 7.87: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 232
Figura 7.88: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 232
Figura 7.89: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 233
Figura 7.90: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 233
Figura 7.91: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 234
Figura 7.92: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio 234
Figura 7.93: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo 235
Figura 7.94: Cuarta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 235
Figura 7.95: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio 236
Figura 7.96: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo 236
Figura 7.97: Segunda medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 237
Figura 7.98: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio 237
Figura 7.99: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo 238
Figura 7.100: Segunda medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows" 238
Figura 7.101: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 250
Figura 7.102: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 251

Figura 7.103: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 251
Figura 7.104: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 252
Figura 7.105: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 252
Figura 7.106: Segunda medición banda 5.250 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 253
Figura 7.107: Tercera medición banda 5.250 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 253
Figura 7.108: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 254
Figura 7.109: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 254
Figura 7.110: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 255
Figura 7.111: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 255
Figura 7.112: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 256
Figura 7.113: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 256
Figura 7.114: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 257
Figura 7.115: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 257
Figura 7.116: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 258
Figura 7.117: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 258

Figura 7.118: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 259
Figura 7.119: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 259
Figura 7.120: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 260
Figura 7.121: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 260
Figura 7.122: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 261
Figura 7.123: Séptima medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 261
Figura 7.124: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 262
Figura 7.125: Tercera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 262
Figura 7.126: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 263
Figura 7.127: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 263
Figura 7.128: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 264
Figura 7.129: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 264
Figura 7.130: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 265
Figura 7.131: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 265
Figura 7.132: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 266

Figura 7.133: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada 266

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Resumen de los estándares 802.11 b/a/g/n/ac 10

Tabla 2.1: Cantidades dosimétricas y unidades utilizadas..... 19

Tabla 4.1: Resumen de las especificaciones de cada modelo, correspondientes al equipo RF Explorer 44

Tabla 4.2: Resumen de las especificaciones de las antenas de interés 46

Tabla 4.3: Resumen de las especificaciones del software de interés "RF Explorer for Windows" 47

Tabla 4.4: Resultados y detalles del la primera medición 52

Tabla 4.5: Atenuación del cable Pasternack RG400 en la frecuencia de interés 54

Tabla 4.6: Corrección de acuerdo a la comparación entre antena de referencia y equipo de monitoreo..... 56

Tabla 4.7: Restricciones Básicas, para SAR, para frecuencias entre 10 [MHz] y 10 [GHz]..... 58

Tabla 4.8: Niveles de Referencia, para campos elétricos y magnéticos (valores rms no perturbados), para frecuencias entre 2 [GHz] y 300 [GHz] 59

Tabla 4.9: Valores límite (rms), en Densidad de Potencia, para frecuencias entre 2,2 [GHz] y 300 [GHz] 61

Tabla 4.10: Lugares y Puntos de Medición escogidos 64

Tabla 5.1: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones..... 86

Tabla 5.2: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones..... 89

Tabla 5.3: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones..... 96

Tabla 5.4: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones..... 103

Tabla 5.5: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones..... 110

Tabla 5.6: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones 117
Tabla 5.7: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones 124
Tabla 5.8: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario 127
Tabla 5.9: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario 128
Tabla 5.10: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario 131
Tabla 5.11: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario 133
Tabla 5.12: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario 136
Tabla 5.13: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario 138
Tabla 5.14: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario 141

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La creciente demanda por el acceso a Internet ha creado la necesidad de desplegar redes inalámbricas locales, conocidas como “Wi-Fi”, en distintos lugares para facilitar la conectividad entre y para sus usuarios, como lo son: industrias, oficinas, hogares, plazas, aeropuertos, centros comerciales, centros de asistencia médica, centros educacionales, etcétera. Un ejemplo de ello, es el proyecto “Servicios de Telecomunicaciones para Zonas WIFI”, impulsado por la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SubTel) e inaugurado en Julio de 2014, el cual busca reducir la brecha digital en los lugares más vulnerables de Chile dando acceso gratuito al servicio de Internet a lo largo del país, alcanzando 1.223 “Zonas WiFi ChileGob” en las 15 regiones, para fines del presente año [1]. Además, con la llegada de la tecnología 4G se ha convertido en un gran aumento de usuarios que han adquirido teléfonos inteligentes en Chile; en Diciembre de 2016, se tiene registro de que cerca de 14 millones de usuarios distintos se han conectado a Internet - independientemente del número de veces - en forma dedicada en las redes móviles celulares dentro del periodo [2]. Sin embargo, el elevado costo de los planes de datos ha hecho que los usuarios usen Wi-Fi para conectarse a Internet, además del ahorro que significa, tanto en lugares públicos como privados.

La invasión de esta tecnología y otras, como la de telefonía celular, han levantado la discusión en la sociedad por el nivel de radiación que estos equipos (puntos de acceso y terminales móviles) emiten y, en consecuencia, la exposición de radiación electromagnética (REM) potencialmente dañina para la salud de personas. Según la Agencia Internacional sobre Investigación del Cáncer (IARC) – órgano intergubernamental que forma parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) – en su monografía volumen 102 publicada el 2013, se ha clasificado a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias (RF) como posible carcinógeno para el humano, por lo que se recomienda tomar medidas preventivas [3]. En el presente, el

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) por medio de la SubTel, tiene fijado límites para la radiación de antenas, específicamente en zonas urbanas y zonas sensibles [4], siendo 100 [$\mu W/cm^2$] y 10 [$\mu W/cm^2$], respectivamente [5]. Debido a lo anterior, es que la motivación principal de esta memoria es la de conocer e informar a la comunidad sobre el comportamiento de la radiación electromagnética no-ionizante medida de la tecnología Wi-Fi.

El objetivo general del presente trabajo es determinar el aporte que implica la tecnología Wi-Fi a la densidad de potencia total a la que se registra en un lugar de medición perteneciente al Gran Valparaíso, con el fin de establecer si presenta un potencial peligro para la salud de las personas.

Para hacer esto posible, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Implementar un sistema de medición de bajo costo, portátil y basado en tecnologías existentes.
- Realizar una campaña de mediciones para detectar la densidad de potencia electromagnética radiada por las señales asociadas a la tecnología Wi-Fi, en distintos escenarios en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar.
- Efectuar análisis de los datos medidos.
- Verificar si las mediciones obtenidas están dentro de los límites que rige la normativa nacional.

Actualmente no existe ningún sistema orientado a monitorear la REM emitida por la tecnología Wi-Fi, en espacios públicos y/o privados, utilizando equipamiento de bajo costo con el fin de establecer si están en riesgo la salud de las personas. No obstante, se han visto publicaciones similares, pero con diferencias sustanciales en cuanto al lugar de medición, equipamiento utilizado, el enfoque y la finalidad con la que fue realizada esta. En el Capítulo 2 se ha de ver con mayor detalle.

Finalmente, como resultado, se espera tener un sistema de monitoreo de bajo costo que contempla tanto el procedimiento como la metodología correspondiente a lo estipulado por las autoridades, para realizar mediciones de la tecnología Wi-Fi y presentar como resultado el comportamiento y contribución a la densidad de potencia electromagnética total medida en los distintos lugares y horarios en el Gran Valparaíso, con la finalidad de establecer si existe un potencial daño a la salud de las personas según los límites fijados por la normativa nacional.

1.2. Wi-Fi: ¿Wireless Fidelity?

Para empezar, se hace necesario aclarar el gran malentendido que ha existido durante más de 15 años acerca del término "Wi-Fi". Se ha leído y escuchado, tanto en la literatura como en conferencias, reuniones, etc., incluso acuñado por los más altos directivos, profesionales y autoridades internacionales y, peor aún, **la misma Wi-Fi Alliance ha incurrido en esta falta** (en 2 comunicados de prensa: [6] y [7]), que el término "Wi-Fi" es un acrónimo utilizado para "Wireless Fidelity". Es por esto que, para esclarecer esta idea equivocada que ha surgido por este término, se ahonda en las siguientes preguntas: ¿Qué es Wi-Fi? ¿Cómo y dónde aparece por primera vez? ¿Por qué su asociación con "Wireless Fidelity"? y lo más importante, ¿qué significa Wi-Fi? Con tal de, finalmente, encontrarles una respuesta definitiva.

En 1999, 6 empresas: 3Com, Aironet, Intersil, Lucent Technologies, Nokia y Symbol Technologies se unen para crear la Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) [8] – actualmente Wi-Fi Alliance (desde 2002 [9]) y con cientos de empresas miembros – con el objetivo de designar una marca que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica y asegurar la compatibilidad (y certificación) de equipos bajo la norma 802.11 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).

Debido a que el nombre "IEEE802.11b Direct Sequence" es largo y difícil de pronunciar, una de las primeras tareas de WECA fue la de desarrollar un nombre más amigable y memorable para el estándar inalámbrico. Por lo que contratan a la

compañía Interbrand – compañía responsable de nombres como Prozac, Celebrex, Compaq, la Mitsubishi Eclipse, la Nissan Xterra – para que brinde una lista de posibles nombres para ser usados en lugar del actual.

Una lista de nombres fue presentada a los miembros de WECA, y, a pesar de quedar en segundo lugar en cuanto a la puntuación, el nombre "Wi-Fi" con el logo del yin-yang permite su definitiva elección; los directivos se deciden por este nombre finalmente. El nombre surge de una suerte de juego de palabras, ya que en aquel tiempo estaba en el conocido general de la gente que "Hi-Fi" era el nombre corto para "High Fidelity" - norma de calidad que significa que la reproducción del sonido o imágenes es muy fiel al original - por lo que su patrón es recordable y, además, rima con él. Luego, por discrepancias entre los directivos acerca del uso del nombre elegido porque, al parecer una abreviación, ésta no tiene explicación literal alguna, se decide adherir el eslogan "The Standard for Wireless Fidelity". Una de las motivaciones es que la gente sienta como que iba a transferir audio y video por su casa (alusión a Hi-Fi); con la ayuda de "Wi" y "Fi", "Wireless Fidelity" quizás se puede ayudar al objetivo. Finalmente, a fines del año 2000, al ir siendo cada vez más exitosos, consiguiendo personas de marketing y negocios de grandes compañías en la junta directiva, retiraron el eslogan; solo creó confusión en las personas y ayudó a diluir la marca. La popularidad de la marca Wi-Fi quedó, pero también lo hizo el error de la noción que era la abreviación para "Wireless Fidelity" [10].

Para concluir, Wi-Fi es una marca, perteneciente al Wi-Fi Alliance, utilizada para certificar dispositivos que compatibilizan con los estándares 802.11x del IEEE. Su nombre no tiene ningún significado; aparece gracias a la compañía Interbrand, contratada por WECA (antigua Wi-Fi Alliance), para utilizarlo en vez del nuevo estándar "IEEE 802.11b Direct Sequence" y así, poder dar facilidad a las personas para ser conocida la marca. Luego, en un intento de darle significado literal o alguna asociación con respecto a lo que la tecnología pueda brindarle al cliente, WECA decide agregar el slogan "The Standard for Wireless Fidelity", debido a su juego de "Wi" y "Fi" con "Wireless Fidelity" y lo que "Hi-Fi" significaba para los clientes en

esos años. Pero al ver el éxito que se logra con la difusión de “Wi-Fi”, deciden retirar el slogan, teniendo en cuenta la confusión que ha creado en la gente. Finalmente, a modo de recordatorio, “Wi-Fi” siempre lleva el guión, junto con las letras “w” y “f” en mayúsculas.

1.3. Estándar IEEE 802.11 [11]

El IEEE ha definido su estándar 802.11 para implementar y administrar redes de telecomunicaciones IEEE 802.11 a, b, g, n y ac [12] y, a continuación, para facilitar la comprensión de qué compone dicho estándar y otros detalles, se describen brevemente estos.

El presente protocolo es una tecnología de acceso a la red para proveer conectividad entre estaciones inalámbricas e infraestructuras de redes cableadas. En esta y otras tecnologías asociadas, se permite a un usuario móvil desplazarse por distintos lugares con sus terminales móviles y que se mantenga el acceso a la red de datos. Además, es posible facilitar el acceso por medio de redes inalámbricas públicas de “hot spots”, estos se encuentran frecuentemente en centros comerciales, aeropuertos, bares, y otros lugares comunes en la ciudad, donde estos pueden ser configurados para dar este servicio.

1.3.1. Arquitectura 802.11

La arquitectura que presenta el estándar 802.11 se compone principalmente por los siguientes elementos:

- Estación (STA): Computadora personal o dispositivo con interfaz de red (i.e. tabletas, teléfonos inteligentes).

- Punto de Acceso Inalámbrico (AP): Puente entre el STA y la conexión troncal principal de Internet, para el acceso a la red.

- Conjunto de Servicio Básico Independiente (IBSS): Conexión inalámbrica entre al menos 2 STAs. Conocido también como Ad-Hoc.

- Conjunto de Servicio Básico (BSS): Conexión inalámbrica que consiste en un solo AP compatible con uno o varios STAs. Conocido también como Infraestructura.

- Sistema de Distribución (DS): Componente utilizado para interconectar BSSs por medio de dos APs (conexión Ethernet entre estos, un AP de su respectivo BSS).

- Conjunto de Servicio Extendido (ESS): Unión entre varios BSSs; dos o más APs inalámbricos conectados a la misma red cableada que define una red local limitado por un "router".

La Figura 1.1 ilustra, de forma explícita, la arquitectura 802.11:

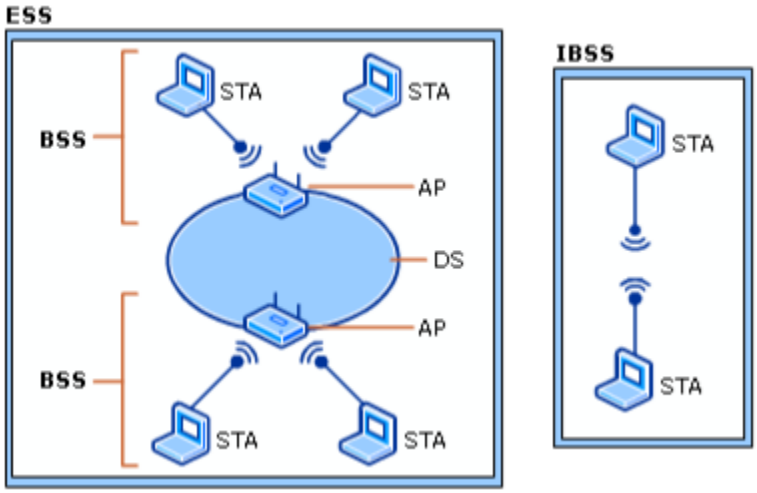


Figura 1.1: Arquitectura 802.11

Como se observa en la Figura 1.1, es posible identificar cada uno de los componentes anteriormente mencionados y descritos.

1.3.2. Modos de Operación

El estándar define los siguientes modos de operación:

- Modo Infraestructura
- Modo Ad-Hoc

En ambos modos, el Identificador de Conjunto de Servicios (SSID), conocido como "nombre de la red inalámbrica", identifica la red inalámbrica. En el Modo

Infraestructura por un lado, el SSID es un nombre configurado en el AP inalámbrico. En el Modo Ad-Hoc por otro lado, el SSID es configurado en el cliente inalámbrico que inició la red. El SSID es periódicamente anunciado por el AP o por el cliente inalámbrico, según sea el caso, por medio de una trama de administración 802.11 MAC llamada “beacon frame”.

En la Figura 1.2 y Figura 1.3 se muestra el Modo Infraestructura y el Modo Ad-Hoc, correspondientemente:

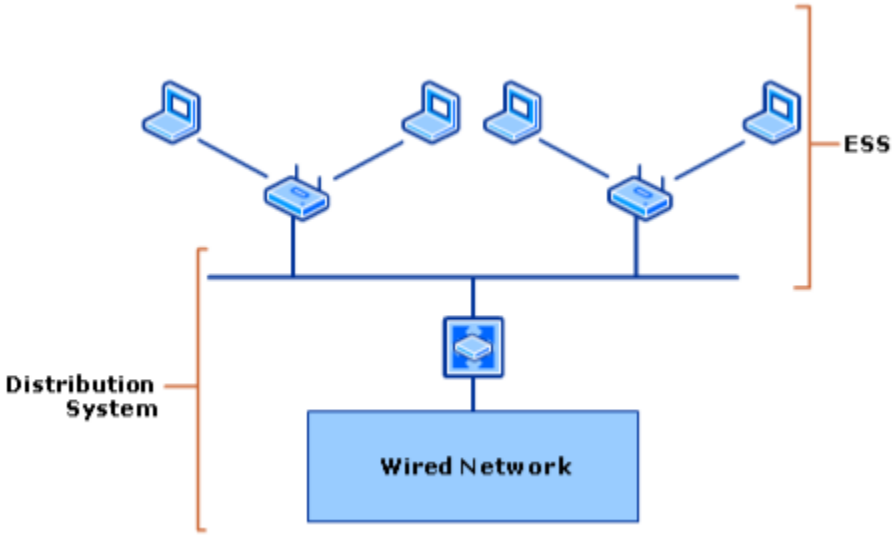


Figura 1.2: Modo Infraestructura

En este modo hay al menos un AP inalámbrico y un cliente inalámbrico. El cliente inalámbrico utiliza el AP inalámbrico para acceder a los recursos de una red cableada tradicional. Esa red puede ser la intranet de la organización o la Internet, dependiendo dónde se ubica el AP.



Figura 1.3: Modo Ad-Hoc

En este modo los clientes inalámbricos se comunican directamente entre ellos sin la necesidad de usar un AP inalámbrico. Este modo también es conocido como “peer-to-peer mode” (P2P).

Uno de los clientes inalámbricos, el primero en el IBSS, toma consigo alguna de las responsabilidades que tiene un AP. Estas incluyen el periódico proceso de divulgación del SSID y la autenticación de nuevos miembros a la red. El cliente inalámbrico no actúa como puente para retransmitir información entre los otros miembros. Los clientes deben explícitamente configurarse para usar este modo y, por último, existe un límite de hasta nueve miembros que pueden compartir este modo.

1.3.3. Protocolo 802.11

Se define en el estándar inalámbrico especificaciones para la Capa Física y parte de la Capa de Enlace. Se habla de parte de la Capa de Enlace porque dentro de ésta existen dos sub-capas que se comunican entre sí: Control Lógico del Enlace (LLC) y Control de Acceso al Medio (MAC). Por tanto, de la Capa de Enlace, el estándar tiene especificaciones solamente para la sub-capa de Control de Acceso al Medio.

Tanto la Capa Física y la Capa de Enlace como también otras capas, pertenecen al modelo de interconexión de sistemas abierto (OSI), más conocido como “modelo OSI”. Esta normativa formada por siete capas, definen las diferentes fases por las que deben pasar los datos para viajar de un dispositivo a otro sobre una red de comunicaciones. En la Figura 1.4 se presenta el modelo referencial OSI y, además, muestra dónde se enfoca este estándar.

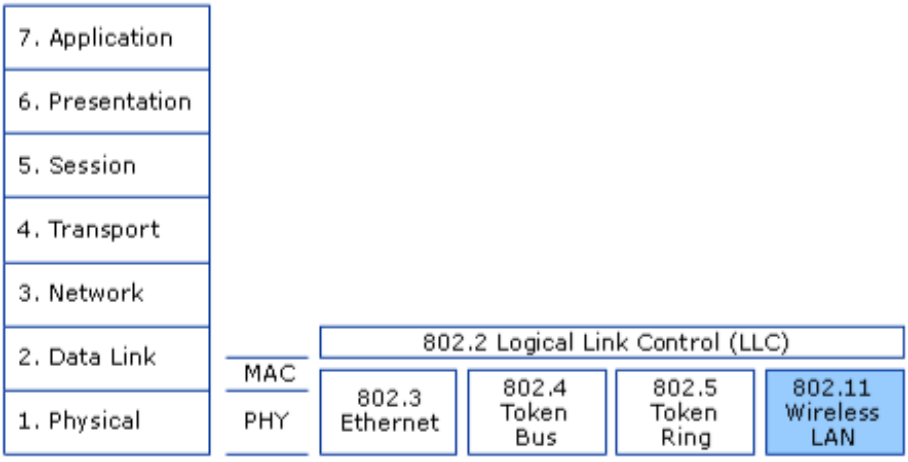


Figura 1.4: Modelo OSI referencial

Se aprecia, indicado en el cuadro pintado azul, que el estándar trabaja en la Capa Física ("PHY" en la Figura 1.4) y la sub-capa MAC de la Capa de Enlace. En estos recaen todos los componentes en la arquitectura 802.11. De forma resumida, el estándar define especificaciones para la implementación de una Red de Área Local Inalámbrica (WLAN):

- Capa Física: Encargada de la topología de red y de las conexiones globales de la computadora hacia la red, se refiere tanto al medio físico como a la forma en la que se transmite la información. El IEEE 802.11 define una serie de esquemas de codificación y transmisión para comunicaciones inalámbricas, las más comunes son: Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS) y Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM).

  La Tabla 1.1 resume los estándares que son de nuestro interés, los cuales existen en esta capa. Además, se dispone de información relevante sobre estas:

Tabla 1.1: Resumen de los estándares 802.11 b/a/g/n/ac

Nombre Estándar	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac
Fecha de Estandarización	Diciembre 1999	Enero 2000	Junio 2003	Junio 2009	Diciembre 2013
Máximo Ancho de Banda	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	6,93 Gbps
Técnica de Modulación	DSSS/CCK	OFDM	DSSS/CCK, OFDM+	DSSS/CCK, OFDM+	OFDM+, OFDM++
Banda RF	2,4 [GHz]	5 [GHz]	2,4 [GHz]	2,4 o 5 [GHz]	5 [GHz]
Ancho de Banda de Canal	22 [MHz]	20 [MHz]	20 [MHz]	20 o 40 [MHz]	20, 40, 80 o 160 [MHz]

De la tabla, el Máximo Ancho de Banda se refiere a la velocidad de conexión máxima que es posible alcanzar, según configuraciones de parámetros propios de transmisión. La Técnica de Modulación es un método que se utiliza para codificar información digital en un entorno analógico. De estos hay varios, pero a medida que la tecnología avanza, los métodos van mejorando. La Banda RF indica la/s banda/s dónde trabaja el estándar respectivo. Finalmente, el Ancho de Banda de Canal es la configuración del espectro utilizado en cada canal, para transmitir información.

- Sub-Capa de Enlace (MAC): IEEE 802.11 define una serie de funciones para permitir el direccionamiento y mecanismos de control de acceso de canal que hacen posible que varios terminales o nodos de red se comuniquen dentro de una red de acceso múltiple que incorpora un medio compartido, por ejemplo: una red Ethernet o Wi-Fi. Para este caso, el protocolo común utilizado es el Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Prevención de Colisiones (CSMA/CA), el cual permite evadir la colisión entre dos nodos que quieren transmitir, censando la señal inalámbrica para saber si otro nodo está transmitiendo en ese momento.

2. TEORÍA Y FUNDAMENTOS

2.1. Introducción

En esta sección se describe, en parámetros generales y básicos, la teoría y fundamentos que se corresponden con el interés del presente trabajo.

Por un lado, se describen parámetros de las antenas que inciden directamente en la radiación de señales emitidas y recibidas y otros temas relevantes a estos [13] [14] [15] [16], además, un resumen de las cantidades y unidades a medir [17], el cual es el interés central del presente trabajo; a modo de facilitar la comprensión tanto de este capítulo como en la continuidad de los próximos.

Por otro lado, desde el punto de vista de la propagación de señales, se revisan conceptos propios de la literatura [18], donde se hace un acercamiento sobre la propagación de ondas de radio, el modelo de propagación en espacio libre, la relación de la potencia con el campo eléctrico y los mecanismos básicos de propagación. De esta manera, se espera que el lector pueda tener una noción propia de los parámetros y las distintas variables a considerar, al momento de conocer, medir y/o describir el comportamiento de las señales propagadas en el medio.

2.2. Parámetros Generales de una Antena

Los parámetros que permiten predecir las características eléctricas y el comportamiento de las antenas, como radiador o receptor de ondas electromagnéticas (OEM), son presentadas a continuación. No obstante, primero ha de definirse la intensidad de radiación para luego continuar con los parámetros de interés.

2.2.1. Intensidad de Radiación

La intensidad de radiación asociada a los campos radiados por una antena que opera como transmisora, se define en la ecuación (2.1):

$$U(\theta,\phi) \equiv R^2 \left\| \vec{P}_{av}(R,\theta,\phi) \right\| = \left\| \vec{P}_{av}(1,\theta,\phi) \right\| \left[\frac{W}{srad} \right] \tag{2.1}$$

donde $P_{av}(1,\theta,\Phi)$ es el vector de densidad de potencia, en campo lejano, evaluado en R = 1 [m] (aun cuando para R = 1 no sea válida la condición de campo lejano), θ es el ángulo de elevación y Φ es el ángulo de acimut. En esta definición se considera la distribución angular de la densidad de potencia sin considerar el efecto de la distancia, dado que $\|P_{av}\|$ puede interpretarse como la potencia que escapa por un parche de área s = 1 [m^2] sobre una esfera de radio R. El estereorradián (srad) es una medida de ángulo sólido, que puede interpretarse como la extensión tridimensional de la noción de ángulo.

2.2.2. Ganancia Directiva

La ganancia directiva mide la capacidad de una antena para dirigir la potencia irradiada en una dirección determinada. La ecuación (2.2) explica la función:

$$G_D(\theta,\phi) \equiv \frac{\|\vec{P}_{av}(R,\theta,\phi)\|}{\frac{P_r}{4\pi R^2}} = \frac{U(\theta,\phi)}{\frac{P_r}{4\pi}} \ [\text{dBi}] \tag{2.2}$$

donde P_r [W] es la potencia total irradiada por la antena. Notar además que, la ecuación (2.3):

$$P_{av}^{iso} \equiv \frac{P_r}{4\pi R^2} \ [\text{W}] \tag{2.3}$$

corresponde a la densidad de potencia que se obtiene a la distancia R si con un radiador isotrópico (o antena isotrópica) se irradia la misma potencia total P_r. Observar también que dicha potencia puede expresarse como en la ecuación (2.4):

$$P_r = \int_{S_R} \vec{P}_{av}(R,\theta,\phi)ds = \int_{4\pi} U(\theta,\phi)d\Omega \ [\text{W}] \tag{2.4}$$

donde S_R denota la esfera de radio R y $d\Omega = \text{sen}(\theta)d\theta d\Phi$ es el ángulo sólido.

2.2.3. Directividad

La directividad es la razón por la cual, cuando es posible, una antena transmisora suele orientarse de manera que la antena receptora se sitúe en la dirección de máxima ganancia directiva de la primera. Así, la antena Rx intercepta el flujo de potencia más

denso posible, lo que se traduce en una mayor potencia recibida. Por esta razón, máxima ganancia directiva se le conoce como directividad, y se describe en la ecuación (2.5):

$$D \equiv \max_{\theta,\phi} G_D(\theta,\phi)\ [dB] \tag{2.5}$$

2.2.4. Diagrama de Radiación

El diagrama de radiación es una gráfica de la intensidad de campo lejano U, en función de la dirección (θ,Φ), para una distancia fija de la antena. Éste consiste, generalmente, en dos gráficas polares:

- Diagrama en el plano E: U(θ), Φ = constante
- Diagrama en el plano H: U(Φ), θ = π/2

En la Figura 2.1 se muestran los diagramas de radiación para un dipolo diferencial como ejemplo:

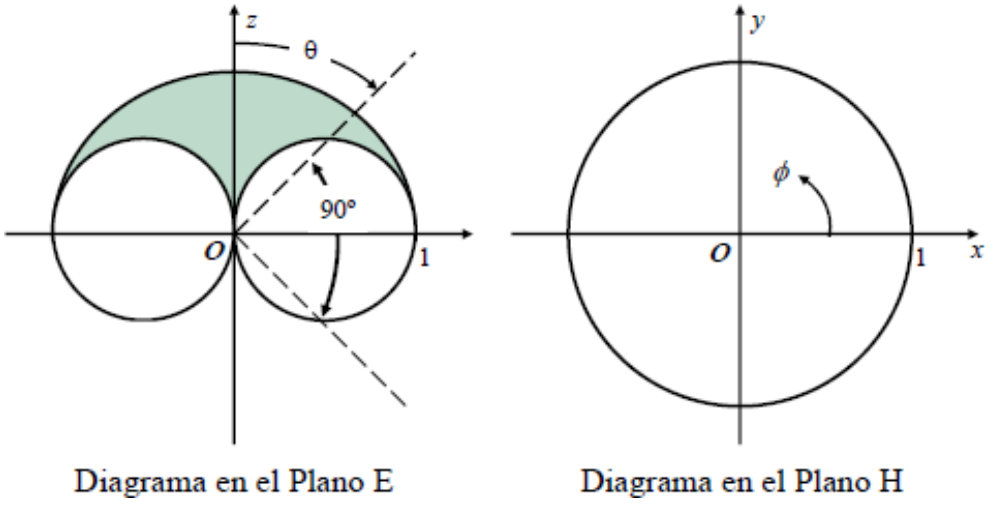


Figura 2.1: Diagramas de radiación para un dipolo diferencial

De la Figura 2.1, en el diagrama en el Plano E, se ha dado un efecto tridimensional, delineando el contorno del sólido de revolución que describe a la ganancia directiva en este caso.

2.2.5. Eficiencia y Ganancia de Potencia

En esta materia, la potencia radiada por una antena real, P_r, es siempre menor que la potencia (eléctrica) introducida a sus bornes (o potencia de entrada) P_{in}, debido a las pérdidas inherentes a todo sistema práctico (pérdidas óhmicas). Para caracterizar este factor de desempeño, se define la eficiencia de una antena al transmitir como en la ecuación (2.6):

$$\zeta \equiv \frac{P_r}{P_{in}} \tag{2.6}$$

Se define la ganancia de potencia de una antena como la capacidad de concentrar potencia en una dirección (directividad) y la eficiencia al convertir la potencia inyectada en potencia radiada. Para ello, la ecuación (2.7) muestra lo descrito:

$$G_P \equiv \zeta D \ [\text{dBi}] \tag{2.7}$$

2.2.6. Polarización

La polarización describe el comportamiento variable con el tiempo del vector de intensidad de campo eléctrico en un punto determinado del espacio. No se requiere una descripción aparte del comportamiento del campo magnético, ya que la dirección de éste es siempre perpendicular al campo eléctrico, y a la vez, estos dos perpendiculares a la dirección de propagación. En un punto determinado la onda del campo eléctrico puede tener dos componentes vectoriales perpendiculares (transversales) a la dirección de propagación. Estas varían su amplitud con el tiempo, y la suma de ambas va trazando una figura geométrica. Si dicha figura es una recta, la polarización se denomina lineal; si es un círculo, la polarización es circular, y si es una elipse, la polarización es elíptica. La Figura 2.2 describe la variación del vector de campo eléctrico (azul) con el tiempo (eje vertical), con sus componentes X e Y (roja-izquierda y verde-derecha, respectivamente), y la trayectoria trazada por la punta del vector en el plano (púrpura):

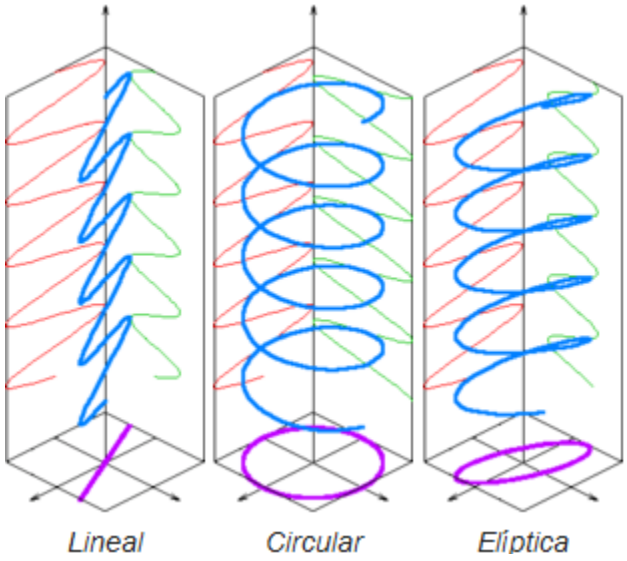


Figura 2.2: Tipo de polarización según trazado de la variación del vector de campo eléctrico con el tiempo

De acuerdo a la Figura 2.2:

- Polarización Lineal: La oscilación del plano perpendicular a la dirección de propagación se produce a lo largo de una línea recta. Se puede representar cada oscilación descomponiéndola en dos ejes: X e Y. Esta polarización se produce cuando ambas componentes están en fase (con un ángulo de desfase nulo, cuando ambas componentes alcanzan sus máximos y mínimos simultáneamente) o en contrafase (con un ángulo de desfase de 180°, cuando cada una de las componentes alcanza sus máximos a la vez que la otra alcanza sus mínimos). La relación entre las amplitudes de ambas componentes determina la dirección de la oscilación (horizontal, vertical, +45°, -45°), que es la dirección de la polarización lineal.
- Polarización Circular: Las dos componentes ortogonales tienen la misma amplitud y están desfasadas en 90°. En este caso, una componente se anula cuando la otra alcanza su máxima o mínima amplitud. Existen dos relaciones posibles que satisfacen esta exigencia, de forma que la componente X puede estar 90° adelantada o retrasada respecto a la

componente Y. El sentido en el que gira el campo eléctrico (horario/derecha/dextrógiro o anti-horario/izquierda/levógiro, correspondientemente) depende de cuál de estas dos relaciones se dé.

- Polarización Elíptica: Este tipo de polarización corresponde a cualquier otro caso diferente a los anteriores, es decir, las dos componentes tienen distintas amplitudes y el ángulo de desfase entre ellas es diferente a 0° y 180° (no están en fase ni en contrafase).

La polarización es un factor importante cuando se busca alinear antenas, en caso de no verificar o analizar la polarización de antenas, se puede obtener una señal muy pequeña, incluso en el mejor de los escenarios y con la mejor de las antenas. A este fenómeno se le conoce como desadaptación de polarización. De otra forma, la polarización puede ser utilizada de manera inteligente para mantener enlaces inalámbricos independientes, sin interferencias, incluso al usar los mismos extremos, y por ende, la misma trayectoria. Esto es posible polarizando un enlace vertical y otro horizontal, de tal manera que no lograrían "verse" entre sí. Para hacer uso de éste tipo de aplicaciones, es necesario que las antenas sean construidas cuidadosamente con el fin de rechazar la polarización "no deseada", es decir, una antena destinada a polarización vertical no debe recibir o transmitir ninguna señal en polarización horizontal, en otras palabras, se debe rechazar la "polarización cruzada"

2.3. Cantidades y Unidades

Mientras que los campos eléctricos están asociados solamente con la presencia de la carga eléctrica, lo campos magnéticos son el resultado del movimiento físico de las cargas eléctricas (corriente eléctrica). Un campo eléctrico E ejerce fuerzas sobre una carga eléctrica y se expresa en [V/m]. Similarmente los campos magnéticos pueden ejercer fuerzas en las cargas eléctricas; pero solamente cuando las cargas están en movimiento y se expresa en [A/m]. Los campos eléctricos y magnéticos tienen magnitud y dirección (son vectores): un campo magnético puede ser especificado en dos formas: como densidad de flujo magnético B, expresado en [T], o como intensidad

de campo magnético H, expresado en [A/m], las dos cantidades están relacionadas según la ecuación (2.8):

$$\vec{B} = \mu\vec{H}\ [T] \tag{2.8}$$

donde μ es la Permeabilidad Magnética del Medio, equivalente a $4\pi 10^{-7}$ [H/m]. Por lo tanto, cuando se describa un campo magnético para protección, debería especificarse solamente una de las cantidades: B o H.

En la región de campo lejano, el modelo de onda plana es una buena aproximación de la propagación del campo electromagnético. Las características de una onda plana son:

- Los frentes de onda tienen una geometría plana.
- Los vectores E y H y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares.
- La fase de los campos E y H son las mismas, y el cociente de las amplitudes E/H es constante a través del espacio. En espacio libre, la relación E/H = $120\pi \approx 377$ [Ω], que es la impedancia característica del espacio libre: η.
- La magnitud de la densidad de potencia, S, es decir, la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, está relacionada a los campos eléctricos y magnéticos por la expresión de la ecuación (2.9):

$$|S| = |E||H| = \frac{|E|^2}{377} = 377|H|^2 \left[\frac{W}{m^2}\right] \tag{2.9}$$

La situación en el campo cercano es más complicada, ya que los máximos y mínimos de los campos E y H no ocurren en los mismos puntos a lo largo de la dirección de propagación tal como es en la región de campo lejano. En la región de campo cercano, la estructura del campo electromagnético puede ser altamente no homogénea y hay variaciones substanciales de la impedancia de onda plana de 377 [Ω], es decir, pueden haber campos eléctricos puros en algunas regiones y campos magnéticos puros en otras. Las exposiciones en el campo cercano son más difíciles de

especificar, porque se deben medir separadamente el campo eléctrico y el campo magnético y porque los patrones de los campos son mucho más complicados; en esta situación, la densidad de potencia ya no es una cantidad apropiada para expresar las restricciones a la exposición (como en el campo lejano).

La exposición a campos electromagnéticos (CEM) variables en el tiempo resulta en corrientes internas dentro del cuerpo y absorción de energía en los tejidos que dependen de los mecanismos de acoplamiento y de la frecuencia involucrada. El campo eléctrico interno y la densidad de corriente están relacionados por la Ley de Ohm – reformulada por Gustav Kirchhoff – en la ecuación (2.10):

$$\vec{J} = \sigma\vec{E} \ [A/m^2] \qquad (2.10)$$

donde σ es la Conductividad Eléctrica del Medio, en [1/Ωm] o [S/m] (S: Siemens, equivalente a 1/Ω).

Las cantidades dosimétricas de interés, tomando en cuenta los diferentes rangos de frecuencia y ondas, son las que siguen:

- Tasa específica de absorción de energía, SAR, en el rango de frecuencia de 100 [KHz] - 10 [GHz].
- Absorción de energía específica, SA, para campos pulsantes en el rango de frecuencia de 300 [MHz] – 10 [GHz].
- Densidad de potencia, S, en el rango de frecuencia de 10 – 300 [GHz].

Un resumen general de los CEM, con las cantidades dosimétricas y unidades usadas, es proporcionado por la Tabla 2.1:

Tabla 2.1: Cantidades dosimétricas y unidades utilizadas

Cantidad	Símbolo	Unidades
Conductividad	σ	S/m
Corriente	I	A
Densidad de corriente	J	A/m^2
Frecuencia	f	Hz
Campo eléctrico	E	V/m
Campo magnético	H	A/m
Densidad de flujo magnético	B	T
Permeabilidad magnética	μ	H/m
Permitividad eléctrica	ε	F/m
Densidad de potencia	S	W/m^2
Absorción específica de energía	SA	J/Kg
Tasa de absorción específica de energía	SAR	W/K

2.4. Propagación de las Ondas de Radio

El canal radioeléctrico móvil fija limitaciones fundamentales en el desempeño de los sistemas de comunicación inalámbrica. La vía de transmisión entre el transmisor y el receptor puede variar desde una simple línea de vista (ninguna obstrucción de por medio, en inglés: Line of Sight o LOS) hasta una obstruida severamente por edificios, montañas y vegetación. A diferencia de los canales alámbricos, que son estacionarios y predictivos, los canales radioeléctricos son extremadamente aleatorios y no brindan un fácil análisis. Incluso la velocidad del movimiento afecta en cuán rápido el nivel de la señal se desvanece, cuando un terminal móvil se mueve en el espacio. Modelar el canal radioeléctrico ha sido históricamente una de las partes más difíciles en el diseño de los sistemas radioeléctricos y, típicamente, se hace de una manera estadística, basada en mediciones realizadas específicamente para un sistema de comunicación o asignación del espectro.

Los mecanismos detrás de la propagación de OEM son diversos, pero generalmente se le puede atribuir a la reflexión, difracción y dispersión. La mayoría de los sistemas de radio celular operan en áreas urbanas donde no hay LOS entre el transmisor y el receptor, y donde la presencia de edificios de gran altura puede causar severas pérdidas por difracción. Debido a múltiples reflexiones causadas por varios objetos, las OEM viajan a lo largo de diferentes trayectorias de longitudes variables.

La interacción entre estas ondas causa desvanecimientos por multitrayecto en una ubicación específica, y la intensidad de estas ondas decrece a medida que la distancia entre el transmisor y el receptor aumenta.

2.5. Modelo de Propagación en el Espacio Libre

Este modelo es utilizado para predecir la intensidad de señal recibida, cuando el transmisor y el receptor tienen LOS entre ellos. Los sistemas de comunicación satelitales y enlaces de microondas con LOS, típicamente experimentan la propagación en el espacio libre. Como ocurre con la mayoría de los modelos de propagación de ondas de radio a gran escala, el modelo de espacio libre predice que la potencia recibida decae en función de la distancia de separación entre transmisor y receptor, elevada a cierta potencia (i.e. una función de ley de potencias). La potencia en espacio libre, recibida por una antena receptora (Rx) que está alejada de una antena transmisora (Tx) por una distancia *d*, está dada por la ecuación (2.11) de espacio libre de Friis:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} [W] \tag{2.11}$$

donde P_t es la potencia transmitida, P_r (d) es la potencia recibida en función de la separación entre Tx y Rx, G_t es la ganancia del Tx, G_r es la ganancia del Rx, d es la distancia de separación entre Tx y Rx, en [m], L es el factor de pérdida del sistema no relacionadas a la propagación ($L \geq 1$), y λ es la longitud de onda en [m]. Esta ecuación muestra que la potencia recibida decae con el cuadrado de la distancia de separación entre Tx y Rx. Y, la ganancia de una antena está relacionada con su área efectiva, A_e, por la ecuación 2.12:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \tag{2.12}$$

El área efectiva A_e está relacionada con el tamaño físico de la antena, y λ con la frecuencia portadora, por la ecuación (2.13):

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2\pi c}{\omega_c} \text{ [m]} \tag{2.13}$$

donde f es la frecuencia portadora en [Hz], ω_c es la frecuencia portadora en [rad/s], y c es la velocidad de la luz dado en [m/s]. Los valores de P_t y P_r deben ser expresados en las mismas unidades, y G_t y G_r son cantidades adimensionales. Las diversas pérdidas L ($L \geq 1$) son usualmente concedidas por la atenuación en la línea de transmisión, pérdidas en los filtros y en la antena, en un sistema de comunicación. Un valor de L = 1 indica que no existen pérdidas en el hardware del sistema.

Un radiador isotrópico es una antena ideal que irradia potencia con ganancia unitaria uniformemente en todas direcciones, y es frecuentemente utilizado para referenciar ganancias de antenas en los sistemas inalámbricos. La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE, o en inglés, EIRP: Effective Isotropic Radiated Power) es definida por la ecuación (2.14):

$$\text{PIRE} = P_t G_t \tag{2.14}$$

y representa la máxima potencia radiada disponible de un transmisor en la dirección de máxima ganancia de antena, en comparación con un radiador isotrópico.

En la práctica, la potencia radiada aparente (PRA, o en inglés, ERP: Effective Radiated Power) es empleada, en vez de PIRE, para denotar la máxima potencia radiada en comparación con una antena dipolo de media onda (en vez de una antena isotrópica). En la práctica, la ganancia de antena se da en unidades de [dBi] (ganancia en [dB] con respecto a una fuente isotrópica) o [dBd] (ganancia en [dB] con respecto a un dipolo de media onda).

La pérdida del trayecto (PL: Path Loss), que representa la atenuación de la señal como una cantidad positiva en [dB], se define como la diferencia entre la potencia transmitida efectiva y la potencia recibida, y puede o puede que no incluya el efecto de la ganancia de las antenas. La pérdida del trayecto para el modelo en el espacio libre, cuando la ganancia de las antenas es incluida, está dada por la ecuación (2.15):

$$PL[dB] = 10\log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10\log\left(\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right) \quad (2.15)$$

Cuando la ganancia de las antenas es excluida, las antenas se asumen con ganancia unitaria, y la pérdida del trayecto es dada por la ecuación (2.16):

$$PL[dB] = 10\log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10\log\left(\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right) \quad (2.16)$$

2.6. Relacionando Potencia con el Campo Eléctrico

El modelo de pérdida de trayecto de espacio libre descrito en el capítulo 2.2.1 se deriva fácilmente de los primeros principios. Considere un pequeño radiador lineal de largo L, el cual es ubicado coincidentemente con el eje z y que tiene su centro en el origen, como es mostrado en la Figura 2.3:

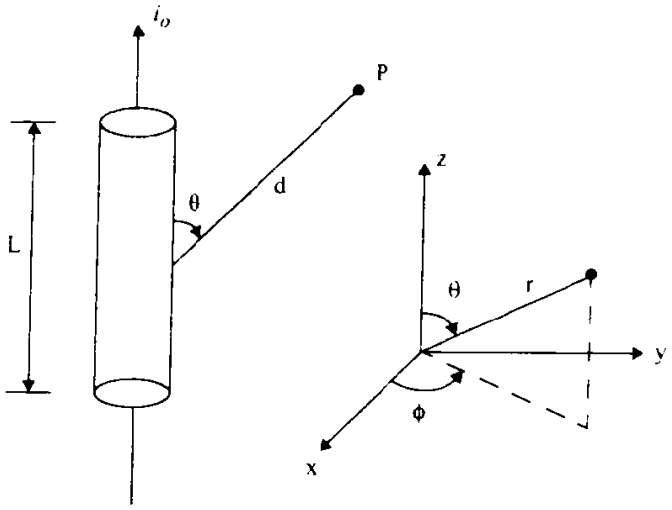


Figura 2.3: Ilustración de un radiador lineal de largo L (L << λ), conduciendo una corriente de amplitud i_0 y formando un ángulo θ con un punto P a una distancia d

Si la corriente fluye a través de dicha antena, ésta forma campos eléctricos y magnéticos que pueden ser expresados por las ecuaciones (2.17), (2.18) y (2.19):

$$E_r = \frac{i_0 L\cos(\theta)}{2\pi\varepsilon_0 c}\left\{\frac{1}{d^2} + \frac{c}{j\omega_c d^3}\right\} e^{j\omega_c\left(t-\frac{d}{c}\right)} \quad (2.17)$$

$$E_\theta = \frac{i_0 L \operatorname{sen}(\theta)}{4\pi\varepsilon_0 c^2}\left\{\frac{j\omega_c}{d} + \frac{c}{d^2} + \frac{c^2}{j\omega_c d^3}\right\} e^{-j\omega_c\left(t-\frac{d}{c}\right)} \qquad (2.18)$$

$$H_\Phi = \frac{i_0 L \operatorname{sen}(\theta)}{4\pi c}\left\{\frac{j\omega_c}{d} + \frac{c}{d^2}\right\} e^{j\omega_c\left(t-\frac{d}{c}\right)} \qquad (2.19)$$

con $E_\Phi = H_r = H_\theta = 0$. En las ecuaciones anteriores, todos los términos 1/d representan la componente del campo de radiación, todos los términos $1/d^2$ representan la componente del campo de inducción y todos los términos $1/d^3$ representan la componente del campo electroestático. Como muestran las ecuaciones (2.17) a (2.19), los campos electroestáticos y de inducción decaen mucho más rápido con la distancia que el campo de radiación. En regiones alejadas del transmisor (región de campo lejano), los campos electroestáticos e inductivos llegan a ser insignificantes y solo las componentes del campo de radiación de E_θ y H_Φ son consideradas.

En el espacio libre, la densidad de flujo de potencia P_d, expresada en [W/m^2], está dada por la ecuación (2.20):

$$P_d = \frac{PIRE}{4\pi d^2} = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} = \frac{|E|^2}{R_{el}} = \frac{|E|^2}{\eta}\left[\frac{W}{m^2}\right] \qquad (2.20)$$

donde R_{el} es la impedancia intrínseca del espacio libre, dada por $\eta = 120\pi$ [Ω] (≈377 [Ω]). Por tanto, la densidad de flujo de potencia está dada según la ecuación (2.21):

$$P_d = \frac{|E|^2}{120\pi}\left[\frac{W}{m^2}\right] \qquad (2.21)$$

donde |E| representa la magnitud de la porción radioactiva del campo eléctrico en el campo lejano. La Figura 2.4 ilustra cómo se dispersa la densidad de flujo de potencia en el espacio libre desde una fuente puntual isotrópica:

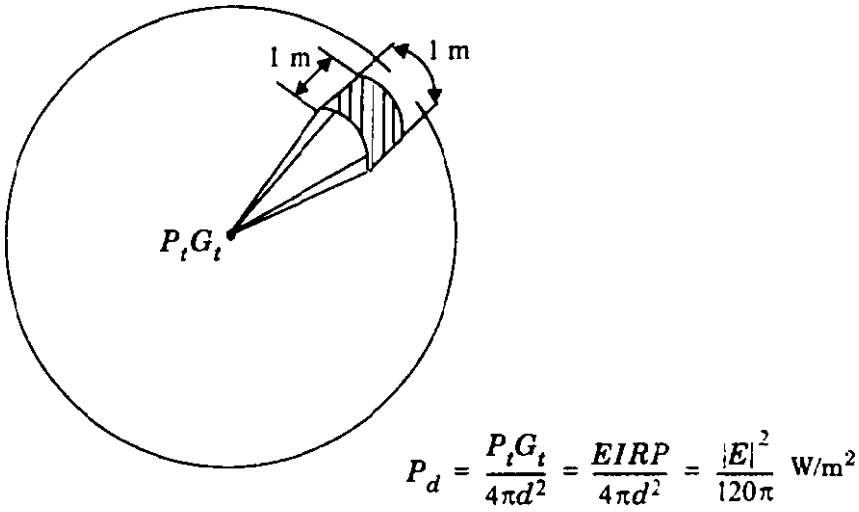


Figura 2.4: Densidad de flujo de potencia a una distancia d de la fuente puntual

donde P_d puede considerarse como el PIRE dividido por el área de una esfera de radio d.

En la ecuación (2.22) se relaciona el campo eléctrico, en unidades de [V/m], con la potencia recibida, en unidades de [W], y ésta es idéntica a la ecuación (2.11) con L = 1:

$$P_r(d) = P_d A_e = \frac{|E|^2}{120\pi} A_e = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} [W] \qquad (2.22)$$

donde la potencia recibida a una distancia d, $P_r(d)$, está dada por el flujo de densidad de potencia multiplicada por la área efectiva de la antena receptora, y se puede relacionar con el campo eléctrico usando las ecuaciones (2.11), (2.12), (2.20) y (2.21).

2.6.1. Campo Cercano y Campo Lejano

Tomando en cuenta las ecuaciones (2.17) a (2.19), pero de forma fasorial y aplicando las Ecuaciones de Maxwell a cada una de estas, se obtienen las siguientes ecuaciones descritas por (2.23), (2.24) y (2.25):

$$\dot{E}_r(d, \theta, \phi) = -\frac{\eta_0 \beta^2}{2\pi} \dot{I} dL sen(\theta) \left[\frac{1}{(j\beta d)^2} + \frac{1}{(j\beta d)^3}\right] e^{-j\beta d} \qquad (2.23)$$

$$\dot{E}_{\phi}(d,\theta,\phi) = -\frac{\eta_0 \beta^2}{4\pi} \dot{I} dL \operatorname{sen}(\theta) \left[\frac{1}{j\beta d} + \frac{1}{(j\beta d)^2} + \frac{1}{(j\beta d)^3}\right] e^{-j\beta d} \qquad (2.24)$$

$$\dot{H}_{\phi}(d,\theta,\phi) = -\frac{\beta^2}{4\pi} \dot{I} dL \operatorname{sen}(\theta) \left[\frac{1}{j\beta d} + \frac{1}{(j\beta d)^2}\right] e^{-j\beta d} \qquad (2.25)$$

donde β es la Constante de Fase ($\beta = 2\pi/\lambda$), que define la razón en la cual la fase cambia a medida que la onda se propaga, en unidades de [rad/m].

Entonces, se hace indispensable revelar varios aspectos que merecen ser destacados:

1. Decaimiento con la Distancia: Tanto para E como para H, los términos que más lentamente decaen al aumentar la distancia son proporcionales a 1/d. Comparando esto con el decaimiento de los campos electroestáticos (proporcionales a $1/d^2$), se nota que en el caso electrodinámico, los CEM se atenúan menos al alejarse de la fuente que los genera. Este decaimiento según 1/d es lo que permite a las ondas de radio alcanzar grandes distancias.
2. Campo Lejano/Campo Cercano: Es posible observar que cuando $d \gg 1/\beta = \lambda/2\pi$, solo los términos proporcionales a 1/d son significativos. Es común referirse a los campos asociados a estos términos como campos de radiación y a esta condición ($d \gg 1/\beta = \lambda/2\pi$) se le denomina campo lejano. A la inversa, en la condición $d \ll 1/\beta = \lambda/2\pi$, denominada campo cercano, los términos proporcionales a $1/d^2$ y $1/d^3$ son los únicos significativos. Los campos asociados a estos términos se conocen como campos reactivos. Note que las distancias a las que se puede hablar de campo lejano o campo cercano dependen linealmente de la frecuencia de operación: si la frecuencia se duplica, las distancias respectivas se reducen a la mitad. Así, al situarse a 100 [m] de una torre de alta tensión (que opera a 50 [Hz]) estaremos en una situación de campo cercano en la que predominan los campos reactivos. Por el contrario, a dos metros de distancia de un teléfono celular (que opera a frecuencias del orden de 1

[GHz]) se está en la condición de campo lejano, predominando los campos radiados.

El campo cercano es la región del espacio donde la onda electromagnética posee un campo conservativo y donde la onda es predominantemente de campo magnético (H) o de campo eléctrico (E) y no mantiene la relación de 377 [Ω] (impedancia intrínseca del vacío) entre ambos. Esto es, cerca del generador de interferencia electromagnética (EMI) (o de la antena transmisora). Si el generador tiene una fuerte intensidad eléctrica y baja tensión (E/H < 377 [Ω]), el campo cercano es predominantemente magnético. Contrariamente, si el generador tiene una alta tensión y baja intensidad (E/H > 377 [Ω]), el campo cercano será principalmente eléctrico. Si E > H, el campo E se atenúa, conforme nos alejamos de la fuente, proporcionalmente a $1/d^3$ (d: distancia entre generador y el punto de observación (receptor)), mientras que el campo H se atenúa proporcionalmente a $1/d^2$. Contrariamente, si la intensidad H > E, el campo H se atenúa proporcionalmente a $1/d^3$, mientras que el campo E se atenúa proporcionalmente a $1/d^2$. En el campo cercano, la relación mutua entre E y H depende del tipo de fuente de EMI (tipo monopolo/dipolo o bucle, respectivamente) y de la distancia entre el generador y el punto de observación. Por lo tanto, la determinación de uno de los campos no es suficiente para calcular el otro.

El campo lejano es la región del espacio donde la onda electromagnética es radiante y está lejos del generador en términos de longitud de onda. En esta región, E/H = 377 [Ω]. Esto significa que E es 377 veces mayor que el campo H y ambas intensidades de campo, E y H se atenúan proporcionalmente a 1/d. Ambos campos están a 90º entre ellos. Aquí el conocimiento de uno de los campos, por ejemplo, E, permite la determinación del otro (H), utilizando la relación en la que estas dos cantidades se relacionan entre sí por medio de la impedancia intrínseca del espacio libre (377 [Ω]).

Finalmente, el interés particular del presente trabajo se concentra en el Campo Lejano:

En la condición de campo lejano ($d \gg 1/\beta = \lambda/2\pi$) podemos aproximar las intensidades de campo eléctrico y magnético como en las ecuaciones (2.26) y (2.27):

$$\dot{H}(d,\theta,\phi) = \hat{\phi} j\frac{\beta}{4\pi}\dot{I}\frac{e^{-j\beta d}}{d}\text{sen}(\theta)dL \quad (2.26)$$

$$\dot{E}(d,\theta,\phi) = \hat{\theta} j\frac{\beta}{4\pi}\dot{I}\frac{e^{-j\beta d}}{d}\eta_0\text{sen}(\theta)dL \quad (2.27)$$

es decir, considerando solo las componentes de radiación. Note que:

1. El campo magnético de radiación apunta únicamente en dirección de "phi".
2. El campo eléctrico de radiación apunta únicamente en dirección de "theta".
3. A partir de lo anterior, E y H son ortogonales.
4. En campo lejano, se tiene una onda electromagnética uniforme, pero con frentes de onda esféricos (no planos). Sin embargo, sobre un pedazo pequeño de la superficie de una esfera de radio d, dichos frentes pueden aproximarse bien como planos. Un criterio comúnmente utilizado para considerar como plana una zona de frente de onda esférico a distancia d de su centro es: $d > d_f \equiv D^2/(\lambda/2)$, donde d_f es la distancia de Fraunhofer, D es el máximo diámetro del área en cuestión y λ es la longitud de onda.
5. Para una amplitud de corriente dada, las intensidades de los campos disminuyen al disminuir β, es decir, al bajar la frecuencia.

2.7. Los Tres Mecanismos Básicos de Propagación

Reflexión, difracción y dispersión son los tres mecanismos básicos de propagación, los cuales afectan la propagación en los sistemas de comunicación móviles.

La reflexión se produce cuando una onda electromagnética propagada, choca con un objeto que tiene dimensiones muy grandes en comparación con la longitud de onda de la onda propagada. La reflexión ocurre desde la superficie de la tierra y desde edificios y paredes.

La difracción se origina cuando el trayecto radioeléctrico entre Tx y Rx es obstruido por una superficie que tiene irregularidades agudas (bordes). Las ondas secundarias, resultantes de la obstrucción de la superficie, están presentes a lo largo de todo el espacio y hasta detrás del obstáculo, dando lugar a una curvatura de las ondas alrededor del obstáculo, incluso cuando no existe una vía LOS entre Tx y Rx. A altas frecuencias, la difracción, como en la reflexión, dependen de la geometría del objeto, así como de su amplitud, fase y polarización de la onda incidente en el punto de difracción.

La dispersión ocurre cuando el medio por donde viaja la onda consiste en objetos con dimensiones pequeñas en comparación a la longitud de onda y donde el número de obstáculos por unidad de volumen es grande. Las ondas dispersas son producidas por superficies rugosas, objetos pequeños o por otras irregularidades en el canal. En la práctica, la vegetación, señaléticas y postes de luz inducen la dispersión en los sistemas de comunicación móviles.

2.7.1. Reflexión

Cuando una onda de radio, que se propaga por un medio, impacta sobre otro medio que tiene diferentes propiedades eléctricas, la onda se refleja parcialmente y es parcialmente transmitida. Si la onda plana incide sobre un dieléctrico perfecto, parte de la energía es transmitida al segundo medio y el resto de la energía es reflejada de vuelta al primer medio, por lo que no existen pérdidas de energía por absorción. Si el segundo medio es un conductor perfecto, entonces toda la energía que incide sobre el segundo medio es reflejada de vuelta al primer medio, sin pérdidas de energía. La Figura 2.5 y Figura 2.6 permiten aclarar el panorama descrito:

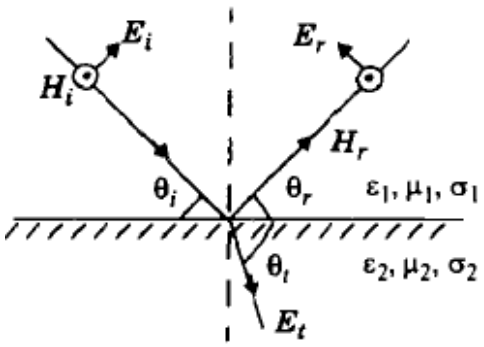


Figura 2.5: Campo eléctrico en el plano de incidencia

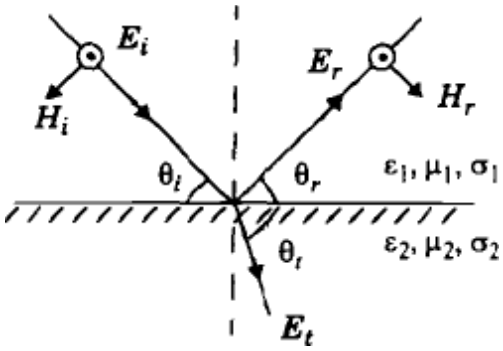


Figura 2.6: Campo eléctrico normal al plano de incidencia

La intensidad de campo eléctrico (E) de las ondas reflejada y transmitida es posible relacionarla con la onda incidente, en el medio de origen, a través del coeficiente de reflexión de Fresnel (Γ). El coeficiente de reflexión es una función de las propiedades del material y, generalmente, dependen de la polarización de la onda, ángulo de incidencia y de la frecuencia de la onda de propagación.

En general, las ondas electromagnéticas están polarizadas, esto significa que tienen componentes instantáneos del campo eléctrico en direcciones ortogonales en el espacio. Una onda polarizada puede representarse matemáticamente como la suma de dos componentes espacialmente ortogonales, tales como vertical y horizontal, o componentes polarizadas circularmente en el sentido de las manecillas del reloj o en contra de las manecillas del reloj. Para una polarización arbitraria, la superposición puede ser usada para calcular campos reflejados desde una superficie reflectante.

2.7.2. Difracción

La difracción permite que las señales de radio se propaguen alrededor de la superficie curva de la tierra, más allá del horizonte, y que se propaguen por detrás de las obstrucciones. A pesar de que la intensidad de campo recibida decrece rápidamente a medida que el receptor se sumerge en la región obstruida (sombreada), el campo de difracción permanece existente y a menudo tiene la intensidad suficiente para producir una señal útil.

El fenómeno de la difracción puede ser explicado por el principio de Huygens, que declara que todos los puntos de un frente de onda pueden considerarse como fuentes puntuales para la emisión de ondas secundarias, y estas ondas se combinan para generar un nuevo frente de onda en la dirección de propagación. La Figura 2.7 expone lo que plantea el principio de Huygens:

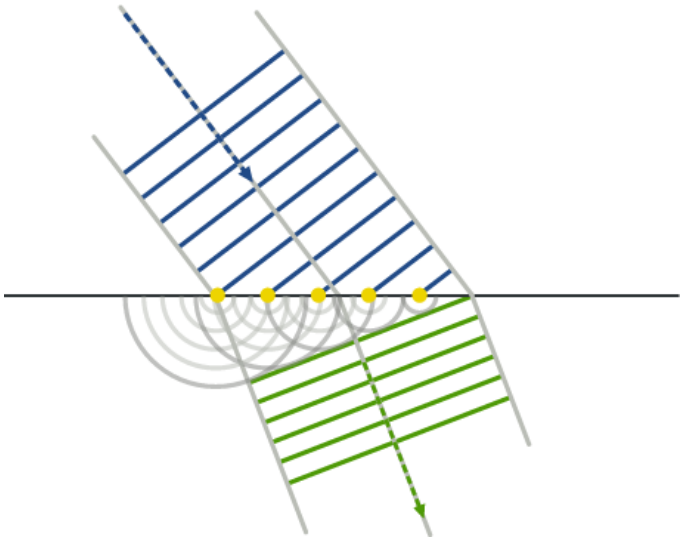


Figura 2.7: Refracción de una onda según el principio de Huygens

La difracción es causada por la propagación de ondas secundarias en una región sombreada. La intensidad de campo de una onda difractada en la región sombreada es la suma vectorial de las componentes de campo eléctrico de todas las ondas secundarias en el espacio alrededor del obstáculo.

2.7.3. Dispersión

La señal recibida real en un entorno de radio móvil es frecuentemente más fuerte que lo que se predice por los modelos de reflexión y difracción por sí solos. Esto es porque cuando una onda de radio impacta sobre una superficie rugosa, la energía reflejada se separa (disipa) en todas direcciones debido a la dispersión. Los objetos, como los postes de luz y árboles tienden a dispersar la energía en todas direcciones, proporcionando energía de radio adicional en un receptor. La Figura 2.8 ilustra a grandes rasgos lo que se ha expresado anteriormente:



Figura 2.8: Ejemplo de una dispersión en superficie rugosa

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Introducción

En este capítulo se revisan publicaciones relacionadas a mediciones de REM asociada a la tecnología Wi-Fi principalmente y se examinan las metodologías y procedimientos utilizados para realizar las mediciones. Además, se toma especial atención al equipamiento utilizado en la toma de muestras, ya que, por lo general, se ocupa equipamiento de alto costo. Esto último, debido a las características que brindan estas unidades (precisión, sensibilidad, funciones, entre otros) y el diseño orientado a ser utilizarlos en laboratorios, aplicaciones de servicio y mantenimiento. Por último, también se revisan publicaciones que tienen relación a las mediciones de interés, pero desde otro enfoque, permitiendo otorgar información relevante sobre la misma tecnología.

3.2. Trabajos Relacionados

3.2.1. "Radiofrequency Radiation Measurements Public Wi-Fi Installations in Hong Kong", Office of the Communications Authority, December 2014 [19]

Se realizan mediciones en 65 lugares accesibles para el público general, con servicio Wi-Fi que opera en la banda 2,4 [GHz] (2,4 - 2,4825 [GHz]) y/o 5 [GHz] (5,15 - 5,35; 5,47 - 5,725 y 5,725 - 5,85 [GHz]); la mayoría de estos servicios opera en la banda 2,4 [GHz]. De los lugares elegidos, se encuentran: restaurantes, librerías públicas, bancos, aeropuerto, kioscos, instituciones educacionales, lugares públicos donde coexisten señales Wi-Fi de hogares y de comercios, etc.

La metodología y procedimiento utilizados consisten en ocupar el equipo Narda NBM-550 con la sonda Narda EF6091 (actualmente, en el mercado, es reemplazada

por la EF6092) incorporada (rango de frecuencia: 100 [MHz] - 60 [GHz]), para medir el promedio en el intervalo de 6 [min], como es requerido en la directriz de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-Ionizantes (ICNIRP) [17]. Para esto, primero se hace un rastreo en el lugar elegido, buscando la posición donde la señal presenta mayor intensidad (generalmente cerca del AP del lugar). Encontrada ésta, se realiza la primera medición. El equipo se fija en un trípode a una altura de 1,7 [m] (altura de la cabeza de un adulto promedio) y se realiza la medición. Luego, se eligen 4 puntos más para hacer el mismo procedimiento, siendo estos donde la gente normalmente se ubica en el lugar. Finalmente, se presenta el mayor y el menor valor y se compara con el límite presentado por la ICNIRP que, para lugares públicos, es de 1000 [$\mu W/cm^2$]. Se concluye, al final, que todos los niveles de exposición medidos son pequeños con respecto al límite; el máximo medido solo alcanza un 2.372% de éste.

3.2.2. "Case Study: Measurements of Radios Frequency Exposure from Wi-Fi Devices", Industry Canada, May 2012 [20]

Las mediciones son llevadas a cabo en un lugar controlado: una sala de reunión en la propia Industry Canada, localizada en Aurora, Ontario. En el lugar se disponen de dos APs: AP1 en modo de prueba, que fuerza al equipo a transmitir de forma continua, operando en la frecuencia central: 5.180 [MHz] (canal 36), y AP2 en modo normal, operando en la frecuencia central: 2.437 [MHz] (canal 6) y 24 laptops con conexión Wi-Fi habilitado (4 de ellos funcionando solo en la banda de los 2,4 [Ghz] y, los otros, en la banda de los 5 [GHz]) y configurados para que estén en modo de descarga y/o subida de archivos y/o apagados. El objetivo del estudio es obtener mediciones de los niveles de exposición agregada de RF generadas por los múltiples equipos, en un entorno de interior.

En cuanto a la metodología y procedimiento, estas siguen la directriz de la propia Industry Canada [21] y [22] (basada en Safety Code 6 (SC6) [23]). Para las

mediciones se utiliza un medidor de radiación selectiva Narda SRM 3006 y 2 antenas triaxiales para medir campo eléctrico: Narda 3501/03 para la banda 2,4 [GHz] y Narda 3502/01 para la banda 5 [GHz], utilizando un trípode ajustado a 1,25 o 1,75 [m] (altura de la cabeza de una persona sentada o parada, respectivamente). Las mediciones se toman en distintos escenarios y posiciones, en cuanto al rango de frecuencia que se trabaja, posición del trípode y modo en el que están trabajando los laptops. Estas mediciones se hacen en el promedio del periodo de 1 o 6 [min] según el escenario, y también, para el caso de un escenario especial de interés, se hace un promedio espacial, dividiendo este en una matriz de 9 puntos de medición (equivalente al plano proyectado por la región de la cabeza y cuerpo de una persona). También, antes de las mediciones de interés, se ha hecho un sondeo por todo el rango de frecuencias (50 - 6.000 [MHz]) para detectar los niveles de exposición RF del ambiente (APs apagados). Finalmente, el mayor valor detectado fue de 0,19% del límite establecido por la SC6, donde todos los laptops estaban en modo de descarga.

3.2.3. "Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in Australian Schools", Ken Karipidis, December 2016 [24]

Se efectúan mediciones en una sala y en el patio de 23 colegios de Australia, pertenecientes a los estados de New South Wales (11) y Victoria (12), los cuales presentan la mayor cantidad de habitantes con respecto a otros estados. En estos colegios, se eligieron 7 de Primaria y 16 de Secundaria, localizadas en zonas metropolitas (18) y rurales (5); 6 de los 23 establecimientos presentan menor a 600 estudiantes, 9 tienen entre 600 y 1.000 y 8 mayor a 1.000 alumnos; por último, 6 colegios tienen menos de 40 APs, 11 entre 40 y 70 y 6 poseen más de 70 APs.

Para realizar las mediciones, se ocupa un calibrado (bajo la ISO/IEC17025) medidor de radiación selectiva, Narda SRM-3006, y tres sondas triaxiales separadas: una para campos magnéticos y dos para campos eléctricos, a modo de cubrir diferentes frecuencias, desde los 9 [KHz] hasta los 6 [GHz]. Las mediciones fueron hechas entre

las 8:30am y las 3:30pm. Primero, se realiza mediciones espaciales de campos RF por parte de Wi-Fi (2,4 - 2,5 [GHz] y 5,15 - 5,85 [GHz]), caminando lentamente por toda la sala y barriendo de abajo hacia arriba (hasta la cabeza) por un periodo de 10 [min]; repitiendo el procedimiento mientras se descarga (o sube) grandes archivos, navegando en internet o interactuando con Wi-Fi, usando uno o más laptops en la sala (modo activo). Para ambos modos, activo y pasivo (ningún aparato conectado), se realiza el promedio y el máximo del periodo de 10 [min]. Segundo, mediciones son hechas estacionariamente en distintos lugares de la sala, a 1,5 [m] sobre el suelo y con las sondas montadas en un trípode, midiendo por 1 [min] mientras el Wi-Fi está activo; se indica promedio y el máximo de cada periodo en cada lugar. Tercero, se toman muestras de todas las fuentes de emisión de RF de interés, estacionalmente, a 1,5 [m] sobre el suelo, por un periodo de 1 [min] y variando las bandas de frecuencia por todo el espectro que representan las fuentes de emisión; se calcula el promedio y el máximo del periodo medido, para cada banda de frecuencia. Esta medición se repite en el patio del colegio, en un área abierta (al menos 5 [m] libre de obstáculos físicos). Finalmente, los resultados que se presentan son del total de los 23 colegios, indicando para cada situación (nombradas anteriormente) el mínimo, el máximo y la mediana, su porcentaje con respecto a los límites propuestos por las directrices de la ICNIRP y un análisis estadístico de las mediciones y de los resultados mismos.

3.2.4. “Improving the Accuracy of Exposure Assessment to Stochastic like Radiofrequency Signals”, Paul Bachet, Simona Miclaus and Andrei Bachet, October 2012 [25]

Este trabajo tiene como objetivo mejorar la precisión de la evaluación de la exposición cuando se utilizan analizadores de espectro (AEs) de tipo barrido (Swept-Spectrum Analyzers), tomando en cuenta la naturaleza estocástica de las señales emitidas por los equipos. Se enfoca principalmente en la configuración y ajustes de los sistemas de medición para obtener resultados confiables. Se ha revelado que el ajuste

crítico de las analizadores de espectro es el Sweep Time (Tiempo de barrido, SWT); con un SWT más corto que la duración de la señal activa, el campo medido será sobreestimado, y de manera contraria, será subestimado. El problema es que la señal activa no tiene una duración fija y tiene un ciclo de trabajo variable; dependen de la velocidad de transmisión, la calidad de la señal, el número de STAs, número de APs usando el mismo canal, protocolo de transmisión, entre otros, por lo que la solución óptima para el SWT debe ser encontrada. De esta manera, se propone considerar las tramas del protocolo de transmisión CSMA/CA como mínima duración de señal, siendo además de la Trama de Datos que se envía, la Señal de Baliza (beacon) y la Señal de Acuso de Recibo "ACK" (Acknowledgment), que se transmite luego de la recepción de la Trama de Datos a destino. Otro problema es la amplitud de las señales, ya que estas tampoco son fijas. A modo de análisis, se prueban factores de peso que permitan compensar estos dos problemas, considerando dos algoritmos propuestos. El primer algoritmo toma en cuenta el ciclo de trabajo de la transmisión (tiempo activo y el tiempo total) y, el segundo algoritmo, toma en cuenta la potencia de la señal medida (el máximo y el promediado en un periodo de 6 [min]). Finalmente, también se toma en cuenta el promedio espacial para ambos algoritmos, en cuanto a la medición de la señal (campo eléctrico), debido a que los equipos inalámbricos pueden estar en distintos lugares del área de cobertura de la red.

De esta manera, realizando pruebas experimentales con equipamiento de alta precisión (Rhode&Schwarz FSH8, Agilent V28020, Dipolo cónico de precisión PCD8250, Rhode&Schwarz SM 300 y Rhode&Schwarz AM 300) y teniendo en cuenta lo que menciona la directriz de la ICNIRP, se evalúan distintos escenarios y distintas configuraciones: fuente de la señal inalámbrica, condición de propagación, tipo de tráfico, instrumentos de medición y SWTs, con el fin de comparar los resultados de estos algoritmos. Se concluye que el segundo algoritmo permite una mejor evaluación del nivel de la señal inalámbrica, esto, porque considera tanto la duración de la señal como su amplitud.

3.2.5. “Analysis of Human Exposure due to WiFi Signals based on a Novel Measurement Methodology”, Marta Fernández, Ivan Peña, David Guerra and Amaia Arrinda, November 2016 [26]

La presente publicación provee resultados de los niveles de exposición de la tecnología Wi-Fi, utilizando una metodología que obtiene los datos y se evalúan, teniendo en cuenta las diferentes situaciones con respecto al tráfico de datos y considerando las contribuciones de uno o más APs en una red inalámbrica.

Las mediciones son llevadas a cabo en un laboratorio de un edificio de cuatro plantas de la Universidad del País Vasco, situado en un entorno urbano. De estas mediciones, dos situaciones se presentan: En la primera situación, se obtienen las mediciones en un ambiente controlado y durante la noche, para asegurar que no hayan otros tráficos de datos además del que se utiliza para esta prueba. El objetivo es determinar la contribución de un único AP en una red inalámbrica y evaluar los niveles de exposición debido a este. Para hacer esto posible, se consideran por separado ambos modos de operación del AP: El Modo Inactivo (no hay ningún dispositivo conectado al AP, por lo que solo hay paquetes “beacon” transmitidos) y el Modo de Tráfico (solo hay uno o más dispositivos conectados al AP, y en consecuencia, se producen diferentes situaciones de tráfico de datos). Además de esto, dos tipos de mediciones fueron distinguidas de acuerdo al rango de frecuencia de operación del AP: Medición de un Canal (rango de frecuencia correspondiente al canal Wi-Fi utilizado por el AP de prueba) y Medición de la Banda 2,4 [GHz] (rango de frecuencia correspondiente a todos los canales Wi-Fi utilizados por el AP de prueba). En la segunda situación, las mediciones son realizadas durante el día y la noche, en un ambiente no controlado. De esta manera, se caracteriza el nivel real de exposición generado por las señales Wi-Fi, transmitidas de distintos APs de la red inalámbrica (sin distinguirse si trabajan en Modo Inactivo o de Tráfico).

Para las mediciones, se configuran los parámetros y funciones de un AE Rhode&Schwarz EMI ESPI3 dependiendo del tipo de medición (un canal o todos los canales de la banda Wi-Fi 2,4 [GHz]). De esta forma, en la primera situación, se utiliza una antena Yagi a dos [m] del AP y con un laptop se genera el tráfico de datos desde el AP, midiéndose este. Se concluye entonces, en base a los datos estadísticos y empíricos, que mientras mayor sea el tamaño del archivo descargado (tráfico de datos), se genera un mayor nivel de exposición, llegando a un máximo de 0,088% del límite que fija la ICNIRP, este, cuando se mide en toda la banda y descargando el archivo de mayor tamaño. En cuanto a los datos capturados en Modo Inactivo, se aprecia que el 90% de los valores en la medición de un canal no sobrepasa el 0,0019% del límite y, para toda la banda, no sobrepasa el 0,0042%. Para el Modo Tráfico, a medida que se aumenta el tamaño del archivo, la probabilidad disminuye notoriamente para un mismo valor de medición, y se mantiene la probabilidad (aproximadamente constante) hasta casi diez veces el valor, y aumenta a la probabilidad máxima de forma aproximadamente exponencial. Finalmente, para la segunda situación, se ocupa una antena triaxial para medir, localizada a 1,2 [m] sobre el nivel del suelo. De los resultados, se concluye que los valores de exposición aumentan durante el día y son más variables, llegando a un 0,088% del límite. Por el contrario, durante la noche, disminuyen estos valores y son más constantes, alcanzando un 0,054%. Por lo que se puede observar que durante el día hay mayor actividad que en la noche, en cuanto al tráfico de datos. Por último, todas las mediciones de todos los casos están muy por debajo del nivel que dice la ICNIRP.

3.3. Conclusiones

Como se ha visto, y en general, los instrumentos utilizados son equipos de alto costo, llegando a costar entre $12.000 y hasta $30.000 dólares, tomando en cuenta los equipos y antenas. En cuanto a la metodología y procedimiento de medición, estos generalmente siguen las directrices que dispone la ICNIRP u otro organismo análogo o complementario para realizar estas actividades específicamente. Estas consisten, mayoritariamente, en utilizar un trípode para elevar las antenas (simulando

ubicaciones de las partes del cuerpo que son críticas en sensibilidad); mediciones por un periodo de 6 [min] según sea el caso; expresión de valores en densidad de potencia [$\mu W/cm^2$] y comparación en porcentajes con los límites que rigen las normas o recomendaciones de autoridades; procesamiento de las mediciones y hacer evaluación estadística, gráficos y tablas con los resultados y datos relevantes. También, de los lugares elegidos, estos son en entornos cerrados y/o abiertos, en lugares públicos y/o privados, en ambientes controlados y/o no controlados, de manera de obtener representaciones de los niveles de exposición representativos para cada caso. Además, entre las publicaciones buscadas y encontradas, son escasos los casos en que se hacen mediciones en la banda Wi-Fi donde los nuevos y poco difundidos estándares trabajan, que es en la banda de los 5 [GHz] (IEEE 802.11a/n/ac); presentan distinto comportamiento que son relevantes para las mediciones, como el uso de otros tipos de modulación, esquemas de transmisión y otros parámetros, particularmente, la velocidad de transmisión o potencia de salida del equipo, que afectan el cómo se envía la información y que inciden directamente en la exposición de RF.

En específico, de [19] se rescata la campaña de medición realizada en más de 60 lugares con distintas características; el enlace que facilita la búsqueda de los APs asociados a los lugares de medición y las características del AP; el despliegue de los resultados, junto a información relevante y las fotos anexadas de la instalación del equipo de monitoreo y el entorno de medición. En el caso de [20], resalta el uso de 24 laptops y 2 APs para realizar las mediciones en un ambiente controlado y cerrado. También el nivel de detalle de cada uno de los escenarios, equipos (APs, laptops, antenas, medidores, etc.), mediciones y casos que proporciona el documento. Se busca ver cómo afecta en las mediciones el hecho de que distintos laptops descargan y/o cargan archivo,s con el uso de APs en distintos modos de operación y banda. El problema con esto último, es que en ambientes no controlados no se posible (o muy difícil) tener certeza sobre el número de equipos conectados y APs, configuración de cada AP en el entorno, entre otras variables, por lo que ésta evaluación es solo referencial para el caso y no concluyente. Aun así, la evaluación es realizada en una

configuración del entorno y de los equipos para representar el peor escenario de medición (valores medidos son mucho mayores a lo que normalmente se esperaría) para un colegio. De todas maneras, todo el estudio realizado es basado en directrices de recomendaciones y normativas únicas de Canadá, por lo que replicarse en otro país no tendría mucho sentido. Para el caso de [24], la variedad de entornos de medición de los colegios elegidos permite tener una caracterización más representativa del comportamiento de la radiación generada por la tecnología Wi-Fi al total medido. También, la metodología es particular e interesante al observar los resultados, en cuanto al análisis estadístico presentado. El problema es, que las mediciones fueron realizadas en un periodo de 1 [min], y no de 6 [min] como lo exige la directriz de la ICNIRP, por lo que no se corresponde al hacer las comparaciones con el límite permitido. Además, las mediciones se han realizado sin la presencia de los estudiantes en los colegios, por lo que las mediciones son bastante menores a lo que naturalmente presentarían; en presencia de más personas, potencialmente implicaría mayores fuentes de emisión que aporten a la medición, además de las características del comportamiento de la señal al haber múltiples obstáculos y rebotes que hagan aportar más o menos en un punto. Por otro lado, la publicación [25] se distingue por sobre las demás en el enfoque que se le proporciona a las mediciones, donde se toma especial atención a la configuración y ajustes propios de los APs y AEs para así obtener muestras representativas de la radiación que efectivamente realiza el AP; su tipo de configuración y parámetros que inciden en cómo se transmite la información permite ir desglosando cada paquete de dato y su correspondiente aporte a la radiación RF. Para esto, su metodología, análisis y post-procesamiento admite una posible estandarización para este tipo de casos donde la naturaleza estocástica de estas señales es estudiada y medida. Lo que no concede este tipo de publicaciones es la replicabilidad para casos generales de medición, en otras palabras, a lo que realmente se enfoca la presente memoria, la cual no puede ser escalable; no es posible hacer este tipo de metodología para escenarios no controlados. Incluso, si fuesen controlados, se aprecia cerca de lo imposible de realizar para dos o más APs trabajando al mismo tiempo y otras fuentes cercanas; el problema de multitrayecto y/o problema del nodo

oculto, por ejemplo, pueden hacer que no sea posible esta metodología y procedimiento de medición. Por último, en [26], se hace algo parecido a la publicación anteriormente analizada, pero menos riguroso. Aun así, otorga la misma no-replicabilidad en ambientes no controlados (para el caso de ambiente controlado que anuncia la publicación), donde se enfoca netamente en la actividad de un solo AP, el cual conoce el canal donde transmite. También, supuestamente se determina la contribución del AP de prueba, pero luego se contradice, aludiendo que hay contribuciones de otros en la misma red inalámbrica, por lo que los resultados pueden presentar alteraciones. Por último, para el caso de mediciones en entornos no-controlados, podría haber mayor información sobre específicamente donde se posicionaron las antenas y la evolución de las mediciones en el tiempo, para lograr caracterizar de mejor forma el comportamiento de la señal como se quiere determinar. Sin embargo, la duración de la medición (12 horas) y en dos días seguidos, permite resaltar lo interesante en los resultados, donde permite demostrar que durante el día – como se esperaba – hay mayor actividad y exposición que durante la noche.

4. MEDICIÓN DE SEÑAL WI-FI

4.1. Introducción

En esta sección se describe el equipo de monitoreo, sus especificaciones y características; la correspondiente validación del equipo para verificar que las mediciones concuerdan con los niveles de radiación que realmente están presentes en los terminales o puntos de recepción; la metodología y procedimientos de medición utilizados; los lugares y sus puntos de medición elegidos y, finalmente, el procesamiento de los datos.

4.2. Equipo de Monitoreo

El equipo de monitoreo utilizado para realizar las mediciones es el analizador de espectro RF Explorer, en sus modelos 3G Combo y 6G Combo. Se ha optado por este aparato debido a su relación precio-rendimiento, el cual es verdaderamente notable y el mejor, por lejos, en el mercado. Especializado para las necesidades de la comunicación digital de radiofrecuencias, ofrece el 90% de lo que una unidad de alto costo haría por la comunicación de banda digital RF, a un 5% del costo. Adicionalmente, puede ser llevada fácilmente donde sea, usándose al aire libre eficientemente por más de 16 horas con una sola carga de batería. Por último, es también posible conectarlo al computador (por medio de un conector mini-USB 2.0) o teléfono inteligente (por medio de un conector USB OTG [On-The-Go]) y con un software o aplicación celular almacenar y exportar las mediciones, entre muchas otras funciones que permiten estos programas [27]. La Figura 4.1 y Figura 4.2 muestra cada equipo con su estuche y respectivas antenas; conforman el paquete de compra de cada unidad:



Figura 4.1: RF Eplorer 3G Combo y antenas Nagoya NA773 y Whip 2.4 [GHz], respectivamente



Figura 4.2: RF Explorer 6G Combo y antenas Nagoya NA773, Rubber Duck 5.8 [GHz] y Whip 2.4 [GHz], correspondientemente

Por último, el equipo RF Explorer es un instrumento para Pruebas y Mediciones, por consiguiente, es compatible con la regulación de las Regulaciones del Código Federal (CFR), Título 47, Parte 15.103(c) de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) y certificado en cumplimiento de la Conformidad Europea (CE) bajo las regulaciones de los estándares EN/IEC61326 y EN/IEC61000.

4.2.1. Especificaciones y Características del Equipo de Monitoreo

Dentro de las especificaciones de cada modelo, correspondientes al equipo RF Explorer, se resume en la Tabla 4.1 los detalles de estas:

Tabla 4.1: Resumen de las especificaciones de cada modelo, correspondientes al equipo RF Explorer

Modelo	3G Combo	6G Combo
Precio	$269 USD	$365 USD
Rango de Frecuencia [MHz]	15 - 2.700 240 - 960	15 - 2.700 4.850 - 6.100
Span [MHz]	0,112 - 600	0,112 - 600 2 - 600
Resolución de Frecuencia [KHz]	1.0	1.0
Rango Dinámico [dBm]	-110 - -10 -115 - 0	-110 - -10 -105 - -15
Nivel de Ruido Promedio[1] [dBm]	-105 -115	-105
Resolución de Amplitud [dBm]	0,5	0,5
Ancho de Banda de Resolución[2] Automático [KHz]	2,6 - 600	2,6 - 600 58 - 812
Gráficos LCD [pixel]	128x64	128x64
Analizador Wi-Fi	13 canales 2,4 [GHz]	13 canales 2,4 [GHz] y 13 canales 5 [GHz]
Impedancia RF[3] [Ω]	50	50
Potencia Máxima de Entrada [dBm]	+30 +5	+30 +25
Precisión de Frecuencia [ppm]	10	10 0,5
Estabilidad de Frecuencia [ppm]	10	10 0,5
Estabilidad de Amplitud [dBm]	±1	±1
Precisión de Amplitud [dBm]	±3 ±6	±3 ±6
Tamaño [mm]	113x70x25	113x70x25
Peso [g]	220	185
Antenas Incluidas	NA-773 Whip 2.4G	NA-773 Whip 2.4G R Duck 5.8G

[1] DANL: Displayed Avarage Noise Level.
[2] RBW: Resolution Bandwidth.
[3] Conector estándar SMA.

En cuanto a las características del equipo, el RF Explorer está basado en un potente microcontrolador (MCU) Microchip de 16 bits: PIC24FJ64GA004 [28]. Este

MCU es el núcleo de toda la funcionalidad interna. Gracias a esto, el procesador digital de señales (DSP) interno puede ser configurado de distintas maneras con el objetivo de seleccionar la mejor opción posible para la reducción de ruido, rechazo de imagen y velocidad de barrido. Entre las opciones se encuentran los siguientes modos:

- **Auto:** Opción recomendada para todo usuario. Cuando este modo es elegido, las tablas de configuración internas seleccionan el mejor algoritmo posible. La pantalla del AE mostrará el modo FIR (Filter) o FST (Fast), para indicar el modo actual usado por el DSP.
- **Filter:** En este modo, el DSP escaneará el espectro varias veces con el fin de rechazar las espurias indeseadas y la frecuencia imagen fuera de la pantalla. Como resultado de esto, la velocidad de barrido es más lenta comparada con el modo Fast.
- **Fast:** Modo recomendado solo para usuarios avanzados. Al seleccionarse, el DSP no procesará las espurias y en consecuencia, señales indeseadas pueden mostrarse por pantalla.

Además, el DSP realiza avanzados cálculos tal que configura el analizador para la medición requerida:

- **Calculator:** Ofrece múltiples modos para desplegar los datos:
  - **Max:** Valores “peak” son mostrados según los últimos barridos indicado por Iterations.
  - **Max Hold:** Captura toda actividad en la banda, incluyendo la envolvente de la señal en el modo Max, con gráficas vectoriales y actividad en tiempo real con barras verticales.
  - **Average:** Media aritmética es calculado sobre los últimos barridos indicado por Iterations.
  - **Normal:** Ningún cálculo es hecho, dato concreto como resultado del barrido en tiempo real.
  - **Overwrite:** Áreas más oscuras apuntarán a una señal de alta actividad.

- **Iterations:** Es el número de barridos realizados, desde 1 a 16, del cual se hacen los cálculos. A modo de ejemplo, un valor de 5 permitiría realizar en el modo Average, que el DSP acumule 5 barridos completos para promediar los datos.

Para el caso de las antenas incluidas, se resume en la Tabla 4.2 las especificaciones primordiales de las 2 antenas de interés:

Tabla 4.2: Resumen de las especificaciones de las antenas de interés

Antena	2.4GHz Whip 	Rubber Duck 5.8GHz 
Impedancia [Ω]	50	50
Respuesta Caracterizada [MHz]	2.400 – 2.500	5.700 – 5.800
Razón de Onda Estacionaria[1]	<1,8	<2,0
Ganancia [dBi]	2	Hasta 2
Potencia Máxima [W]	25	50
Polarización	Vertical	Vertical
Patrón de Radiación	Omnidireccional	Omnidireccional
Largo [cm]	5	11
Cumple RoHS[2]	Si	Si

[1] VSWR: Voltage Standing Wave Ratio.
[2] RoHS: Restriction of Hazardous Substances.

De las características de estas antenas, se encuentra que la antena 2.4GHz Whip es compacta, de alto rendimiento para la banda 2,4 [GHz], incluyendo Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, Video, ISM, etc. Y, para la antena Rubber Duck 5.8GHz, ésta presenta una buena cobertura en el rango entre 5,4 y 5,9 [GHz]. Ofrece también una moderada calidad de recepción en la banda 2,4 [GHz], por lo que podría ser usado como una antena de multi-banda.

Para el caso del software y/o aplicación de celular, en la Tabla 4.3 se resume en detalle las especificaciones del software de interés:

Tabla 4.3: Resumen de las especificaciones del software de interés “RF Explorer for Windows”

Software	RF Explorer for Windows
Precio (dólares)	Gratis
Soporte para modelos RF Explorer	Todos
Análisis del Espectro RF	Si
Perfiles Preconfigurados	Si
Modo Grabación/Reproducción	Si
Exporta Trazas en formato CSV	Si
Soporte para Modo Zoom	Si
Marcadores de Frecuencia	Si
Monitoreo de Bandas	Si
Trazas del Espectro (Max Hold, Normal, etc.)	Si
Mapa de Calor / Cascada	Si
Analizador Wi-Fi	Si

Por otro lado, de las características de este software es posible rescatar su control remoto del AE RF Explorer desde el computador, por medio de conexión mini-USB 2.0, modificando parámetros como frecuencia central/span o rango de frecuencia por separado, límites verticales para mostrar valores medidos, número de iteraciones, empezar o detener las mediciones, entre otros. Además, es posible realizar acciones avanzadas que no se puede hacer en el aparato, como realizar Zoom a las trazas, imprimir datos o hasta exportar imagen de las trazas. También, en el uso del mapa de Cascada, permite una visualización 2D/3D de alto desempeño de los barridos en el tiempo, de manera de ver señales intermitentes o variantes en el tiempo que no podrían ser detectadas fácilmente de otra manera. El mapa de calor que viene, permite discriminar los valores altos, medios y bajos en amplitud y admite la posibilidad de sacar foto por pantalla. Por último, el programa trae otras funcionalidades que no son del interés del presente trabajo, pero sí son muy útiles para pruebas y mediciones en laboratorio, en casa o al aire libre.

Finalmente, es importante remarcar que el software “RF Explorer for Windows” es de código abierto, lanzado bajo la licencia GNU GPLv3, por lo que existe la libertad de modificar, distribuir y utilizar en base a los términos de GNU.

4.3. Validación del Equipo de Monitoreo

La validación de "pre-compliance" del equipo de monitoreo permite verificar que las mediciones que hace el RF Explorer sean lo más cercano a la realidad, y de no ser así, se realizan las adecuadas correcciones que luego se adhieren en el procesamiento de los datos adquiridos.

El procedimiento consiste en comparar, primeramente, las mediciones que obtiene el equipo RF Explorer con lo teórico, mediante la ecuación de Friis, de acuerdo a lo medido con otro analizador de espectro de referencia, dispuesto por el Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María. Esta comparación se hace netamente para tener una referencia de lo que sería un escenario ideal. Finalmente, se comparan las mediciones obtenidas por el equipo RF Explorer con lo obtenido experimentalmente, utilizando una antena de referencia, a la cual se le conocen los parámetros y con el analizador de espectro de referencia anteriormente mencionado. Esta comparación es la que realmente incide en la corrección de validación, debido a que representa la realidad de lo medido. Es importante acotar que los cálculos que se hacen, se realizan para las 5 frecuencias centrales de interés, conforme a las mediciones realizadas en la presente memoria: 2.437, 5.200, 5.250, 5.350 y 5.775 [MHz]. Éstas representan a la banda Wi-Fi de los 2,4 [GHz]: 11 canales (2.401 a 2.473 [MHz]); Wi-Fi de los 5 [GHz]: U-NII-1 (5.150 a 5250 [MHz]), U-NII-2 (5.250 a 5.350 [MHz]), U-NII-1 y U-NII-2 (5.150 a 5.350 [MHz]) y U-NII-3 (5.725 a 5.825 [MHz]); respectivamente. Más información sobre estas bandas se especifica en el Anexo A. Alternativamente, se ha elaborado un informe de validación de mediciones de bandas de radiofrecuencias 2G a 4G, Wi-Fi de RF Explorer de 6G Combo, el cual se encuentra en el Anexo I.

Este procedimiento se lleva a cabo en la cámara anecoica del Departamento de Electrónica de la misma universidad, cuyas principales características son:

- Dimensiones de 3x6x3 [m]
- 100 [dB] de blindaje

- 40, 45, 50 [dB] de atenuación para reflexiones internas a 1, 3 y 6 [GHz] respectivamente (absorbente piramidal de banda ancha AEMI AEP18, 775 [W/m^2]).
- Frecuencia de Operación de hasta 20 [GHz]

De esta manera, se evitan las reflexiones y, por lo tanto, emular las condiciones que se darían en un campo libre; a fin de obtener mediciones comparables. Luego, para hacer posible todo este proceso, se enlistan a continuación los equipos, antenas y otros instrumentos utilizados:

- Agilent Technologies E8257D: Generador de señales análogo programable que trabaja en el rango entre 250 [KHz] y 20 [GHz], resolución de onda continua (CW) de 0,001 [Hz], con un nivel de precisión para amplitudes entre -10 y 0 [dBm] de ±0,8 [dB] para frecuencias entre 2 y 20 [GHz].
- Anritsu MS2711E: Analizador de espectro que cubre la banda de frecuencia desde 9 [KHz] hasta 3 [GHz], span entre 10 [Hz] y 3 [GHz], ancho de banda de resolución desde 100 [Hz] hasta 3 [MHz], precisión de amplitud de ±1,25 [dB] para frecuencias entre 100 [KHz] y 3 [GHz] y precisión de frecuencia < ±1,5 ppm.
- Rohde & Schwarz FSP7: Analizador de espectro con rango de frecuencia entre 9 [MHz] y 7 [GHz], frecuencia de resolución de 0,01 [Hz], span entre 10 [Hz] y 7 [GHz], ancho de banda de resolución desde 1 [Hz] hasta 10 [MHz], precisión de amplitud menor a 2 [dB] (desviación estándar de 0,7 [dB]) para frecuencias entre 3 y 7 [GHz].
- RF Explorer 3G Combo/6G Combo: Analizador de espectro descrito anteriormente.
- Satimo QH800: Antena Horn de tipo Open Boundary Quad-Ridge que es utilizado para frecuencias entre 0,8 y 12 [GHz], con ganancia entre 5 y 15 [dBi], polarización linear dual, presenta una impedancia de 50 [Ohm] y ROE menor a 1,9.

- Rohde & Schwarz HF906: Antena Horn de tipo Waveguide Double-Ridge que aborda frecuencias entre 1 y 18 [GHz], con ganancia entre 7 [dBi] y 14 [dBi], polarización lineal, presenta una impedancia de 50 [Ohm] y ROE menor a 1,5.
- Whip Rubber 2.4GHz: Antena descrita anteriormente.
- Rubber Duck 5.8GHz: Antena descrita anteriormente.
- Rohde & Schwarz HZ-1: Trípode de madera con soporte de antena con tornillo prisionero de 1/4'', con articulación de bola universal de metal ligero inclinable a ±25° y con altura ajustable para cada pata del trípode de dos secciones, entre 83 y 136 [cm].
- Fancier FT-3950: Trípode en aleación de aluminio, de altura ajustable entre 61 [cm] y 155 [cm], con sistema de nivelación de burbuja y patas antideslizantes de goma.
- Pasternack RG400: Cable coaxial flexible y doble blindado con forro FEP, impedancia de 50 [Ω], frecuencia de operación hasta 12,4 [GHz] y largo 3,2 [m].

A continuación, en la Figura 4.3 y Figura 4.4 se muestra el interior de la cámara anecoica donde se hace la validación del equipo de monitoreo:

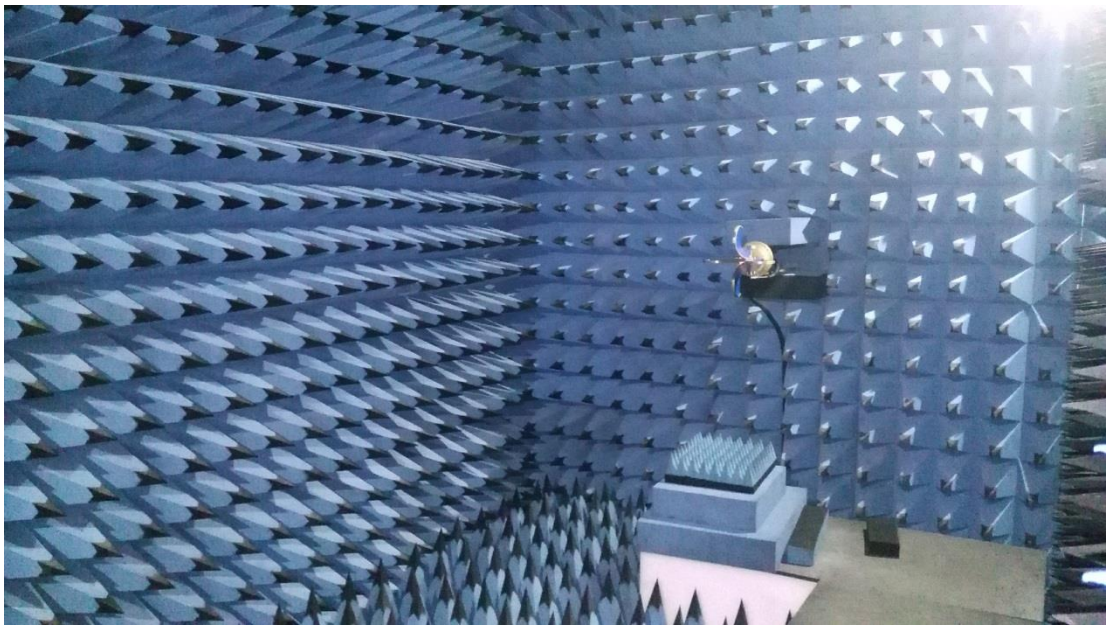


Figura 4.3: Interior de cámara anecoica, vista desde la entrada hacia la antena transmisora

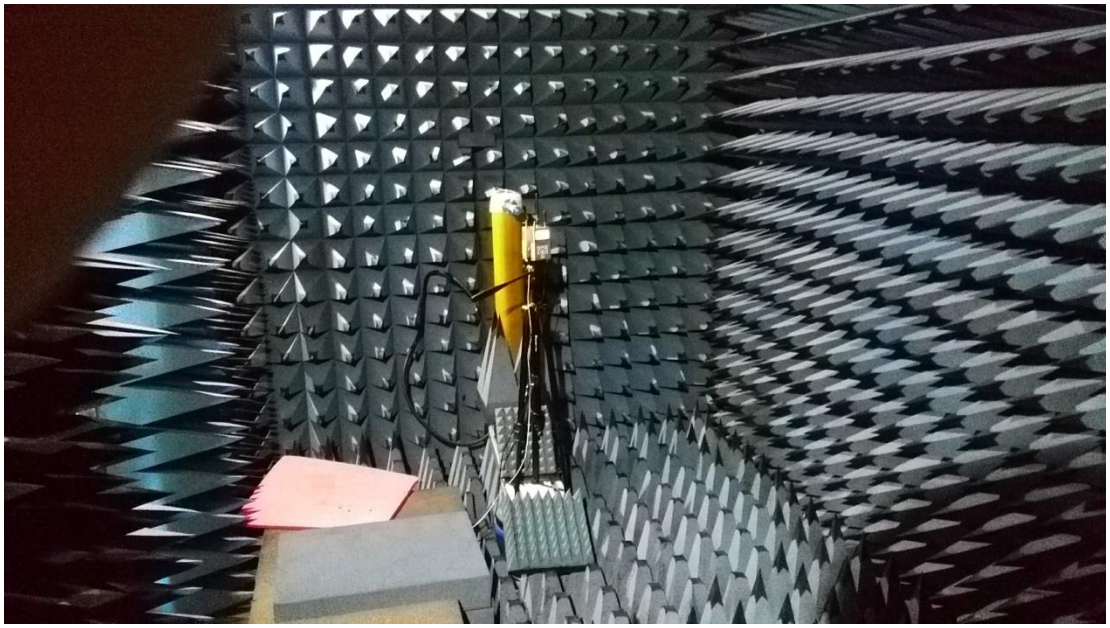


Figura 4.4: Interior de cámara anecoica, vista desde el lado de la antena transmisora hacia el equipo de monitoreo

De acuerdo al procedimiento definido, primero se fija la antena transmisora Satimo QH800 al soporte que dispone la cámara y luego se le conecta el cable que

conecta el generador de señales Agilent Technologies E8257D con la antena. La conexión en la antena se hace mediante el puerto llamado “Lower Port”, para obtener una polarización vertical, de acuerdo a la polarización vertical de la antena receptora del equipo de monitoreo. La antena Rx se ubica a 3,7 [m] en línea recta frente a la antena Tx, y con la ayuda del trípode Fancier FT-3950 se la ajusta para obtener la altura de la misma antena Tx. Luego, se envía una señal de 0 [dBm] en la frecuencia central de interés para cada rango especificado previamente, a través del generador de señales y se mide la señal que se le inyecta a la antena Tx, utilizando el AE Anritsu MS2711E para la banda de los 2,4 [GHz] y el AE R&S FSP7 para la banda de los 5 [GHz]. Seguidamente, se obtienen las mediciones capturadas por el equipo de monitoreo, haciendo la prueba para distintas posiciones debido a que se han realizado las mediciones con ambos equipos fijados en el trípode; de esta forma se puede observar si hay una diferencia significativa en las mediciones, lo que puede incidir de mala manera a las mediciones en su totalidad. Las distintas posiciones consisten en ambas antenas perfiladas de frente hacia antena Tx, la antena Whip Rubber 2.4GHz (antena pequeña) perfilada de frente hacia la antena Tx y la antena Rubber Duck 5.8GHz (antena grande) detrás de ésta y la antena Rubber Duck 5.8GHz perfilada de frente hacia la antena Tx y la antena Whip Rubber 2.4GHz detrás de ésta. En la Tabla 4.4 se muestran los resultados y detalles de estas mediciones:

Tabla 4.4: Resultados y detalles del la primera medición

Frec. Central [MHz]	Pot. inyectada a la antena Tx [dBm]	Pot. que se le envía a la antena Tx [dBm]	Pot. medida por AEs RF Explorer 3G Combo/6G Combo [dBm]			
			Rx (ambas antenas de frente al Tx)	Rx (grande de frente; pequeña detrás)	Rx (pequeña de frente; grande detrás)	Promedio
2.437	-2,64	0	-46,80	-48,30	-44,30	-46,15
5.200	-4,14	0	-57,30	-59,00	-58,30	-58,14
5.250	-4,20	0	-57,80	-59,00	-59,30	-58,65
5.300	-4,00	0	-55,30	-55,80	-56,80	-55,92
5.775	-4,30	0	-63,30	-65,00	-66,00	-64,62

Se puede observar de la tabla que los valores medidos para la potencia inyectada a la antena Tx son distintos a los enviados a ésta, esto se explica por la atenuación que existe en el cable de conexión entre el generador de señales y la antena, de acuerdo a las frecuencias centrales. Con respecto a los valores medidos por el RF Explorer, según el perfil que se tiene de las antenas Rx con respecto a la antena Tx, presentan variaciones menores a 3 [dB], por lo que, para el cálculo experimental, se utiliza el promedio de los tres perfiles de las antenas según la ecuación (4.1) y (4.2), de manera de simular a grandes rasgos el caso realista, donde se tienen rayos incidentes desde todos lados:

$$\overline{P_{mW}} = \frac{\sum 10^{P_{dBm}/10}}{3} \tag{4.1}$$

$$\overline{P_{dBm}} = 10\log(\overline{P_{mW}}) \tag{4.2}$$

En la Figura 4.5 se observan los resultados de acuerdo a los cálculos utilizando la ecuación de Friis, comparándose con lo medido por el equipo de monitoreo:

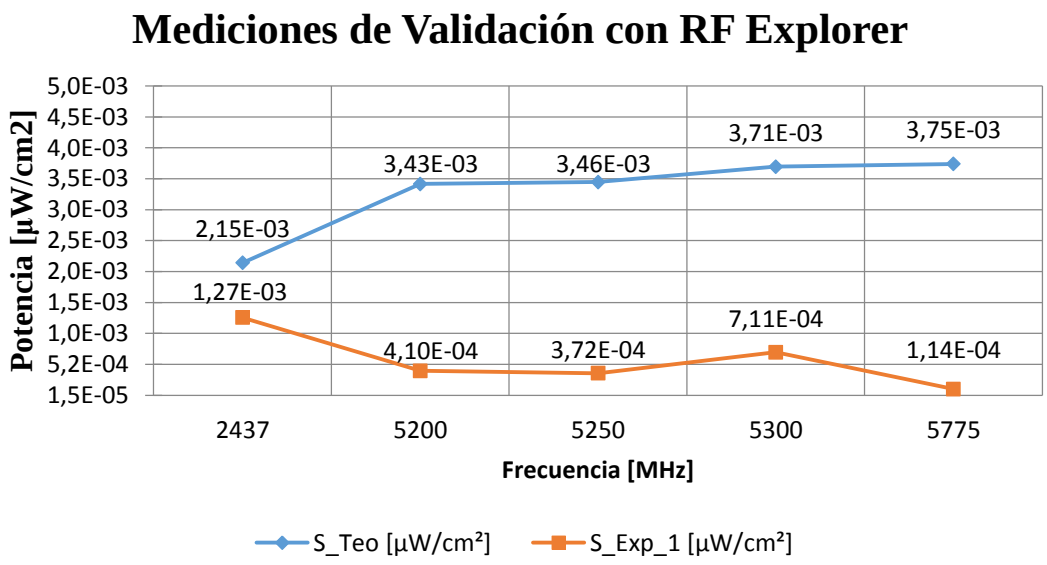


Figura 4.5: Resultados primera medición de validación

De acuerdo a la Figura 4.5 y utilizando la ecuación (4.3), se tienen errores entre 2,29 y 15,18 [dB]:

$$\text{Error [dB]} = 10 \log\left(\frac{P_{Teo}}{P_{Exp}}\right) \quad (4.3)$$

lo cual se le puede asociar a errores por parte de las antenas, ya que no se especifica la ganancia según la frecuencia a trabajar y se ha asumido una misma ganancia según la banda 2,4 [GHz] (2 [dBi]) y 5 [GHz] (1,5 [dBi]). Además, por lo anteriormente indicado, el perfil de las antenas y al estar juntos ambos equipos RF Explorer fijados en el trípode, puede inducir errores en la medición, además de lo que supone la Ecuación de Friis.

Consecutivamente, de forma experimental, se realiza mediciones utilizando una antena de referencia, para así obtener resultados comparables en la realidad, ya que las comparaciones efectuadas con la Ecuación de Friis supone un caso ideal de medición, como Campo Lejano, medio en vacío, medición en línea directa, sin rebotes, etc. Por lo que, con la ayuda del trípode R&S HZ-1 se le fija la antena R&S HF906, se ajusta a la altura y distancia igual a lo perpetrado con el equipo de monitoreo y, utilizando el cable Pasternack RG400, se lo conecta al equipo para ir midiendo lo obtenido por la antena Rx. Se debe señalar que el cable también pasa por un proceso de validación, donde se le ha medido las pérdidas que conlleva el recorrido de la señal en este, utilizando el analizador de redes Agilent Technologies E5071C. En la Tabla 4.5 se muestran los resultados de la medición de la atenuación del cable utilizado y lo medido por la antena de referencia, tomando en cuenta la atenuación del cable y sin tomarse en cuenta:

Tabla 4.5: Atenuación del cable Pasternack RG400 en la frecuencia de interés

F_C [MHz]	P_{RxExp} con cable [dBm]	Pérdidas del Cable [dB]	P_{RxExp} sin Cable [dBm]
2.437	-40,90	-2,65	-38,25
5.200	-43,40	-3,95	-39,45
5.250	-43,20	-4,35	-38,85
5.300	-43,00	-3,85	-39,15
5.775	-43,50	-3,75	-39,75

De manera similar a lo realizado en la primera medición, en la Figura 4.6 se exhiben los resultados de las mediciones, comparándose lo teórico con lo medido por la antena de referencia:

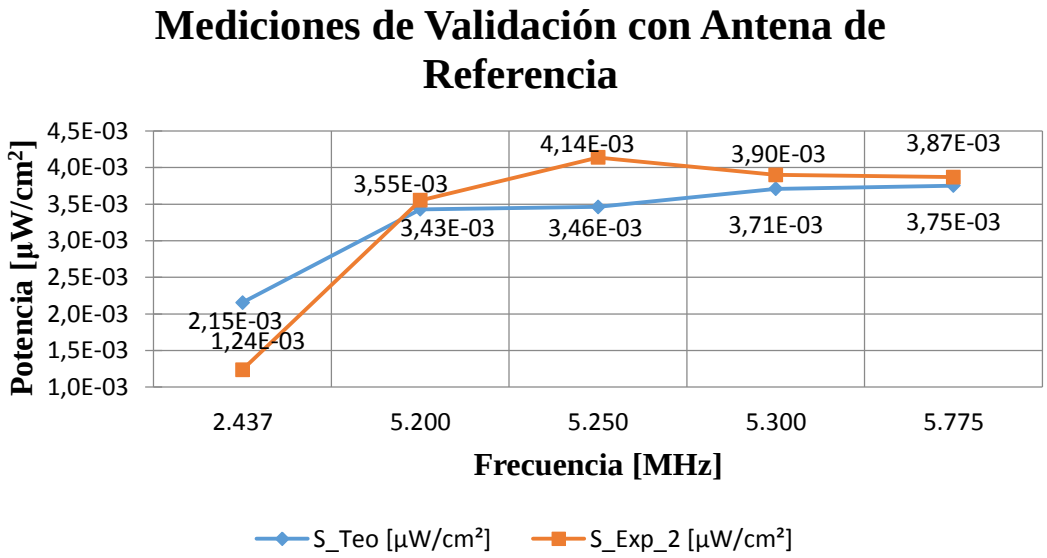


Figura 4.6: Resultados segunda medición de validación

Conforme a la Figura 4.6 y utilizando la ecuación (4.3), se puede observar que se tienen errores entre -0,13 y 2,41 [dB], lo cual indica que lo práctico se acerca fielmente a lo teórico; esto se encuentra dentro de lo esperado.

Finalmente, en la Figura 4.7 se realiza la comparación entre las mediciones del equipo de monitoreo con la antena de referencia, de manera de realizar las correcciones correspondientes para cada frecuencia de interés:

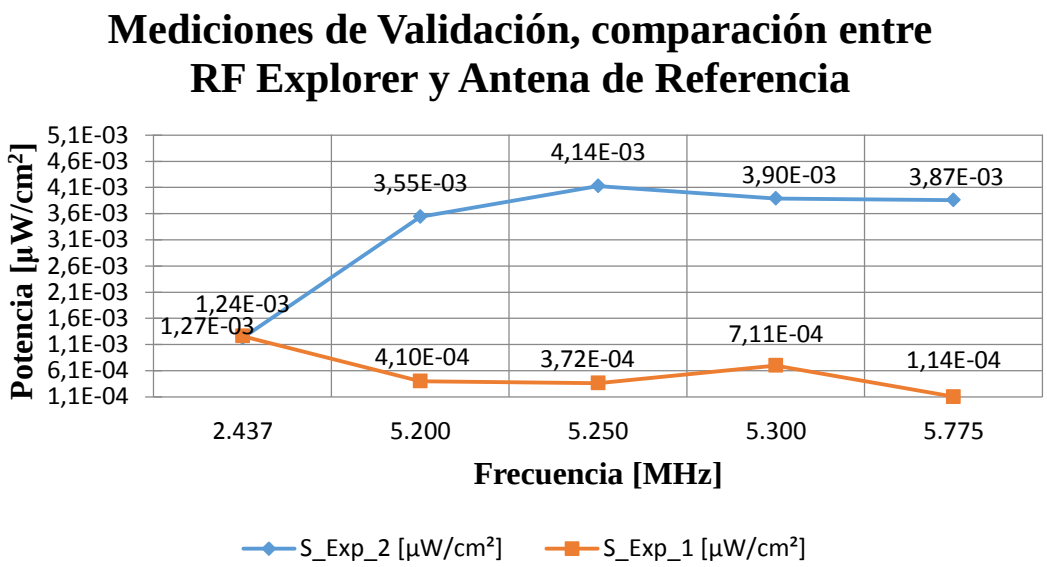


Figura 4.7: Comparación entre mediciones entre el equipo de monitoreo (S_Exp_1) y antena de referencia (S_Exp_2)

Acorde a la Figura 4.7 y utilizando la ecuación (4.3), se puede observar que se tienen errores entre -0,12 y 15,31 [dB]. La Tabla 4.6 resume las correcciones que, en conclusión, se le deben hacer a los datos medidos, los cuales forman parte de lo que posteriormente se realiza en el procesamiento de estos datos obtenidos:

Tabla 4.6: Corrección de acuerdo a la comparación entre antena de referencia y equipo de monitoreo

F_C [MHz]	Corrección [dB]
2.437	-0,12
5.200	9,37
5.250	10,46
5.300	7,39
5.775	15,31

Si bien para la frecuencia de los 2.437 [MHz] es despreciable la corrección que se le debe aplicar, las otras frecuencias de interés presentan un alto margen de error, esto debido a lo anteriormente mencionado. Conocer los distintos parámetros de una antena y cómo actúan frente a distintas frecuencias de operación puede incidir de esta manera en los resultados, pero con la ayuda de este procedimiento de validación, es

posible realizar la corrección deseada para calibrar el equipo, con la ayuda de software, corregir sus mediciones y hacerlas confiables y certeras.

4.4. Metodología y Procedimientos de Medición

En este subcapítulo se aborda concisamente la normativa tanto internacional como nacional, que tienen efecto directo en esta materia. Además, dentro de las recomendaciones especificadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), se ha tomado en cuenta la que presenta mayor coherencia con el trabajo, entre otras razones que se explican más adelante.

4.4.1. Normativa Internacional

En este ámbito, existen varias entidades que recomiendan ciertos límites de exposición a la radiación electromagnética no-ionizante, a nivel de cada continente, subcontinente o países, de modo que cada país pueda elegir entre cuál o cuáles de estas seguir. Entre ellas, se puede encontrar la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones), IEEE, ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares), NRPB (Junta Nacional de Protección Radiológica), ICNIRP, etcétera; de manera que se ha elegido ésta última (ICNIRP) para abordar el tema de los límites de la REM, ya que es la que se basa principalmente la normativa nacional chilena para regular las emisiones, entre otras materias relacionadas. Asimismo, se ha visto en publicaciones anteriores y estudios que la han elegido por su rigurosidad y precisión, en cuanto a los resultados expuestos y fijados en sus directrices. Incluso, la IARC también hace referencia a ésta en sus comunicados e investigaciones.

La ICNIRP es una comisión científica independiente creada en 1992 por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA) con el objetivo de proporcionar asesoramiento y orientación científica sobre los efectos en la salud y el medio ambiente de la Radiación No- Ionizante (RNI), y así, proteger a las personas y el medio ambiente de la exposición perjudicial de la RNI. Tiene como función: investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de RNI, desarrollar recomendaciones internacionales sobre límites de exposición para las RNI,

y tratar todos los aspectos sobre protección contra las RNI. En base a la protección de la salud de las personas, la ICNIRP ha publicado: "Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos Variables (Hasta 300 [GHz])", donde se establecen los límites de exposición a la REM con el objetivo de proveer protección contra efectos adversos a la salud conocidos. En ella, se especifican dos clases de recomendaciones y sus respectivas limitaciones a la RNI:

- Restricciones Básicas: Restricciones a la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo que están basados directamente en los efectos en la salud. Dependiendo de la frecuencia del campo, las cantidades físicas usadas para especificar estas restricciones son la densidad de corriente (J), la tasa de absorción específica de energía (SAR), y la densidad de potencia (S). En la Tabla 4.7 se muestran las restricciones básicas establecidas para el rango de frecuencia donde se ubican las frecuencias de interés del presente trabajo. En este rango, los valores son proveídos en términos del SAR para prevenir el estrés térmico de todo el cuerpo y un calentamiento localizado excesivo en los tejidos.

Tabla 4.7: Restricciones Básicas, para SAR, para frecuencias entre 10 [MHz] y 10 [GHz]

Tipo de Exposición	SAR promedio en todo el cuerpo [W/Kg]	SAR localizado cabeza y tronco [W/Kg]	SAR localizado (extremidades) [W/Kg]
Exposición Ocupacional	0,4	10	20
Exposición a Público en General	0,08	2	4

De la tabla, Exposición Ocupacional se refiere a adultos que generalmente están expuestos bajo condiciones conocidas y que son entrenados para estar conscientes del riesgo potencial y para tomar las protecciones adecuadas. En cuanto a Exposición a Público en General, ésta se refiere a individuos de todas las edades y de estados de salud

variables, y puede incluir grupos o individuos particularmente susceptibles. Generalmente desconocen su exposición y no se espera que tomen precauciones para minimizar o evitar la exposición. Debido a esto, es que la restricción es más estricta, en comparación con la Exposición Ocupacional. Por último, los valores expuestos son promediados sobre cualquier periodo de 6 [m] y la masa, para promediar el SAR localizado, es cualquier tejido contiguo de 10 [g]; el máximo SAR así obtenido, debe ser el valor usado para la estimación de la exposición.

- Niveles de Referencia: Proporcionados para propósitos de evaluar en forma práctica las exposiciones, para determinar si es probable que las restricciones básicas sean excedidas. Las cantidades derivadas son la intensidad de campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H), la densidad de flujo magnético (B), la densidad de potencia (S) y las corrientes que fluyen a través de las extremidades (IL). Si los valores medidos o calculados exceden los niveles de referencia, no necesariamente son excedidas las restricciones básicas. Sin embargo, siempre que un nivel de referencia sea excedido, es necesario evaluar el cumplimiento de la restricción básica relevante y determinar si son necesarias medidas de protección adicionales. En la Tabla 4.8 se muestran los niveles de referencia establecidos para el rango de frecuencia donde se ubican las frecuencias de interés del presente trabajo:

Tabla 4.8: Niveles de Referencia, para campos elétricos y magnéticos (valores rms no perturbados), para frecuencias entre 2 [GHz] y 300 [GHz]

Tipo de Exposición	Intensidad de Campo Eléctrico [V/m]	Intensidad de Campo Magnético [A/m]	Densidad de Flujo Magnético [μT]	Densidad de Potencia [$\mu W/m^2$]
Exposición	137	0,36	0,45	5.000

Ocupacional				
Exposición a Público en General	61	0,16	0,20	1.000

De la tabla, en este rango de frecuencias (específicamente entre 100 [KHz] y 10 [GHz]), S_{eq}, E^2, H^2 y B^2, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 [m]. Por último, estos niveles también son recomendados por la ITU.

4.4.2. Normativa Nacional

En este caso, existe solamente la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SubTel), organismo dependiente del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) y creado en 1977. Su trabajo está orientado en coordinar, promover, fomentar y desarrollar las telecomunicaciones en Chile, transformando a este sector en motor para el desarrollo económico y social del país; siendo sus objetivos: Disminuir la brecha digital y potenciar la inclusión ciudadana, defensa a los usuarios de telecomunicaciones, aumentar la calidad de servicios en las telecomunicaciones, impulsar la competencia para el desarrollo de la sociedad de la información e infraestructura con sentido para el desarrollo digital y espacial. Tiene como principales funciones proponer las políticas nacionales en materias de telecomunicaciones, de acuerdo a las directrices del Gobierno, ejercer la dirección y control de su puesta en práctica, supervisar a las empresas públicas y privadas del sector en el país, controlado el cumplimiento de las leyes, reglamentos y normas pendientes.

En base a todo lo que compete (de nuestro interés) la regulación: Declarar una determinada zona geográfica como zona saturada de sistemas radiantes de telecomunicaciones, cuando la densidad de potencia exceda los límites que determine la normativa técnica dictada por la SubTel o el organismo que la reemplace (Ministerio del Medio Ambiente); Establecer los requisitos de seguridad aplicables a las instalaciones de servicio de telecomunicaciones que generen ondas electromagnéticas correspondientes a los servicios en ellas indicados; Actualizar y complementar la normativa ya existente, de manera de cautelar efectivamente el

cumplimiento de la normativa referida a los anunciados anteriormente, con el deber de establecer los protocolos de medición correspondientes, en base a los estándares que sobre la materia hubiere adoptado la Unión Europea; Determinar los límites máximos de densidad de potencia en cada caso, con respecto a la exposición a radiaciones. El MTT, por medio de la SubTel, declara en su norma "Resolución 3103 Exenta", del 12 de junio de 2012: "Modifica Resolución Nº 403 Exenta, de 2008, Norma Técnica Sobre Requisitos de Seguridad Aplicables a las Instalaciones y Equipos que Indica, de Servicios de Telecomunicaciones que Generan Ondas Electromagnéticas, Fijando Texto Refundido de la Misma" donde se establecen los límites de REM en Chile y que, actualmente, es la normativa que rige (inicio de vigencia 24/04/2015). En ésta, la Tabla 4.9 expone los límites que se ha fijado para la frecuencia de interés:

Tabla 4.9: Valores límite (rms), en Densidad de Potencia, para frecuencias entre 2,2 [GHz] y 300 [GHz]

Tipo de Zona o Área	Densidad de Potencia [$\mu W/cm^2$]
Zona de Libre Acceso	1.000
Zona Urbana	100
Área Sensible	10

De la tabla, Zona de Libre Acceso se refiere al acceso no limitado por obstáculos naturales o dispuestos por el hombre, de modo que las personas, en general, puedan circular libremente sin mediar escalamiento de infraestructuras, sorteo de cierres o de elementos dispuestos como protección. En cuanto a Zona Urbana, ésta se refiere a la zona que está dentro de los límites urbanos aprobados por la Municipalidad y Decreto Supremo de acuerdo a la ley. Presentan concentradamente características de tipo urbano en lo que se refiere a uso y ocupación del suelo, densidad, servicios y funciones. En cuanto a Área Sensible, se refiere a los establecimientos descritos en [4].

Además, según el artículo 4° del mismo, cuando existan contribuciones de intensidad de campo eléctrico o densidad de potencia, provenientes de múltiples antenas de estaciones base o fijas de dos o más sistemas, deberá cumplirse lo siguiente de la ecuación (4.4), con (4.5) o (4.6), según corresponda:

$$\sum_{f=9\,[KHz]}^{300\,[GHz]} R_f \leq 1 \tag{4.4}$$

$$R_f = \frac{S_i}{S_m} \tag{4.5}$$

$$R_f = \left(\frac{E_i}{E_m}\right)^2 \tag{4.6}$$

donde S_i es el valor medido de densidad de potencia a la frecuencia f, S_m es el valor máximo permitido de densidad de potencia a la frecuencia f, obtenido de la aplicación de la Tabla 4.9, E_i es el valor medido de intensidad de campo eléctrico a la frecuencia f y E_m es el valor máximo permitido de intensidad de campo eléctrico a la frecuencia f, obtenido de la aplicación de la Tabla 4.9.

4.4.3. Recomendación UIT-T K.83 "Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético" [29]

Las organizaciones internacionales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), entre otras, proporcionan normas internacionales y marcos regulatorios para la gestión de la exposición humana a los campos electromagnéticos que emiten los equipos de telecomunicaciones, y también ofrecen directrices para su evaluación. En particular, la presente recomendación facilita indicaciones sobre la manera de efectuar mediciones a largo plazo para el control de CEMs en zonas de interés público, con el propósito de mostrar que esos campos están bajo control y dentro de los límites previstos. El objetivo es ofrecer al público en general, datos claros y de fácil acceso sobre niveles de campo electromagnético expresados en forma de resultados de una medición continua.

Según el informe "Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético - Aplicación de la Recomendación UIT-T K.83" [30], presentado en septiembre de 2015 para la conmemoración de los 150 años de la UIT y bajo el eje del Cambio Climático, se describe y analiza la aplicación práctica de la Recomendación UIT-T K.83 "Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético"

(RK.83) en la región latinoamericana. Éste, muestra los sistemas de monitoreo continuo que se han instalado en Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, El Salvador y Uruguay, así como las políticas aplicadas a nivel gubernamental en cuanto a la aplicación práctica de la RK.83. Adicionalmente, se analizan algunas decisiones de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL), de la Organización de los Estados Americanos (OEA) y de la Comisión Técnica Regional de Telecomunicaciones (COMTELCA) de Centroamérica, quienes avalan la aplicación de la RK.83 como instrumento viable para resolver esta problemática. Finalmente, se muestra cómo el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales puede ayudar a controlar y mitigar las causas originarias de la aprehensión popular sobre los CEMs, facilitando la gestión de la aceptación social a las instalaciones de nuevas tecnologías inalámbricas. Se destaca la necesidad de una política de comunicación adecuada que involucre a las autoridades locales, regionales, nacionales y a los operadores de telecomunicaciones para lograr estos objetivos. A partir de la experiencia exitosa latinoamericana, el informe está destinado a convertirse en una referencia para las autoridades nacionales y locales para la evaluación de la exposición humana a los CEM que emiten los equipos de telecomunicaciones, en virtud de la aplicación práctica de la RK.83.

En base a lo expuesto anteriormente es que se ha tomado en cuenta esta recomendación para hacer valer las mediciones a realizar.

4.5. Ejecución de Mediciones

Conforme a las mediciones, a continuación se enlistan los lugares y puntos de medición donde fueron realizadas estas, detallando la metodología y procedimientos de medición utilizados en ellas y, finalmente, el procesamiento de los datos obtenidos.

4.5.1. Lugares y Puntos de medición

Los lugares, junto a su dirección, y puntos de medición escogidos para realizar la campaña de medición se detallan en la Tabla 4.10 y, en la Figura 4.8, se encuentra el mapa donde se ubican estos puntos de medición:

Tabla 4.10: Lugares y Puntos de Medición escogidos

Lugar de Medición	Dirección	Coordenada Punto de Medición (Lat., Long.)	Tipo de Zona o Área
Agua Santa - Paradero 5	Av. Agua Santa s/n, Viña del Mar	-33.049622, -71.559635	Zona Urbana
Patio de Jardín Infantil ''Aprendemos Jugando''	Calle de Servicio s/n, Viña del Mar	-33.048196, -71.563572	Área Sensible
Patio de Jardín Infantil ''Snoopy''	Av. Placeres 438, Valparaíso	-33.036720, -71.594814	Área Sensible
Sala de Espera en Consultorio Adosado del Hospital “Carlos Van Buren”	San Ignacio 725, Valparaíso	-33.050550, -71.610346	Área Sensible
5to Piso en Clínica “Ciudad del Mar”	13 Norte 635, Viña del Mar	-33.009667, -71.549589	Área Sensible
Patio de Comidas en Centro Comercial “Mall Marina”	14 Norte 821, Viña del Mar	-33.009039, -71.547260	Zona Urbana
Oficina en Edificio “Torre Coraceros”	Av. Libertad 1405, Of. 301, Viña del Mar	-33.007545, -71.548788	Zona Urbana

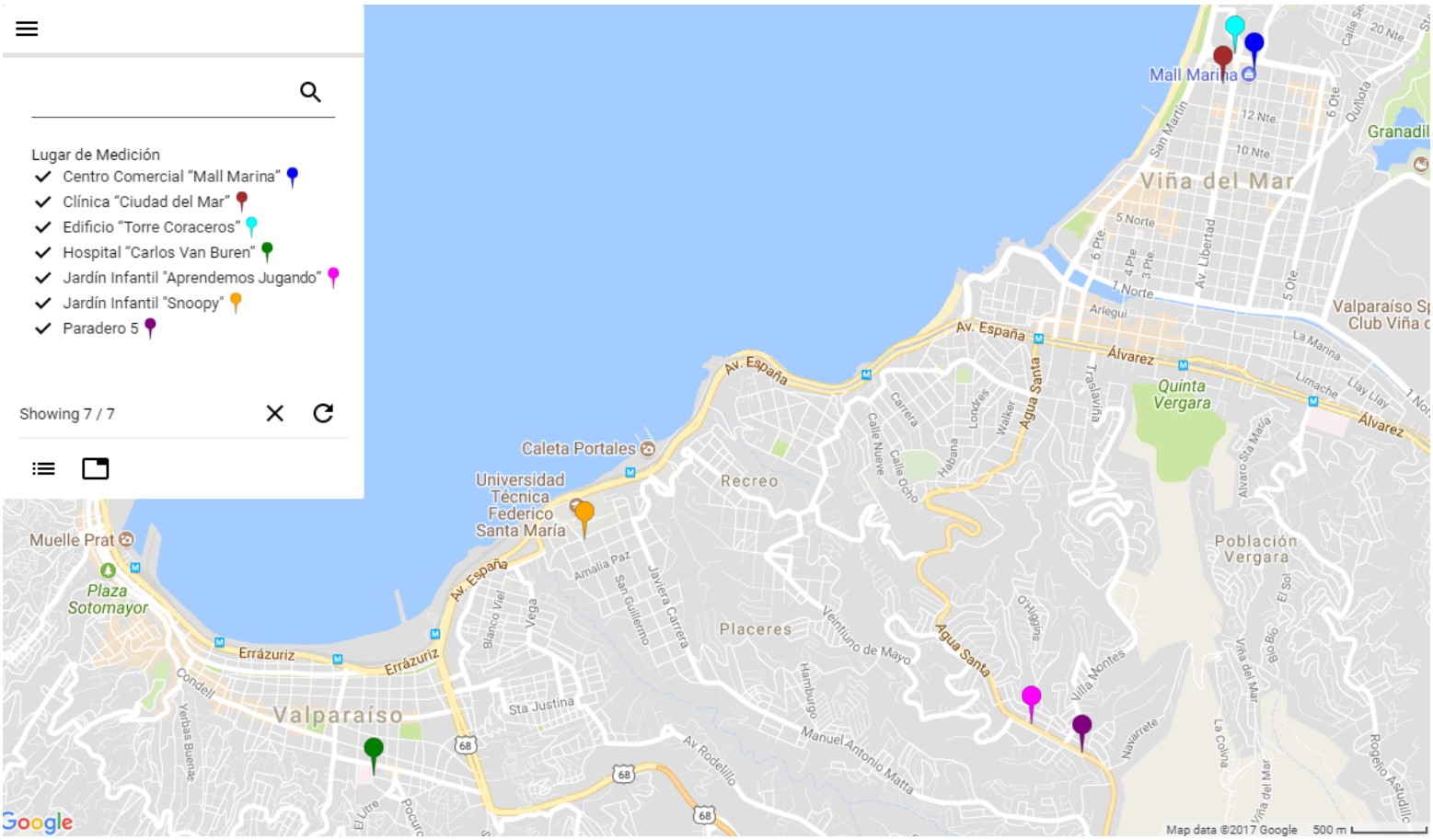


Figura 4.8: Mapa de los puntos de medición escogidos

En estos espacios, se debe aclarar que la metodología y procedimiento de medición ejecutado fue acotado según las especificaciones dadas por cada encargado del lugar, las características del sitio, las necesidades en cada uno de estos y las características del equipo de monitoreo. De esta manera, antes de cada una de las mediciones, se establece una reunión previa para consultar al encargado su aprobación para realizar la medición, las indicaciones y sugerencias que establece tanto el/la encargado/a como nosotros y visita al lugar tentativo para realizar las mediciones.

A modo general, se realiza la siguiente inspección en cada punto de medición al momento de elegirse:

- Localización de suministros de red eléctrica para los equipos.
- Lugar y horario que presente alto tránsito de personas.

- Muebles o disponibilidad de utilizar muebles propios para desplegar los equipos.
- Lugar de libre circulación para las personas, sin interferir u obstruir en el paso de ellas.
- Punto, si es posible, que esté lejos de paredes o similares sino, en el lugar central del sitio de medición.

Ya instalados en el punto de medición, se desactivan los adaptadores de red Wi-Fi de los dispositivos y se fijan los equipos RF Explorer 3G Combo (RFE3GC) y 6G Combo (RFE6GC) en el trípode, a una altura de 1,5 [m] sobre el piso. Cada equipo tiene conectado su respectiva antena en la entrada SMA correspondiente, RFE3GC con Antena Whip 2,4 [GHz] en la entrada derecha y RFE6GC con Antena Rubber Duck 5,8 [GHz] en la entrada izquierda y una carga de 50 [Ω] en la entrada SMA sobrante de cada aparato. Los aparatos son ajustados con los siguientes parámetros:

- Calculator: Max Hold (en el equipo se muestra el efecto de este modo, pero las trazas se graban como si estuviese en modo Normal)
- Offset dB: +000
- Units: dBm
- USB Baud: 500 [Kbps]
- Draw Mode: Vectors
- Marker: Peak
- DSP: Auto

Por separado, para RFE3GC:

- Module: 15 – 2.700 [MHz]
- Center Frequency: 2.437 [MHz]
- Frequency Span: 72 [MHz]

Para RFE6GC, se tienen ajustes distintos, según la banda de frecuencias de interés a medir:

- Module: 4,8 – 6,1 [GHz]
- Center Frequency: 5.200 [MHz] / 5.300 [MHz] / 5775 [MHz]

- Frequency Span: 100 [MHz]

En un caso excepcional (Jardín Integra “Aprendemos Jugando”), solo se observa mediante previo rastreo, el uso de la siguiente banda:

- Center Frequency: 5.250 [MHz]
- Frequency Span: 200 [MHz]

Luego, se conectan ambos equipos – mediante USB – al laptop y se abre el software “RF Explorer for Windows” para realizar el control de los aparatos mediante este programa. En seguida, se realiza la toma de muestras, obteniendo 112 frecuencias dentro del rango elegido y, según el “Frequancy Span” escogido, se configura automáticamente el RBW del equipo, llegando a ser 600 [KHz] en RFE3GC y 460 o 650 [KHz] en RFE6GC (span de 100 o 200 [MHz], respectivamente). Finalmente, dentro del horario de medición, se hacen mediciones por un periodo de 30 [min] de cada banda, durante el cual, el tiempo de barrido es de 0,6 [s] en RFE3GC y 0,5 [s] en RFE6GC. El archivo con todas las muestras, de extensión .CSV, es generado, guardado y listo para su procesamiento.

A continuación, se enlistan los lugares elegidos para medir, mostrando la foto del sistema de monitoreo instalado en el punto de medición correspondiente, detallando el horario en el cual se han hecho las mediciones y una breve descripción del entorno. Debe aclararse que todas estas mediciones fueron realizadas en Verano y despejado, óptimo para hacer las mediciones.

4.5.1.1 *Paradero 5*

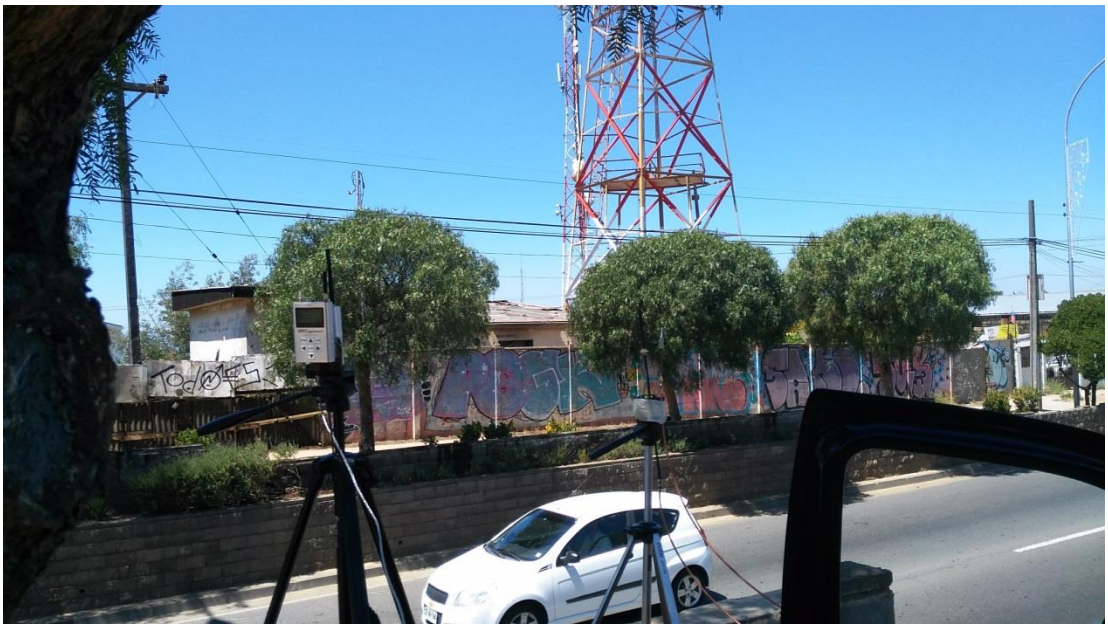


Figura 4.9: Foto en el punto de medición, ubicados en el Paradero 5

Horario de Medición: De 15 hrs. a 17:30 hrs.

Descripción del entorno: Espacio abierto, con ubicación en línea de vista con la antena, ubicada a unos 30 [m] del punto de medición. Alto tránsito de vehículos y con varias casas, locales, iglesia, bomberos, a sus alrededores. El sitio elegido es un bandejón central ubicado al lado de la Avenida Agua Santa, cercano al Paradero 5, en un terreno arenoso a una altura de 4 [m] de la avenida.

4.5.1.2 *Jardín Infantil "Aprendemos Jugando"*

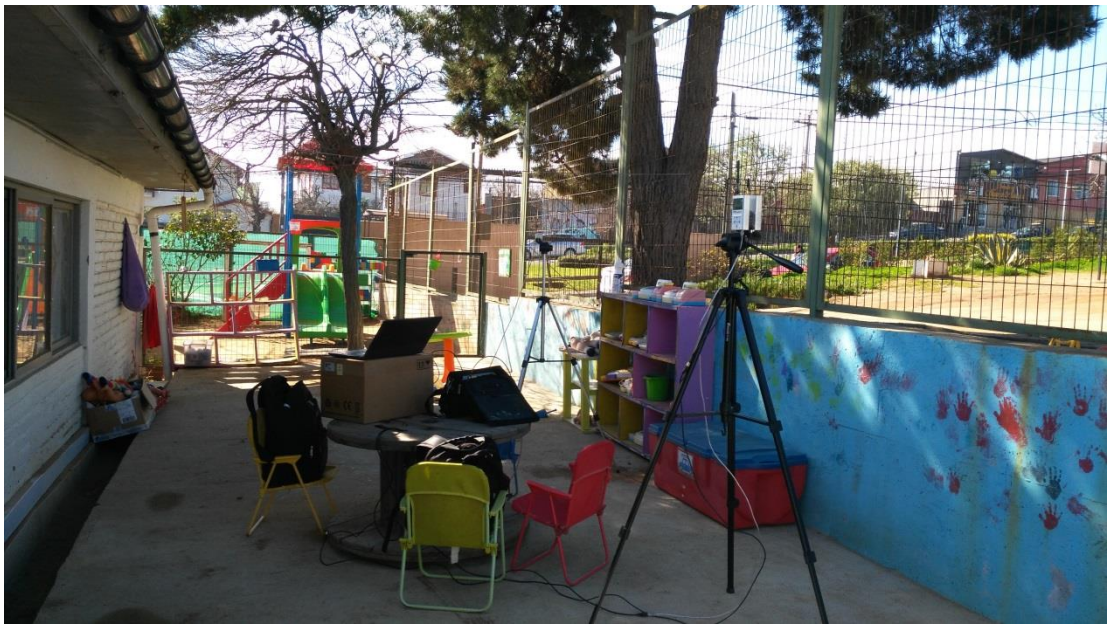


Figura 4.10: Foto en el punto de medición, ubicados en el Jardín Infantil "Aprendemos Jugando"

Horario de Medición: De 12:30 hrs. a 16 hrs.

Descripción del entorno: Ubicados en el patio trasero, el patio tiene dimensiones aproximadas de 3x50[m], con una muralla detrás, reja grillada de metal con línea de vista hacia otra antena de enfrente y libre por los costados. Al costado del jardín se ubica una casa con un terreno amplio y sin mayores obstrucciones, continua a la reja grillada del jardín.

4.5.1.3 *Jardín Infantil "Snoopy"*

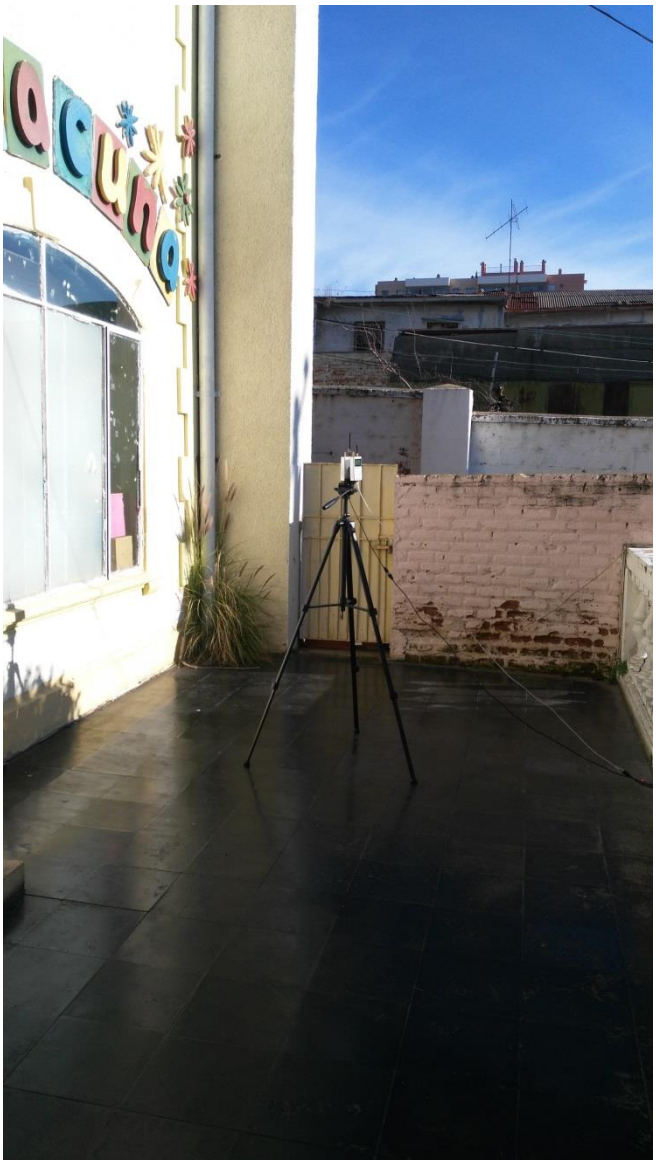


Figura 4.11: Foto en punto de medición, ubicados en el Jardín Infantil "Snoopy"

Horario de Medición: De 14:30 hrs. a 17 hrs.

Descripción del entorno: El punto de medición se encuentra en el frontis del establecimiento, al costado derecho de éste. Ubicado centralmente de la pared y el árbol, con una distancia de separación de 1,5 [m] de cada uno y libre por los costados están los equipos. Además del jardín, se encuentra el Edificio P de la UTFSM al lado y el Edificio C al frente, cruzando la calle, y casas y locales a los alrededores.

4.5.1.4 *Hospital "Carlos Van Buren"*



Figura 4.12: Foto en punto de medición, ubicados en el Hospital "Carlos Van Buren"

Horario de Medición: De 11:30 hrs. a 13:30 hrs.

Descripción del entorno: Recinto cerrado con un solo ambiente, ubicados detrás de la sala de espera, en el primer piso, se encuentran los equipos de medición. El corredor que une la sala de espera con las oficinas o "box" es cercano a 40 [m], siendo la sala de espera un 25% de este y nosotros a la mitad de los 40 [m], con "box" y ventanas al aire libre al frente y detrás, respectivamente. El consultorio tiene 2 pisos y presenta una alta densidad de personas y equipos como laptops, celulares inteligentes, impresoras, entre otros dispositivos con tecnología Wi-Fi.

4.5.1.5 *Clínica "Ciudad del Mar"*



Figura 4.13: Foto en punto de medición, ubicados en la Clínica "Ciudad del Mar"

Horario de Medición: De 12 hrs. a 15 hrs.

Descripción del entorno: Las mediciones fueron realizadas en el piso 5 de la clínica, frente a los asesores, al lado de la puerta del baño, en el pasillo. En este piso está la unidad de neonatología y cerca de los sectores donde se utiliza maquinaria que genera grandes campos electromagnéticos. Al final del pasillo, se encuentra la cafetería, el pasillo debe recorrer alrededor de 30 [m] y es todo un espacio abierto dentro de un mismo piso. La densidad de personas es baja en el sector, pero muy alta tanto en densidad de personas como de equipos, si contamos los otros sectores del mismo piso y los otros pisos restantes.

4.5.1.6 *Centro Comercial "Mall Marina"*



Figura 4.14: Foto en el punto de medición, ubicados en el Centro Comercial "Mall Marina"

Horario de Medición: De 12:30 hrs. a 17 hrs.

Descripción del entorno: El centro comercial alberga hasta 200 tiendas, además de estar en un lugar con casas, edificios con oficinas, otros centros comerciales, clínica, entre otros. Se ha ubicado el sistema para medir, en el sector de Patio de Comidas del centro comercial del tercer piso; un espacio con una alta densidad de personas y, además, servicio para conectarse a la red Wi-Fi de forma gratuita, para la gente que esté en este sitio. El Patio de Comidas se compone de aproximadamente 16 locales a su alrededor, con cientos de mesas y sillas para comer. El lugar presenta pilares, murallas y ventanales hacia el aire libre, y, si bien es en un recinto cerrado, el sector es amplio y abierto dentro del mismo piso y de libre circulación con conexión a otro centro comercial por medio de una pasarela desde este sector.

4.5.1.7 *Edificio "Torre Coraceros"*



Figura 4.15: Foto en el lugar de medición, ubicados en el Edificio "Torre Coraceros"

Horario de Medición: De 12 hrs. a 15:30 hrs.

Descripción del entorno: Se han ubicado los equipos de medición en una oficina del piso 3 del edificio comercial, que cuenta con 20 pisos y 117 oficinas. La oficina dispuesta tiene dimensiones de aproximadamente 2x3 [m], con murallas alrededor, una ventana que da a una terraza al aire libre y la puerta hacia la sala de recepción. El complejo se ubica entre el sector comercial y residencial, con otros edificios residenciales próximos a él y dos centros comerciales, entre otras casas y otros locales.

4.5.2. Procesamiento de los datos obtenidos

Las mediciones obtenidas por los equipos son almacenados en el laptop para luego ser procesados por el software MATLAB versión R2013a. El archivo de extensión .CSV es cargado y trabajado por los códigos adjuntos en el Anexo B**.** Estos códigos varían de acuerdo a los parámetros de las antenas utilizadas, bandas de frecuencia adoptadas, ancho de banda de resolución y función que requiere el procesamiento (sea obtener promedio o el máximo) de acuerdo a los 30 [min] de medición, los cuales, son subdivididos en 5 ventanas contiguas de 6 [min] cada una.

Se debe aclarar que hay casos donde se ha extendido la medición en más de 30 [min], por lo que se exhiben más de 5 ventanas contiguas de 6 [min] cada una. Esto, debido a que no se percata de la duración de la medición y, por ende, no se detiene la toma de muestras por medio del software "RF Explorer for Windows".

A modo general, el código comienza con la declaración de parámetros y fórmulas de acuerdo a la especificación de cada caso antes mencionado. Luego, se carga el archivo .CSV para poder ser decodificado y traducido al lenguaje con el que se pueda entender y trabajar con el programa. El archivo trabajado es una matriz de las 112 frecuencias de la banda seleccionada, junto al número de muestras, fecha y hora de éstas y los valores medidos en [dBm]. Después, se hace la corrección de lectura y la corrección que anteriormente fue descrita en el sub-capítulo de Validación y, a continuación, se hace la conversión [dBm] – [W] a éstos. En seguida, dependiendo de la función que requiere el procesamiento, se consigue obtener el promedio de cada ventana de 6 [min] o el máximo alcanzado en cada una de estas, haciéndose el cálculo de la Densidad de Potencia en [$\mu W/cm^2$] en ellas, a modo de analizar los resultados posteriormente. Por último, se obtienen los resultados mostrados tanto por consola como por gráficos en ventanas desplegadas, donde se observan los gráficos y detalles de cada medición. Y se guardan estas imágenes automáticamente mediante código.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Introducción

En el presente capítulo se exhiben los resultados de las mediciones realizadas en los distintos escenarios antes mencionados y descritos, en sus dos funciones de interés:

1. Promedio: Promedio de las mediciones efectuadas en una ventana de 6 [min], durante 30 [min]. Esto quiere decir que, se consigue obtener 5 ventanas contiguas de 6 [min] con el promedio de las mediciones en cada una de estas ventanas por separado.
2. Máximo: Máximo de las mediciones efectuadas en una ventana de 6 [min], durante 30 [min]. Esto quiere decir que, se consigue obtener 5 ventanas contiguas de 6 [min] con el máximo de las mediciones en cada una de estas ventanas por separado.

Y también en sus distintas bandas de interés, según sea el escenario:

1. Wi-Fi 2.437 [MHz]: 2.401 – 2.473 [MHz].
2. Wi-Fi 5.200 [MHz]: 5.150 – 5.250 [MHz].
3. Wi-Fi 5.300 [MHz]: 5.250 – 5.350 [MHz].
4. Wi-Fi 5.250 [MHz]: 5.150 – 5.350 [MHz].
5. Wi-Fi 5.775 [MHz]: 5.725 – 5.825 [MHz].

De estas mediciones, se elige mostrar los resultados que contribuyen de mayor manera a la potencia radiada total medida en el lugar (destacado en amarillo en las figuras), entre los periodos de 30 [min], según su banda de interés, por lo que las mediciones restantes (otros periodos de 30 [min] de la misma banda, según sea el caso) se disponen en el Anexo C. Se muestra el promedio y máximo alcanzados gráficamente y de manera tabulada, también se muestra el promedio y máximo entre las ventanas contiguas exhibidas según la función utilizada. En el caso de que haya

más de 5 ventanas contiguas, el promedio sigue siendo del primer periodo de 30 [min]. Adicionalmente, se detalla la suma total de las bandas (con mayor contribución a la densidad de potencia total medida en el lugar, es decir, las bandas que están destacadas de color amarillo) y el porcentaje con respecto al límite establecido por la normativa nacional (100 y 10 [$\mu W/cm^2$] para Zona Urbana y Área Sensible, respectivamente). Además, se muestra el periodo de 30 [min] de medición grabado por el software "RF Explorer for Windows", desplegando la traza "Max Hold" durante este periodo y para cada banda de frecuencia de interés, dejando en evidencia lo máximo alcanzado en cada frecuencia del ancho de banda de medición seleccionado, en [dBm], ya que no permite desplegarlo en [$\mu W/cm^2$]. En el caso de mediciones con más de un periodo de 30 [min], esto no se cumple, ya que el programa no permite volver hasta ese momento en esta traza (extrañamente, debido a que para las otras trazas si lo tiene). Es necesario aclarar que en el caso del escenario Jardín Infantil "Aprendemos Jugando" no hubo grabación con software "RF Explorer for Windows", por lo que no se muestra el periodo de medición como en los otros casos.

En cuanto al análisis de resultados, estos se obtienen mediante código por MATLAB, el cual hace uso del archivo de extensión .CSV generado por el equipo de medición y, desglosando los datos que se adquieren, se toman en cuenta solamente de los valores obtenidos, sin discriminar por frecuencias. A modo general, el primer código, adjunto en el Anexo D, comienza con la declaración de parámetros y fórmulas de acuerdo a la especificación de cada caso (banda de frecuencia adoptada, ancho de banda de resolución y correcciones). Luego, se carga el archivo .CSV para poder ser decodificado y traducido al lenguaje con el que se pueda entender y trabajar con el programa. El archivo trabajado, luego de desglosar y conservar lo que interesa, queda como una matriz de todos los valores medidos, en [dBm], de todo el periodo de medición (en los casos donde el periodo de 30 [min] es superado, también se toman en cuenta estos valores). Después, se hace una corrección de lectura y la corrección que anteriormente fue descrita en el sub-capítulo de Validación y, a continuación, se guarda esta matriz de valores en un archivo con extensión .MAT para ser trabajado en

el segundo código. En el segundo código, adjunto en el Anexo E, se carga el archivo .MAT anteriormente generado y se procesa de tal manera de obtener dos gráficas: Histograma y Función de Distribución Acumulada de las muestras obtenidas en función de los valores establecidos por los rangos de potencia en [dBm], junto a los valores mínimo, máximo, promedio, N° de muestras y de divisiones y el valor del 25%, 50%, 75% y 95% de los valores acumulados de estas muestras. Adicionalmente, en el Anexo F se encuentra un código similar al Anexo E, el cual junto con el primer código, es utilizado para realizar una prueba de medición para el piso de ruido del equipo, siendo teóricamente lo detallado por el fabricante, pero en la práctica es mayor (por el ancho de banda de resolución elegido), por lo que utilizando el promedio de la medición realizada por el equipo, durante 1 [min], con ambas entradas SMA conectadas a cargas adaptadas de 50 [Ω], se fija el piso de ruido del equipo. Potencialmente puede ser utilizado para robustecer la precisión de las mediciones realizadas en los escenarios de medición (valores menores al promedio de lo fijado por el piso de ruido se fijan a este valor) y para también reforzar el análisis de resultados (valores menores al promedio de lo fijado por el piso de ruido, se descartan), pero por motivos de tiempo se ha descartado esta opción, aun así, se deja disponible para efectuar. Finalmente, en el tercer código, adjunto en el Anexo G, se carga el archivo .MAT generado por el primer código y se procesa de tal manera de obtener dos gráficas: Función de Distribución Acumulada y Función de Distribución de Probabilidad de las muestras obtenidas en función de los valores establecidos por los rangos de potencia en [dBm], y su respectiva regresión polinomial, utilizando el método de mínimos cuadrados, para obtener una representación fácil de analizar. En este último análisis, se encuentran los coeficientes importantes de la regresión, como lo son: el coeficiente de determinación (r^2), que expresa la correlación entre la función original y su regresión polinomial; y el error cuadrático medio (root mean square error), que asegura la desviación en los datos que se comparan (punto a punto de cada función). Este último análisis no será posible mostrar, por temas de tiempo en cuanto a la adecuación de la regresión polinomial para cada escenario, banda de frecuencia, tipo de función, etc. resulta ser muy extenso; aun así, se deja disponible para efectuar.

En estos análisis de resultados se ha optado por trabajar en [dBm], y no en [$\mu W/cm^2$], por su sencillez en cuanto a los gráficos a mostrar, debido a que trabajar en densidad de potencia no permite distribuir de manera clara los valores, al ser de tamaño muy pequeños, las gráficas no son claras (todo se concentra en unos pocos rango); de manera contraria sucede trabajando en [dBm].

Para resumir, se presenta un análisis estadístico de las mediciones realizadas, mostrando solamente los resultados que contribuyen de mayor manera a la potencia radiada total medida en el lugar (destacado en amarillo en las figuras), entre los periodos de 30 [min], según su banda de interés, por lo que las mediciones restantes (otros periodos de 30 [min] de la misma banda, según sea el caso) se disponen en el Anexo H. Este análisis estadístico solo incluye:

1. Histograma y Función de Distribución Acumulada de las muestras obtenidas en función de los valores establecidos por los rangos de potencia en [dBm]. También los valores mínimo, máximo, promedio, N° de muestras y de divisiones y el valor del 25%, 50%, 75% y 95% de los valores acumulados de estas muestra.

5.2. Resultados

5.2.1. Paradero 5

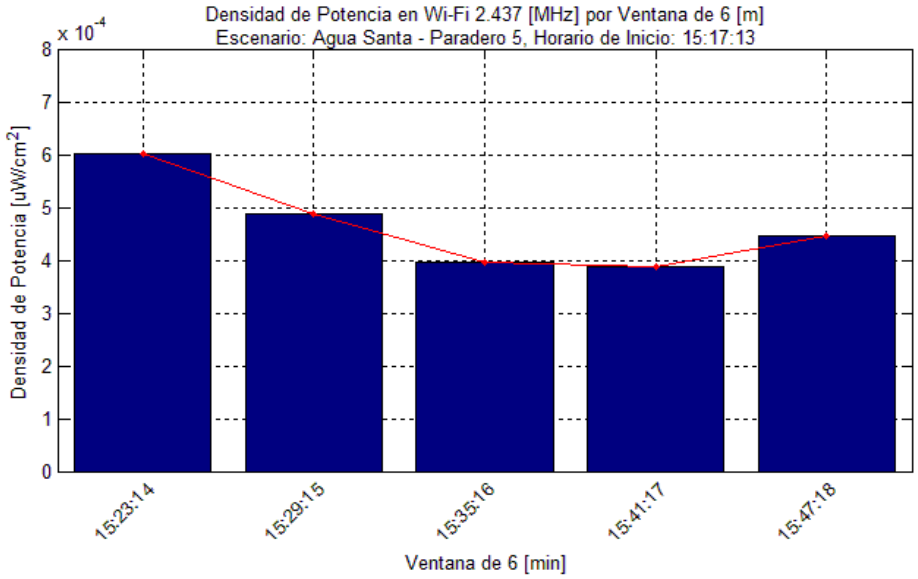


Figura 5.1: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

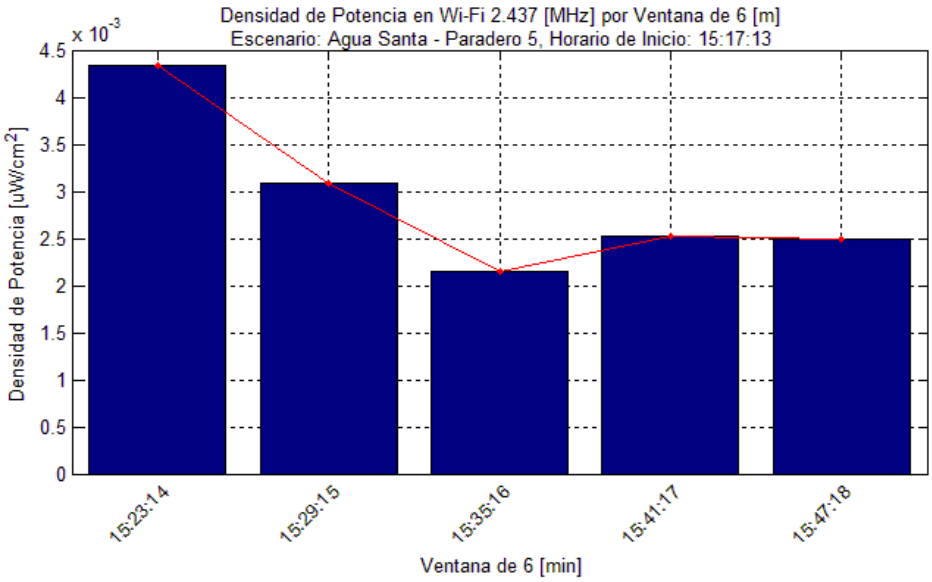


Figura 5.2: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

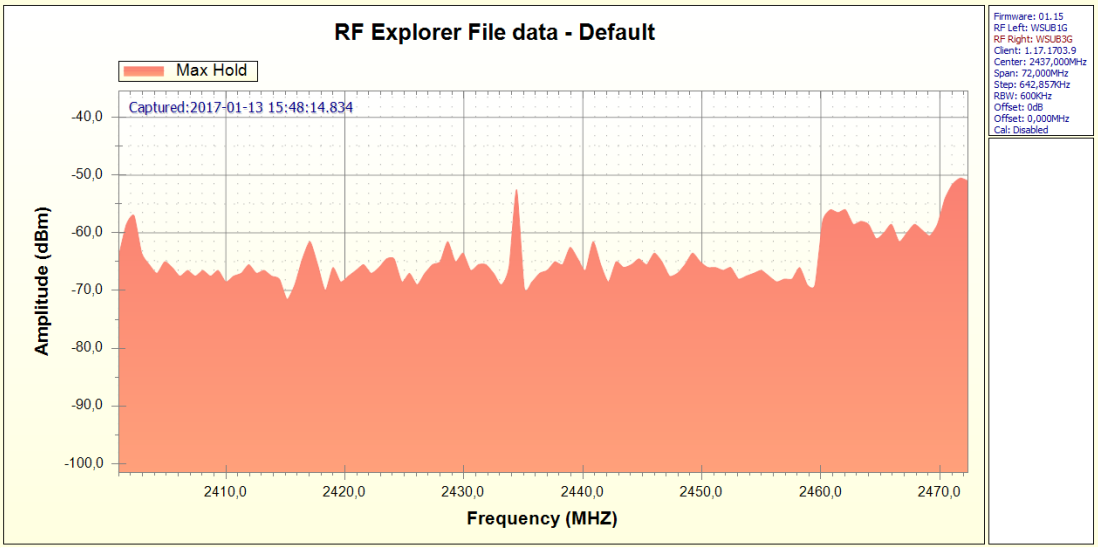


Figura 5.3: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

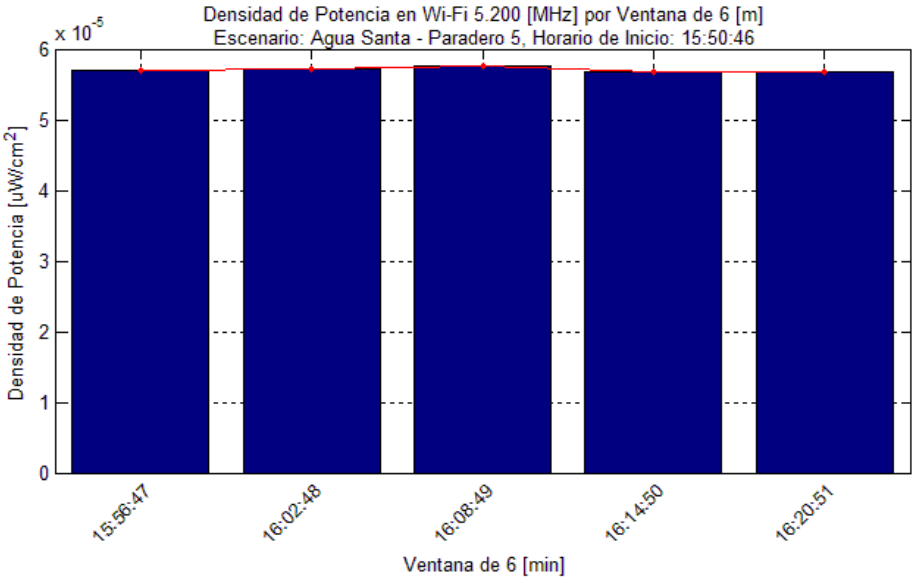


Figura 5.4: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

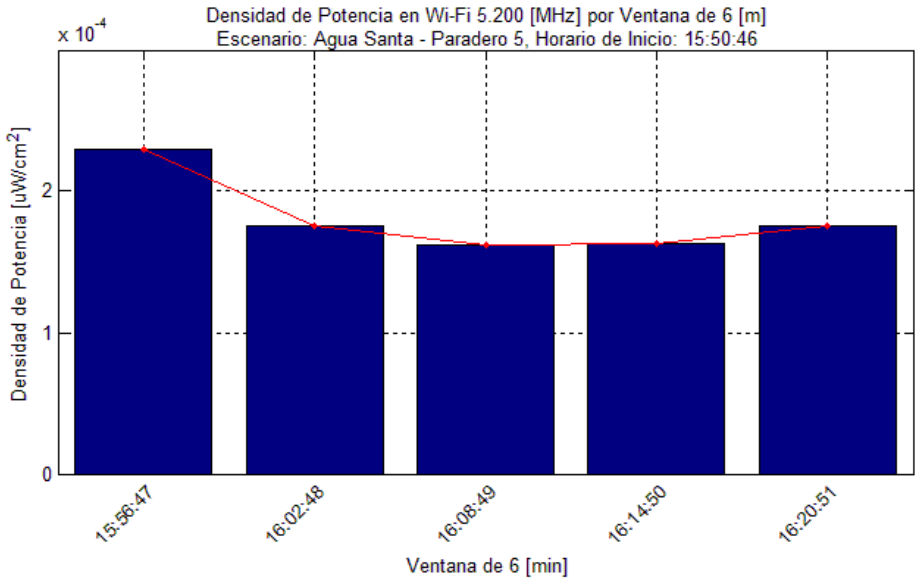


Figura 5.5: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

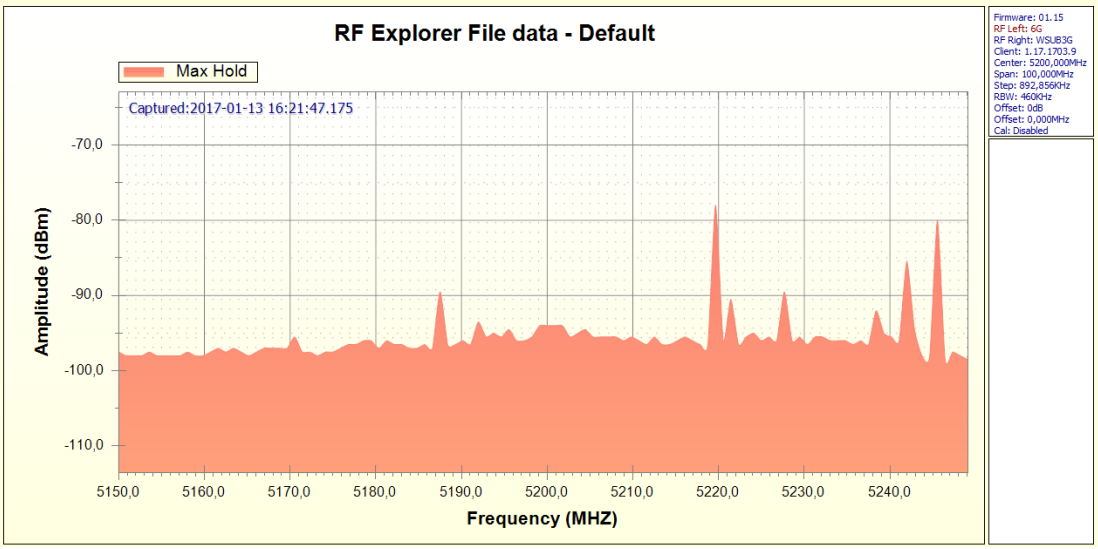


Figura 5.6: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

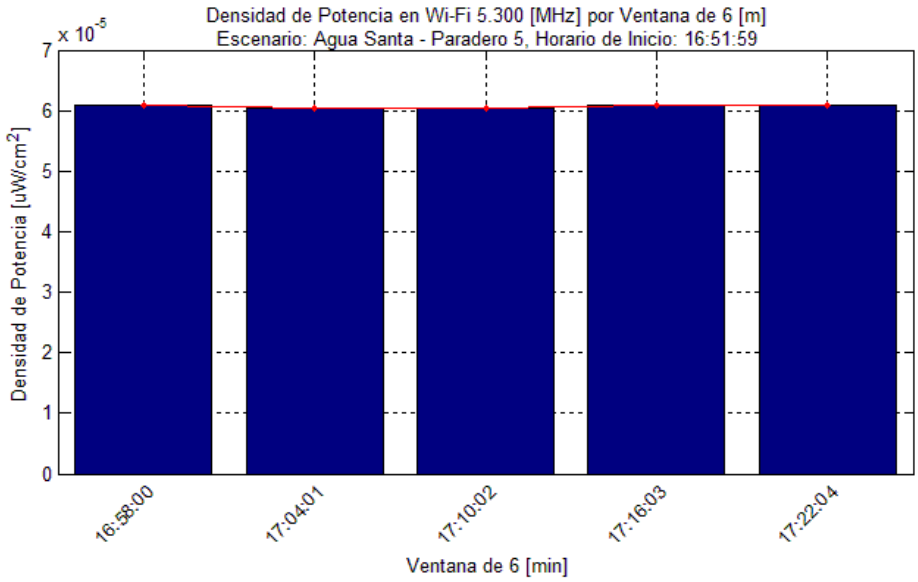


Figura 5.7: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

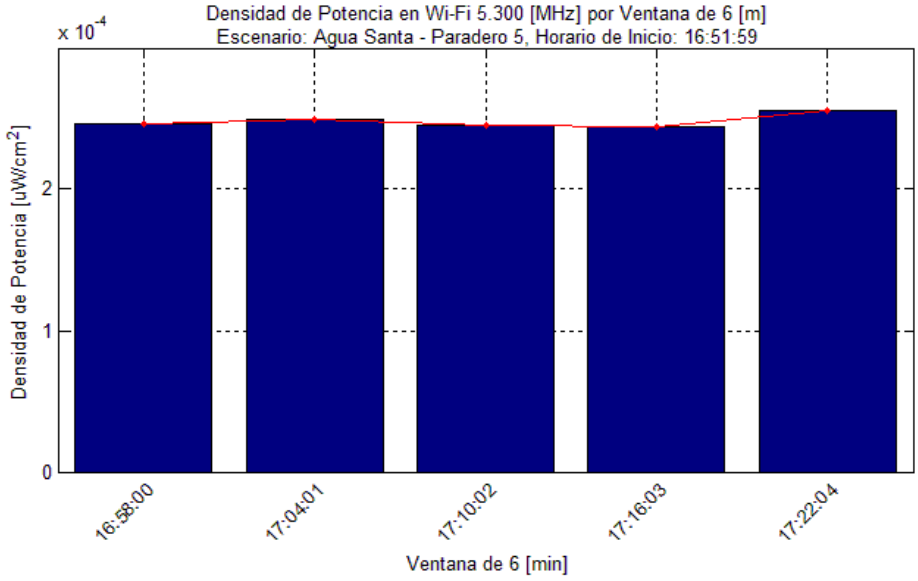


Figura 5.8: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

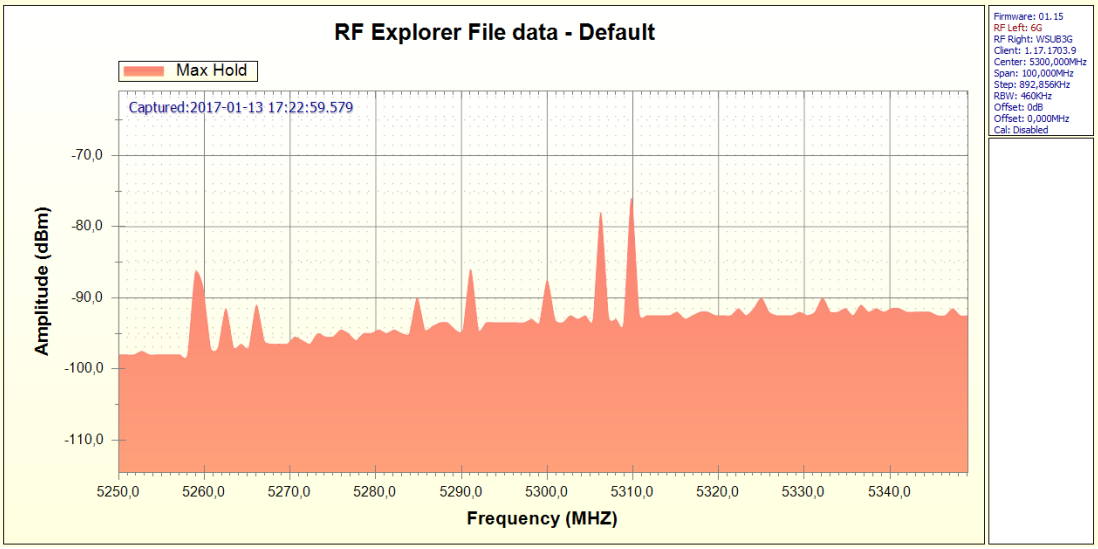


Figura 5.9: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

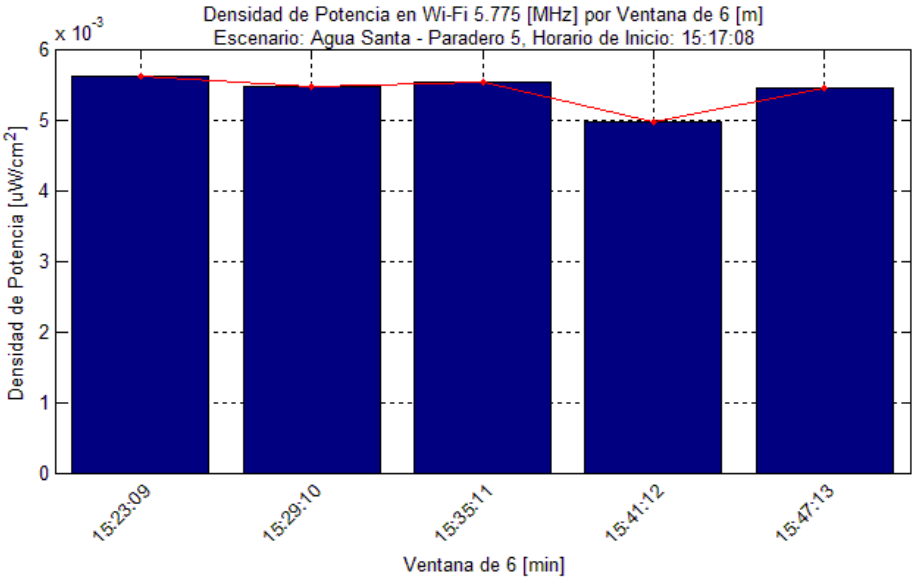


Figura 5.10: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio

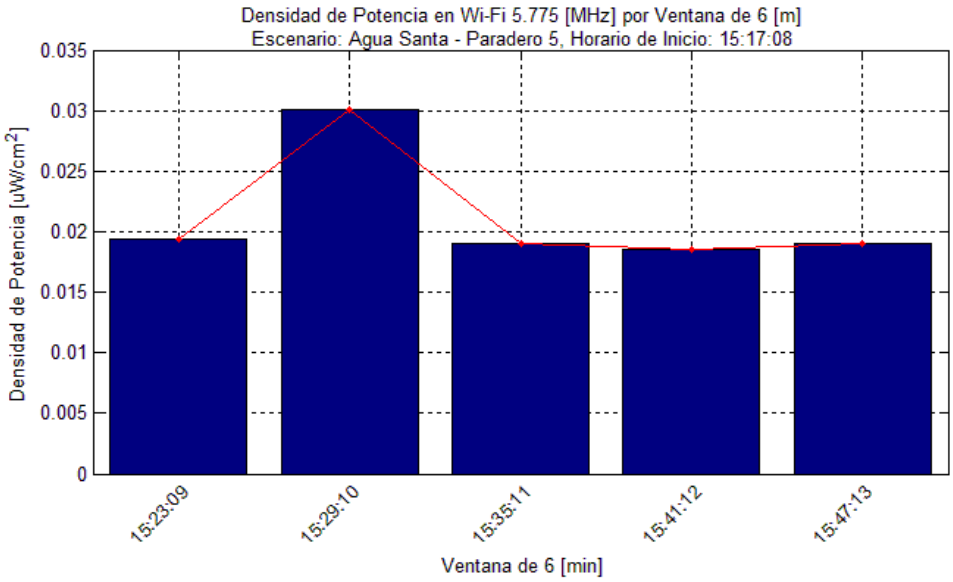


Figura 5.11: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo

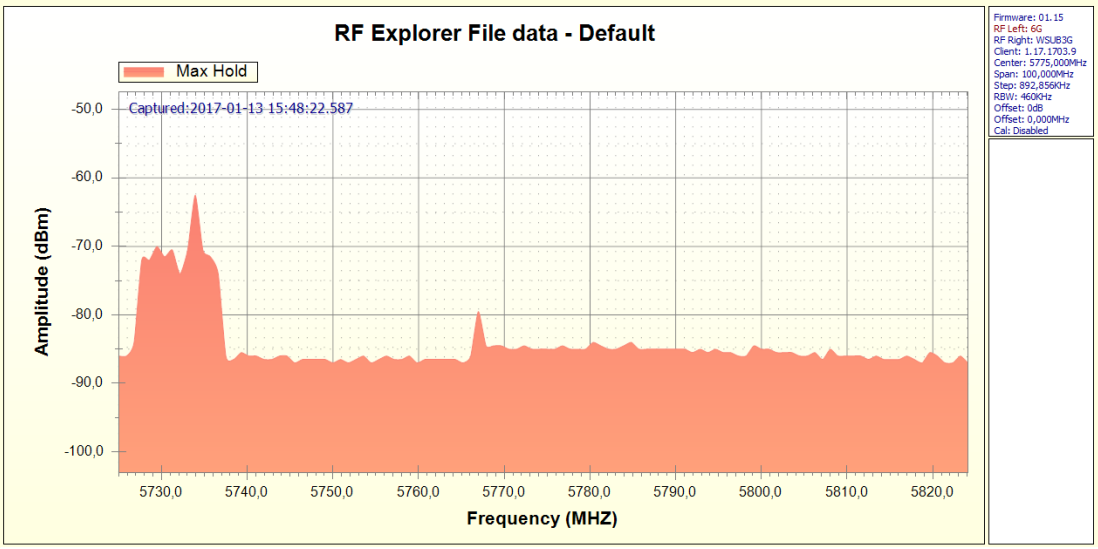


Figura 5.12: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

Tabla 5.1: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones

Frec. Central	Modo	V1	V2	V3	V4	V5	Promedio	Maximo
2.437 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	6,01E-04	4,88E-04	3,97E-04	3,87E-04	4,46E-04	4,64E-04	6,01E-04
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	4,33E-03	3,08E-03	2,15E-03	2,52E-03	2,50E-03	2,92E-03	4,33E-03
2.437 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,80E-04	4,08E-04	3,99E-04	4,42E-04	3,54E-04	3,97E-04	4,42E-04
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,21E-03	2,26E-03	2,29E-03	2,49E-03	2,13E-03	2,28E-03	2,49E-03
2.437 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,05E-04	2,80E-04	2,96E-04	3,26E-04	3,12E-04	3,04E-04	3,26E-04
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,87E-03	1,66E-03	1,70E-03	1,83E-03	1,91E-03	1,79E-03	1,91E-03
5.200 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	5,70E-05	5,72E-05	5,76E-05	5,68E-05	5,68E-05	5,71E-05	5,76E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,29E-04	1,76E-04	1,62E-04	1,63E-04	1,75E-04	1,81E-04	2,29E-04
5.300 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	6,08E-05	6,04E-05	6,05E-05	6,09E-05	6,08E-05	6,07E-05	6,09E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,46E-04	2,49E-04	2,46E-04	2,44E-04	2,56E-04	2,48E-04	2,56E-04
5.775 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	5,61E-03	5,46E-03	5,53E-03	4,97E-03	5,45E-03	5,40E-03	5,61E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,94E-02	3,01E-02	1,90E-02	1,86E-02	1,90E-02	2,12E-02	3,01E-02
Total	Average [$\mu W/cm^2$]	6,33E-03	6,07E-03	6,04E-03	5,47E-03	6,01E-03	5,98E-03	6,33E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,42E-02	3,36E-02	2,16E-02	2,15E-02	2,19E-02	2,46E-02	3,36E-02
% Límite Norma Chilena	Average [$\mu W/cm^2$]	0,63%	0,61%	0,60%	0,55%	0,60%	0,60%	0,63%
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,42%	3,36%	2,16%	2,15%	2,19%	2,46%	3,36%

5.2.2. Jardín Infantil “Aprendemos Jugando”

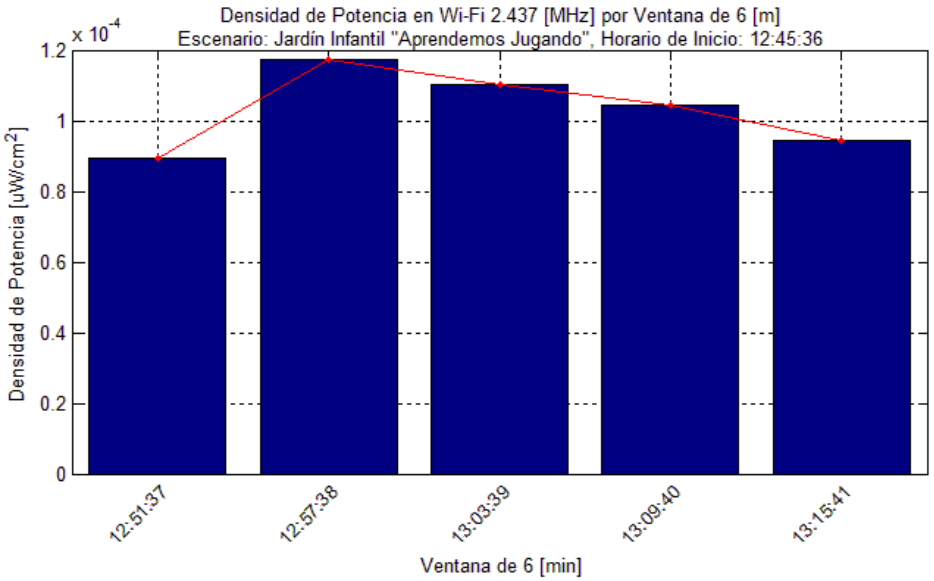


Figura 5.13: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

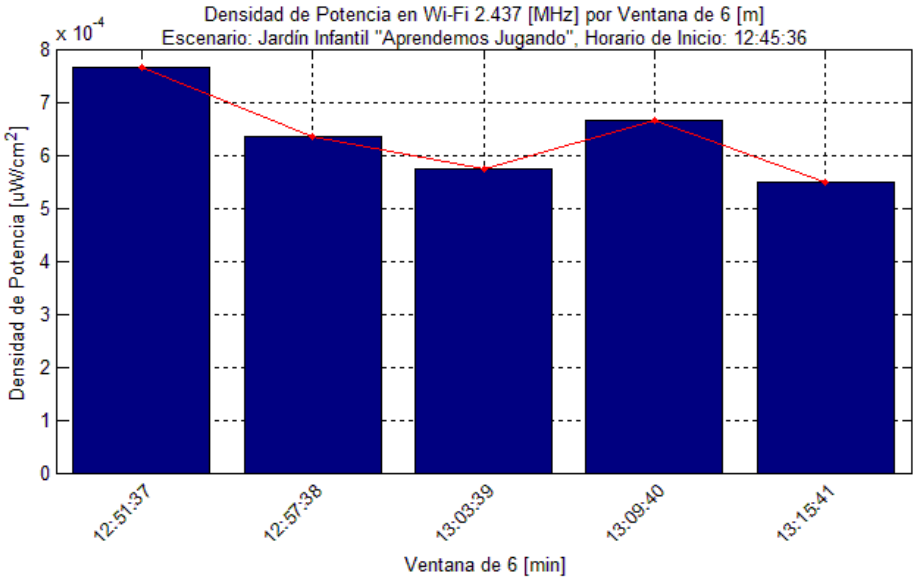


Figura 5.14: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

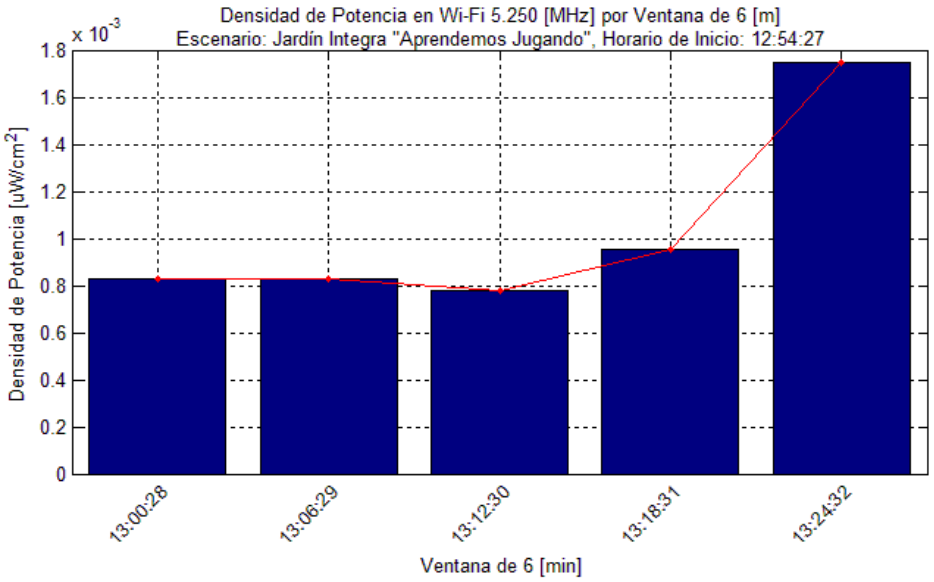


Figura 5.15: Primera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Promedio

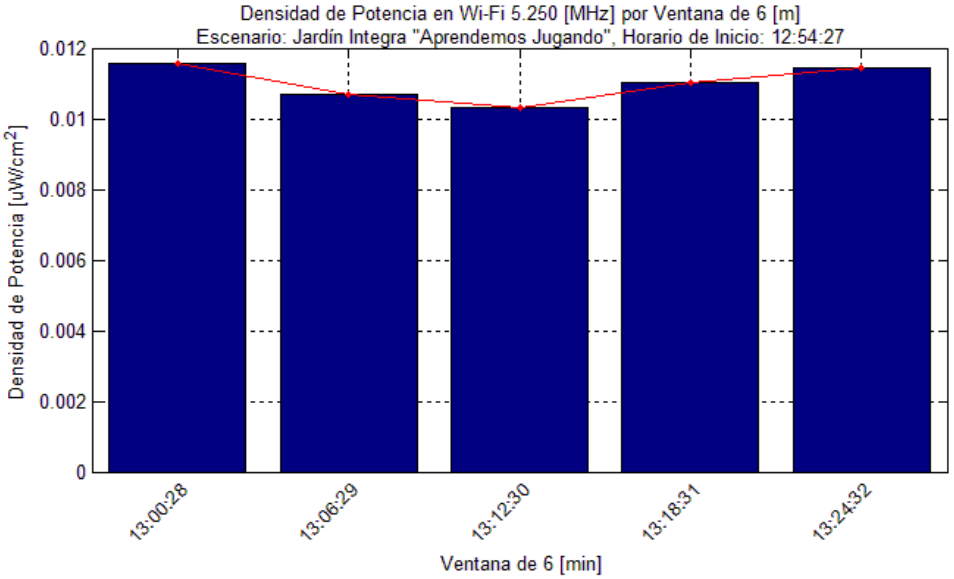


Figura 5.16: Primera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Máximo

Tabla 5.2: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones

Frec. Central	Modo	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Promedio	Maximo
2.437 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	8,92E-05	1,17E-04	1,10E-04	1,04E-04	9,42E-05			1,03E-04	1,17E-04
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	7,65E-04	6,35E-04	5,74E-04	6,65E-04	5,48E-04			6,37E-04	7,65E-04
2.437 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	7,28E-05	6,16E-05	6,03E-05	6,06E-05	6,14E-05			6,33E-05	7,28E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	4,14E-04	3,92E-04	3,46E-04	3,84E-04	3,62E-04			3,80E-04	4,14E-04
2.437 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,88E-05	2,03E-05	2,43E-05	1,99E-05	1,70E-05			2,01E-05	2,43E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,72E-04	1,31E-04	1,31E-04	1,66E-04	1,14E-04			1,43E-04	1,72E-04
2.437 [MHz] (4)	Average [$\mu W/cm^2$]	2,17E-05	2,09E-05	2,29E-05	2,42E-05	2,57E-05			2,31E-05	2,57E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	9,23E-05	1,04E-04	9,16E-05	1,37E-04	1,16E-04			1,08E-04	1,37E-04
5.250 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	8,29E-04	8,31E-04	7,81E-04	9,51E-04	1,75E-03			1,03E-03	1,75E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,16E-02	1,07E-02	1,03E-02	1,10E-02	1,14E-02			1,10E-02	1,16E-02
5.250 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	8,01E-04	8,09E-04	7,71E-04	7,82E-04	7,94E-04			7,91E-04	8,09E-04
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,11E-02	1,07E-02	1,08E-02	1,07E-02	1,10E-02			1,09E-02	1,11E-02
5.250 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	7,43E-04	1,77E-03	7,06E-04	6,97E-04	6,94E-04	7,00E-04	7,06E-04	9,22E-04	1,77E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	8,85E-03	4,95E-03	9,37E-03	8,76E-03	8,90E-03	8,95E-03	9,48E-03	8,17E-03	9,37E-03
Total	Average [$\mu W/cm^2$]	9,18E-04	9,48E-04	8,91E-04	1,06E-03	1,84E-03			1,13E-03	1,84E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,23E-02	1,13E-02	1,09E-02	1,17E-02	1,20E-02			1,16E-02	1,23E-02
% Límite Norma Chilena	Average [$\mu W/cm^2$]	0,92%	0,95%	0,89%	1,06%	1,84%			1,13%	1,84%
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	12,34%	11,30%	10,89%	11,69%	11,98%			11,64%	12,34%

5.2.3. Jardín Infantil “Snoopy”

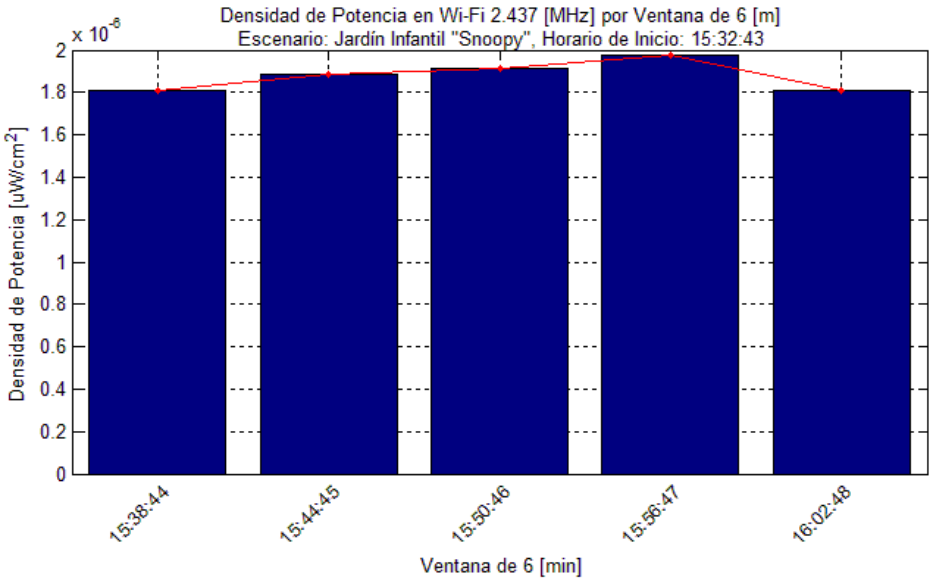


Figura 5.17: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

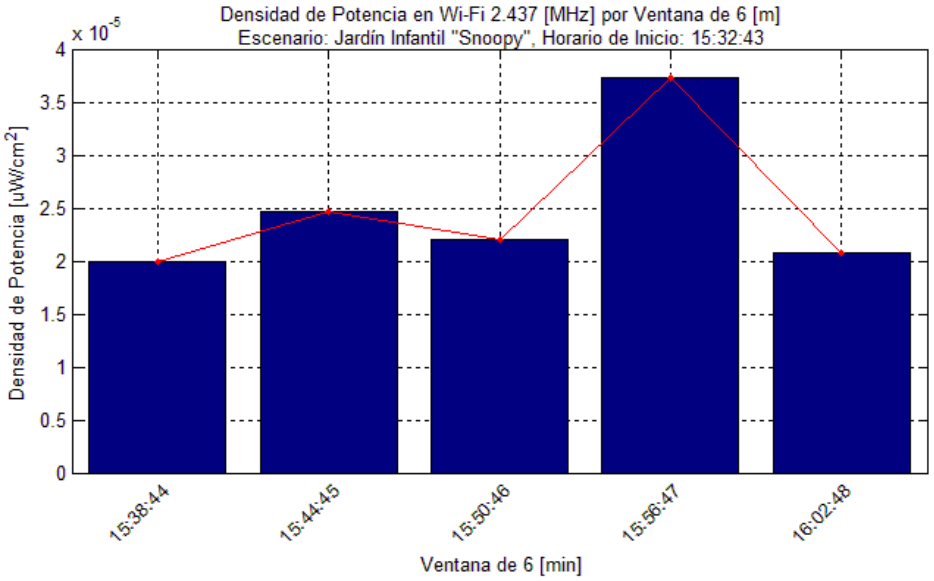


Figura 5.18: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

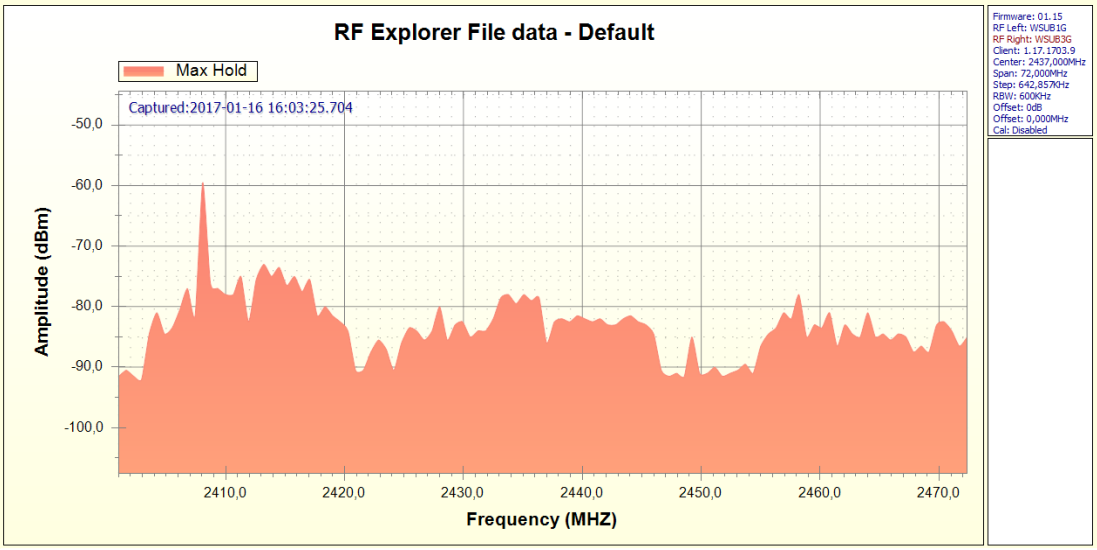


Figura 5.19: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

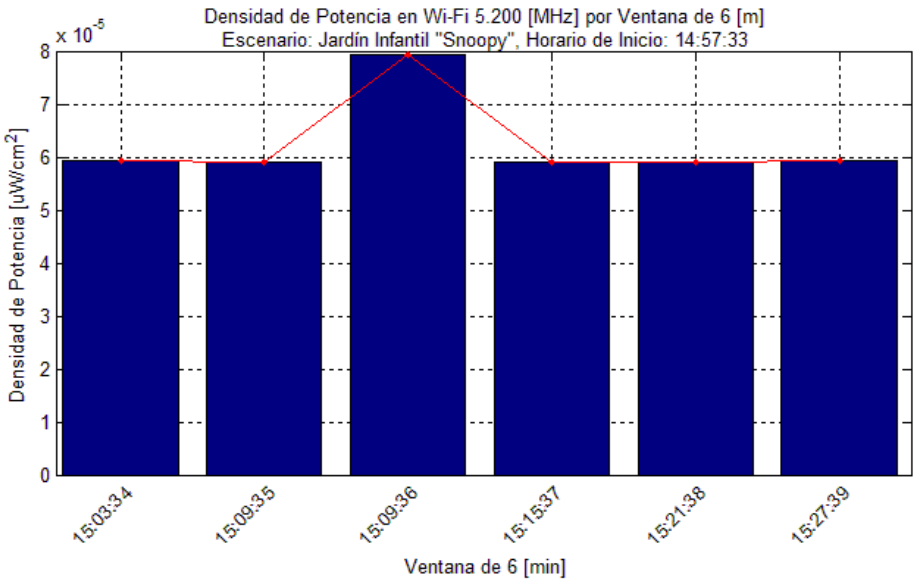


Figura 5.20: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

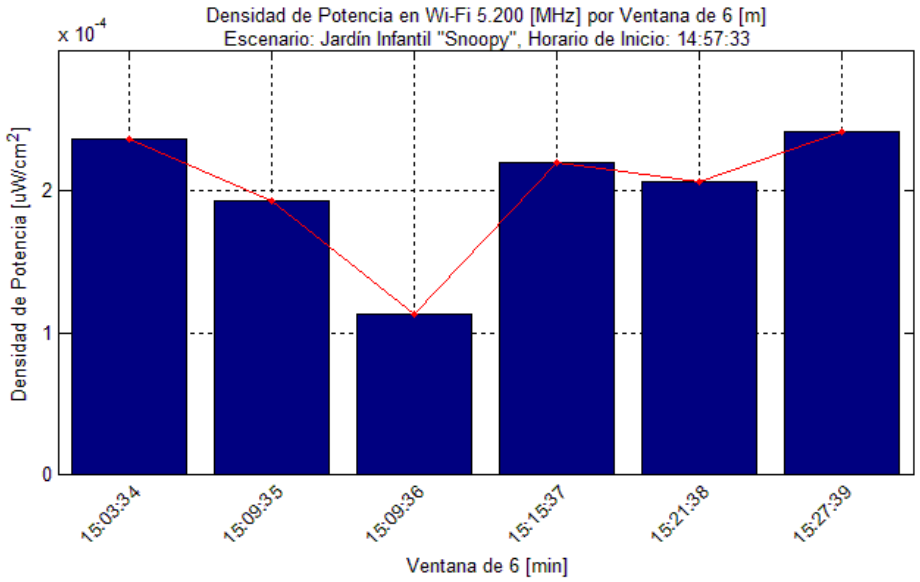


Figura 5.21: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

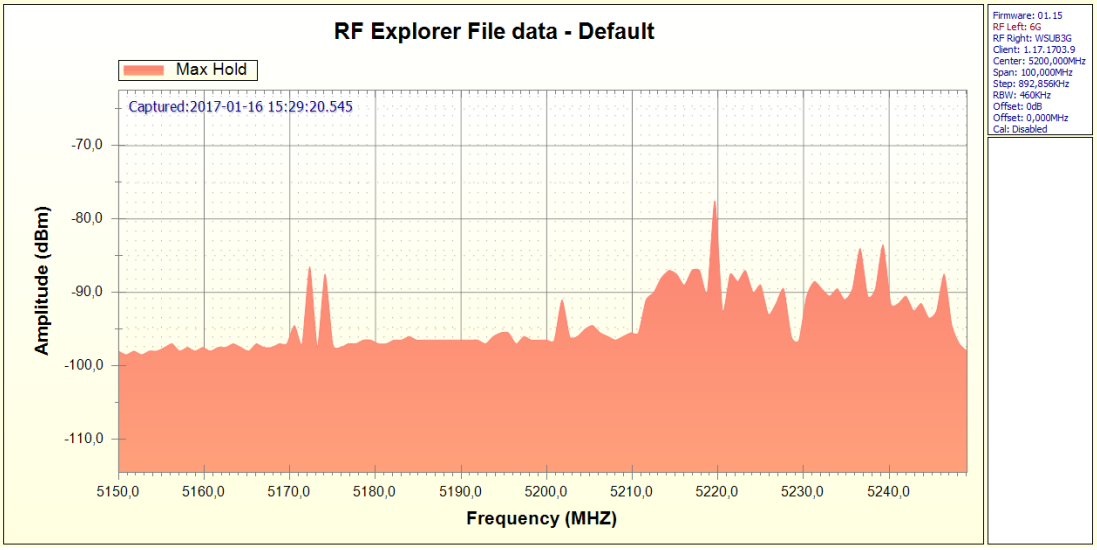


Figura 5.22: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

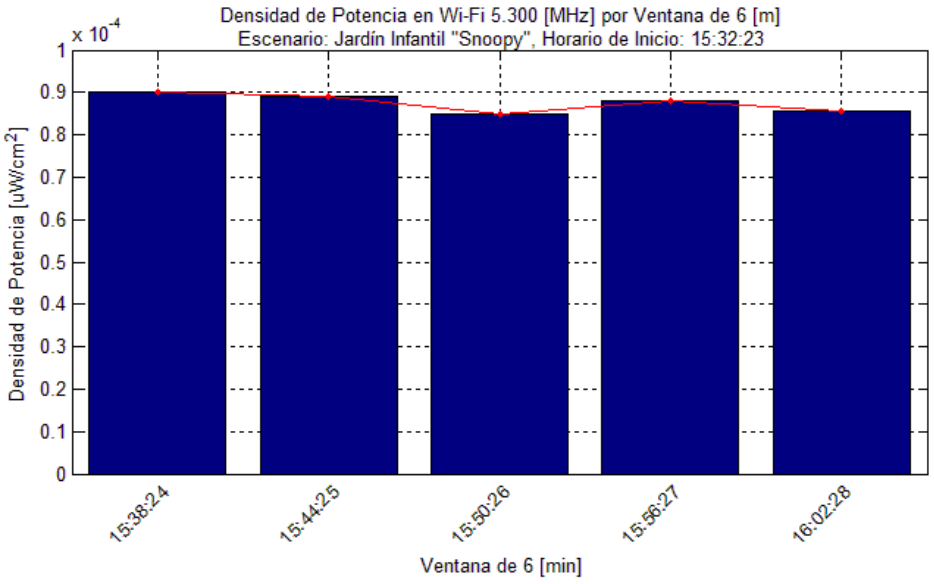


Figura 5.23: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

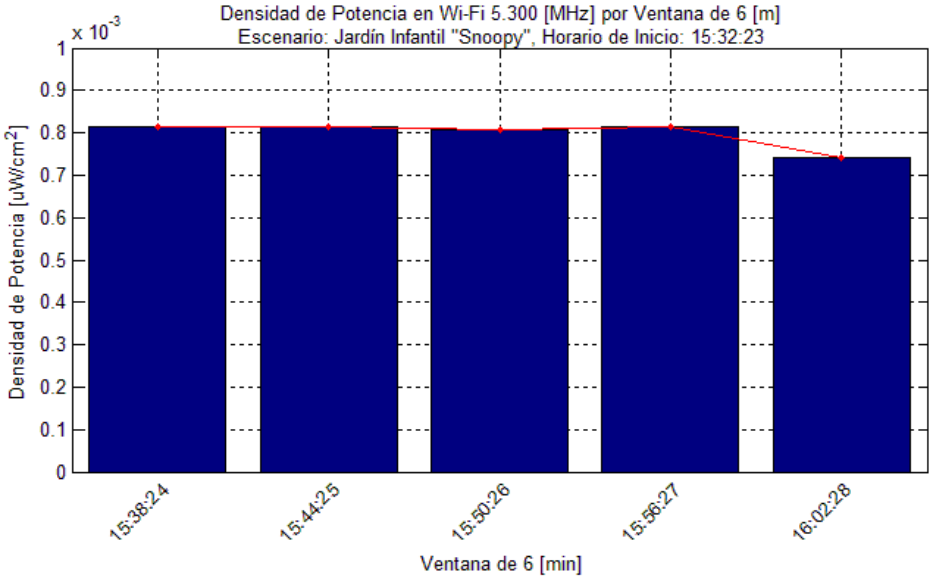


Figura 5.24: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

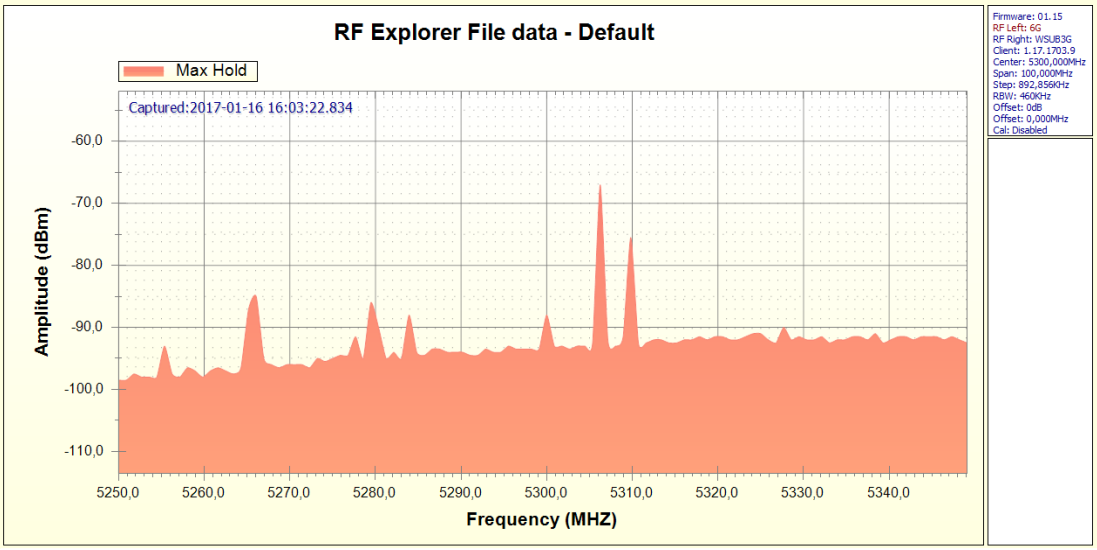


Figura 5.25: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

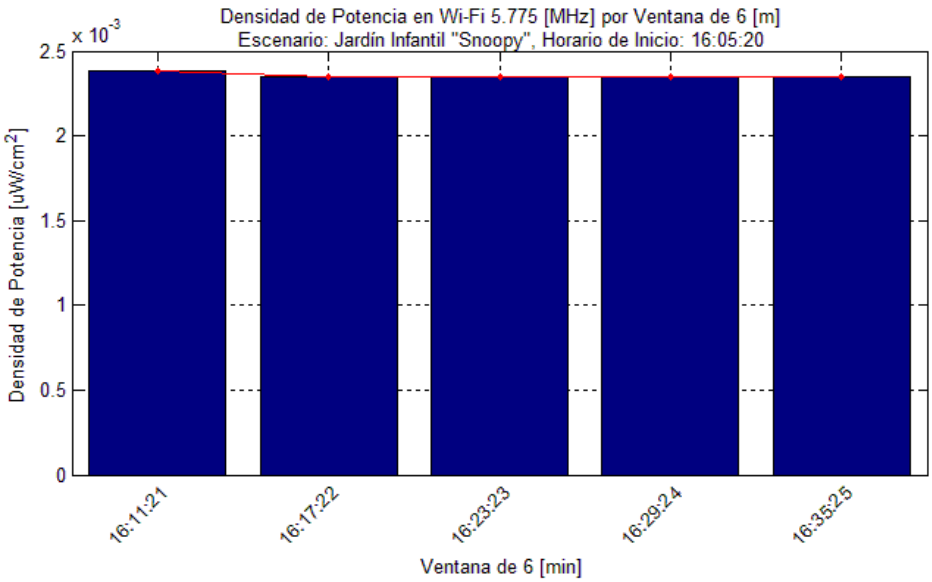


Figura 5.26: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio

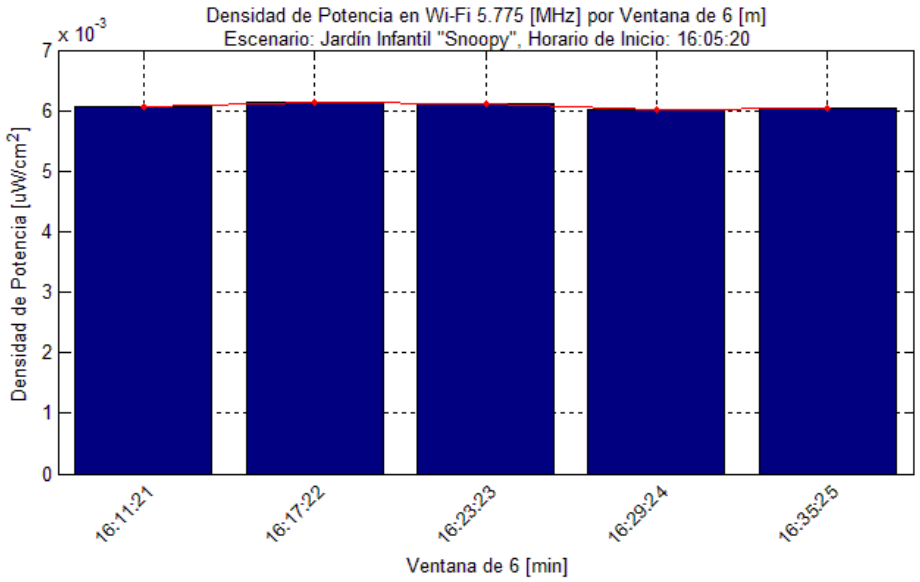


Figura 5.27: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo

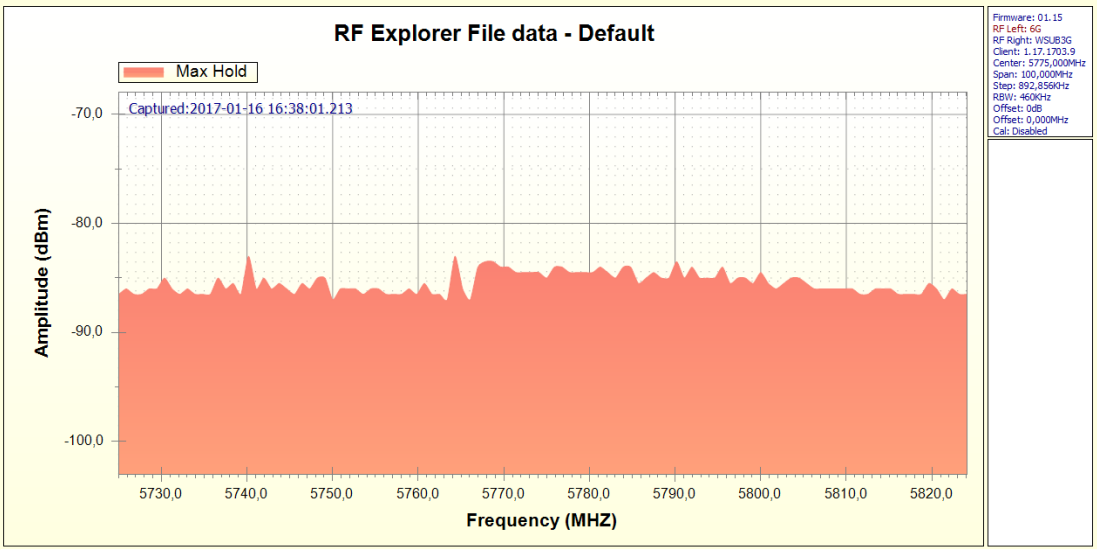


Figura 5.28: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

Tabla 5.3: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones

Frec. Central	Modo	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Promedio	Maximo
2.437 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	2,04E-06	1,73E-06	1,82E-06	1,80E-06	1,84E-06		1,85E-06	2,04E-06
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,58E-05	1,48E-05	2,35E-05	2,16E-05	2,28E-05		2,17E-05	2,58E-05
2.437 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,81E-06	1,89E-06	1,92E-06	1,97E-06	1,81E-06		1,88E-06	1,97E-06
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,00E-05	2,46E-05	2,20E-05	3,74E-05	2,08E-05		2,49E-05	3,74E-05
2.437 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,74E-06	1,78E-06	1,73E-06	1,70E-06	1,71E-06		1,73E-06	1,78E-06
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,35E-05	1,62E-05	1,62E-05	1,04E-05	1,14E-05		1,35E-05	1,62E-05
5.200 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	5,93E-05	5,89E-05	7,93E-05	5,89E-05	5,91E-05	5,93E-05	6,31E-05	7,93E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,37E-04	1,93E-04	1,13E-04	2,20E-04	2,06E-04	2,42E-04	1,94E-04	2,37E-04
5.300 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	9,00E-05	8,92E-05	8,50E-05	8,79E-05	8,54E-05		8,75E-05	9,00E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	8,15E-04	8,15E-04	8,09E-04	8,15E-04	7,43E-04		7,99E-04	8,15E-04
5.775 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	2,38E-03	2,35E-03	2,34E-03	2,35E-03	2,35E-03		2,35E-03	2,38E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	6,06E-03	6,13E-03	6,12E-03	6,01E-03	6,03E-03		6,07E-03	6,13E-03
Total	Average [$\mu W/cm^2$]	2,53E-03	2,50E-03	2,51E-03	2,50E-03	2,49E-03		2,51E-03	2,53E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	7,13E-03	7,16E-03	7,06E-03	7,09E-03	7,00E-03		7,09E-03	7,16E-03
% Límite Norma Chilena	Average [$\mu W/cm^2$]	2,53%	2,50%	2,51%	2,50%	2,49%		2,51%	2,53%
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	7,13%	7,16%	7,06%	7,09%	7,00%		7,09%	7,16%

5.2.4. Hospital “Carlos Van Buren”

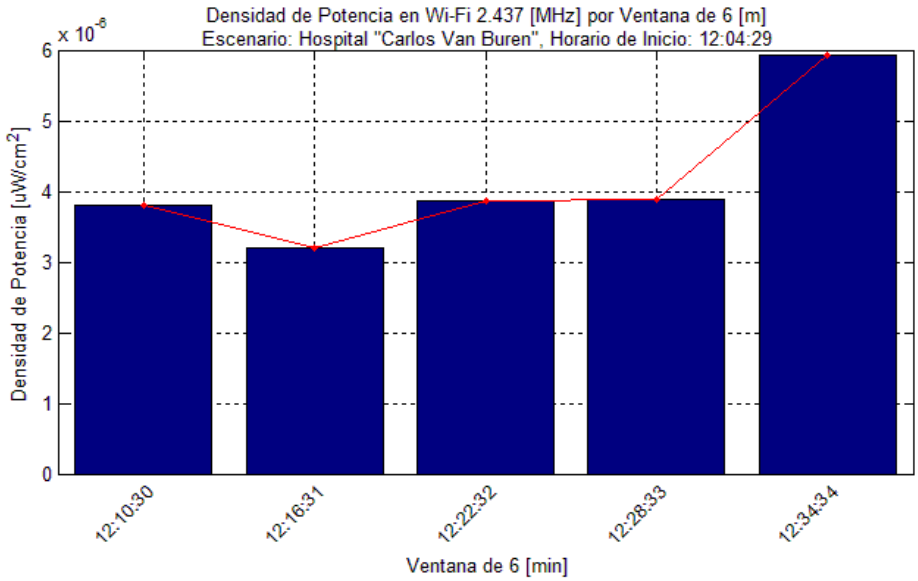


Figura 5.29: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

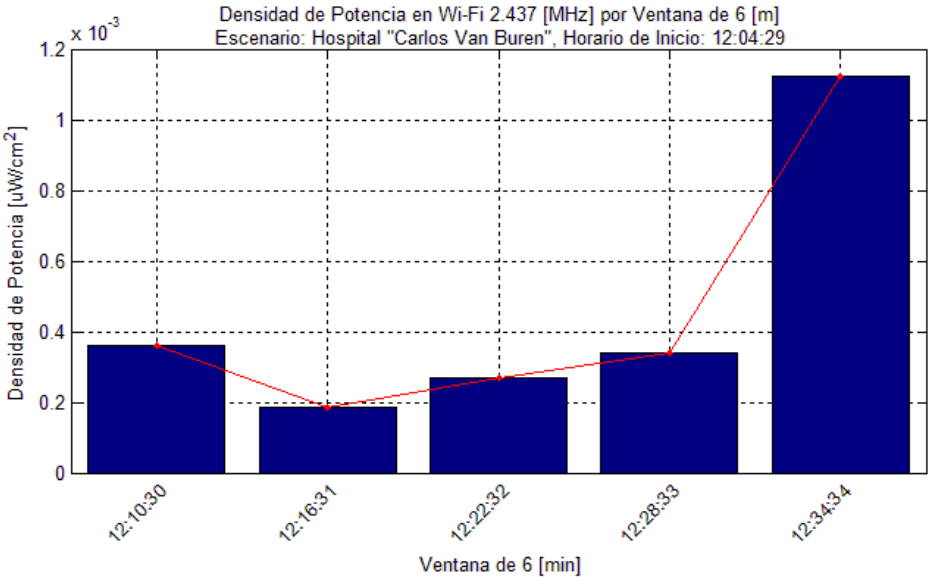


Figura 5.30: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

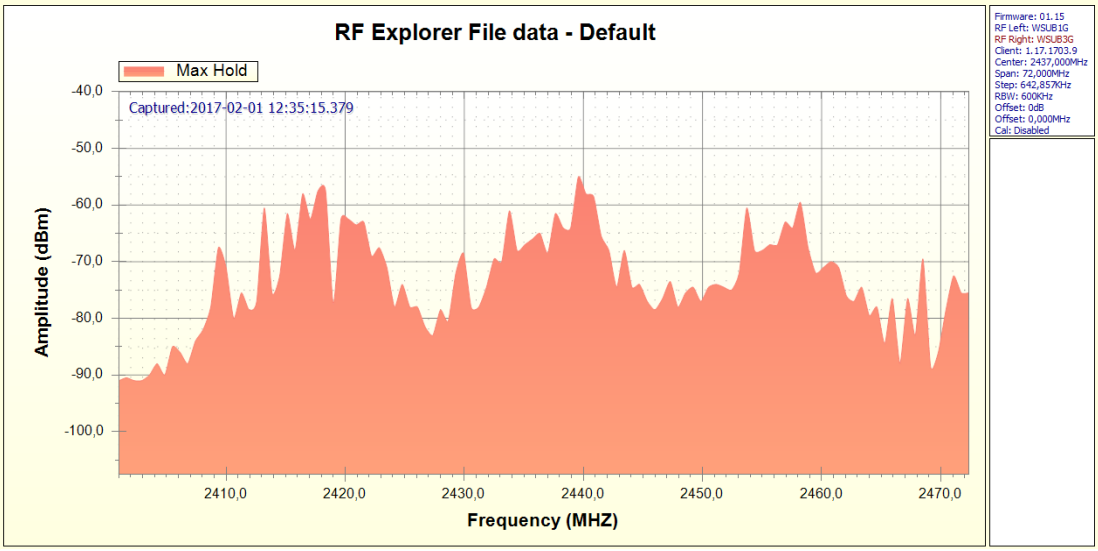


Figura 5.31: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

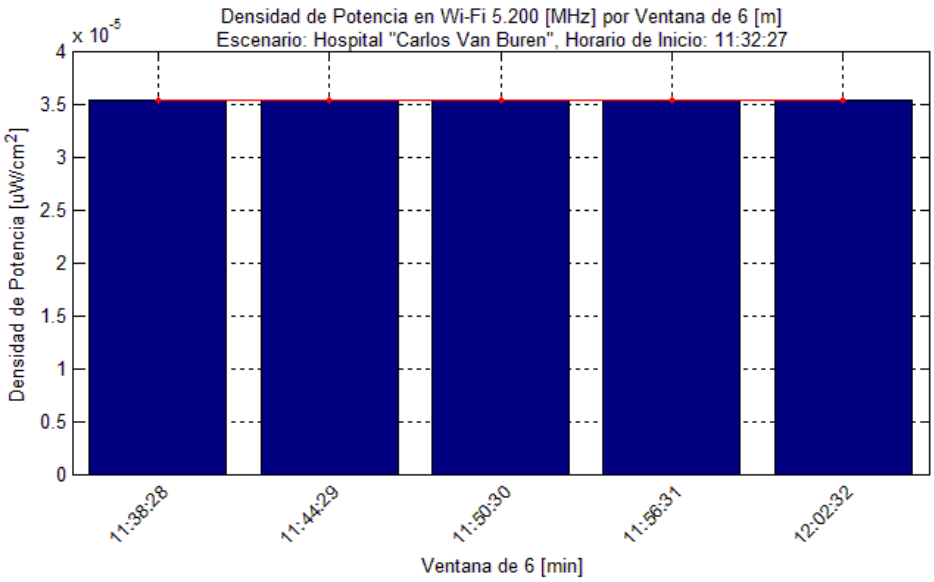


Figura 5.32: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

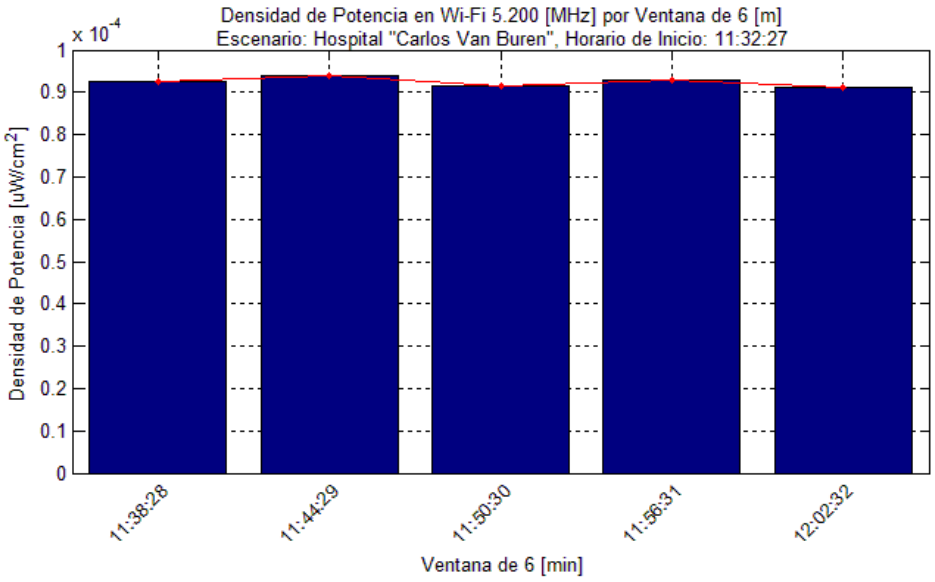


Figura 5.33: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

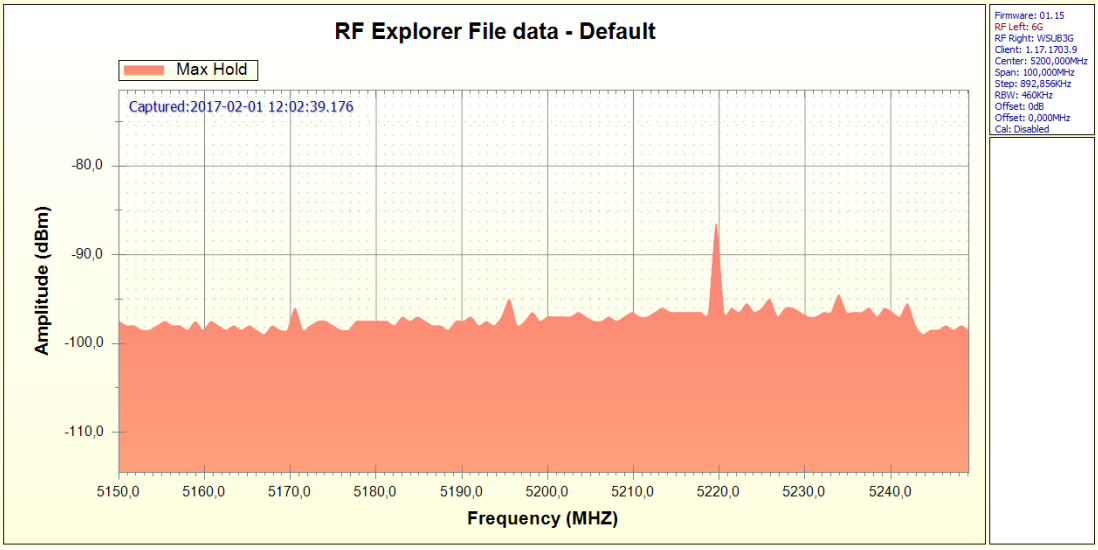


Figura 5.34: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

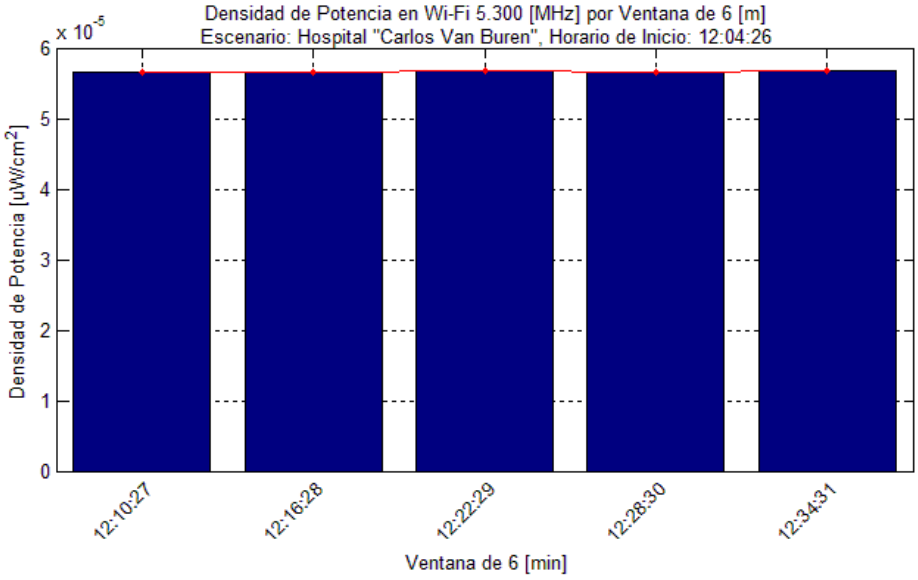


Figura 5.35: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

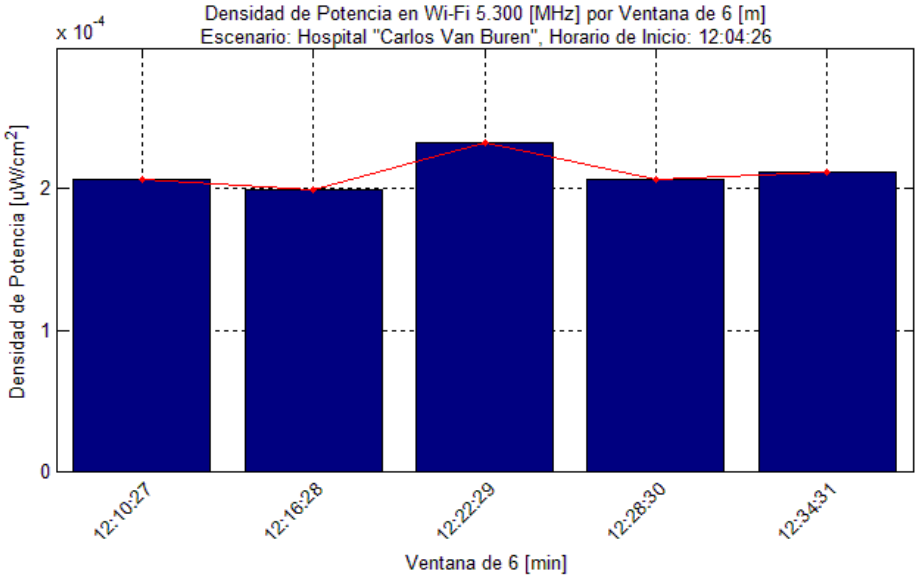


Figura 5.36: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

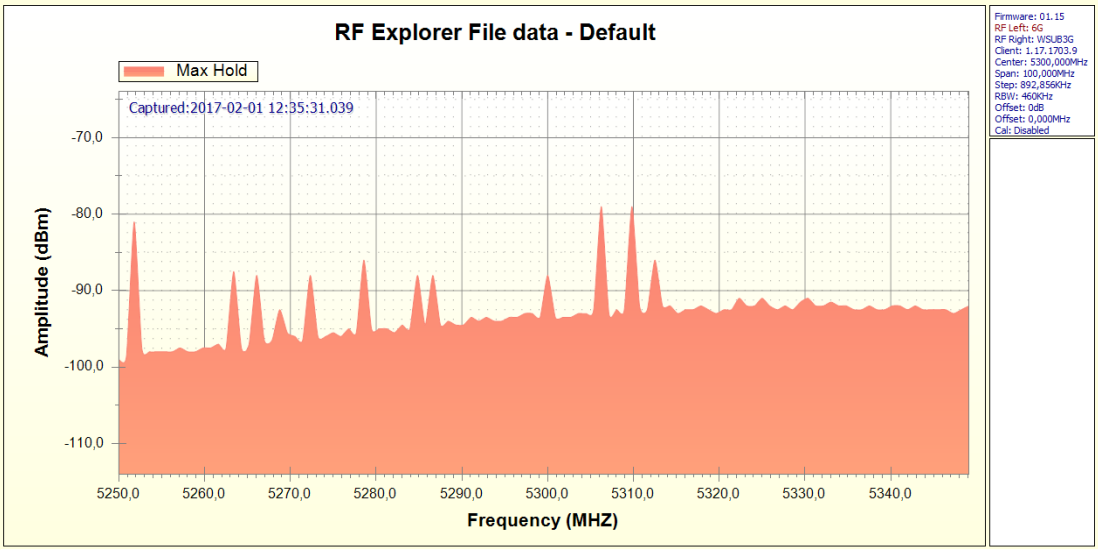


Figura 5.37: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

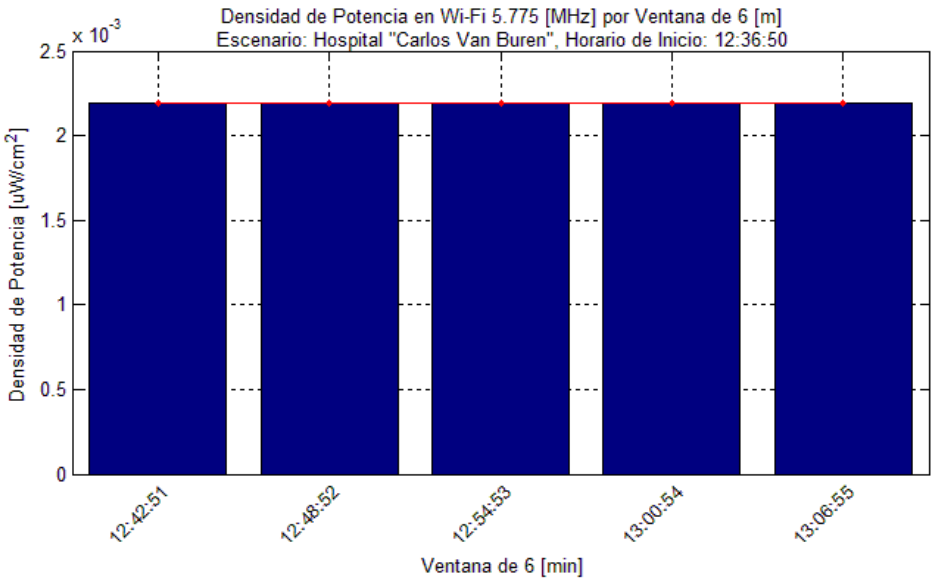


Figura 5.38: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio

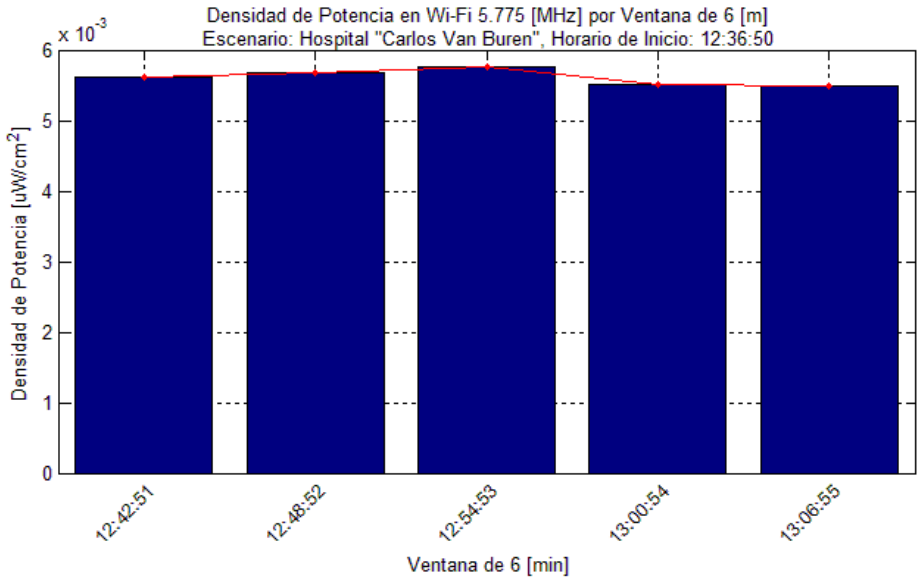


Figura 5.39: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo

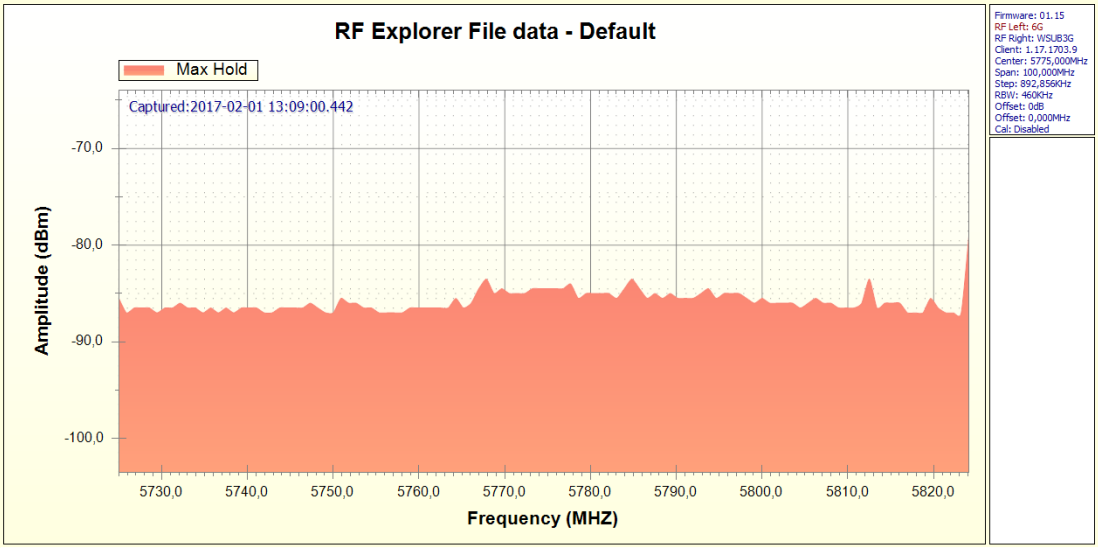


Figura 5.40: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

Tabla 5.4: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones

Frec. Central	Modo	V1	V2	V3	V4	V5	Promedio	Maximo
2.437 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,69E-06	3,51E-06	2,69E-06	4,06E-06	5,44E-06	3,88E-06	5,44E-06
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	3,04E-04	2,60E-04	1,15E-04	3,01E-04	9,90E-04	3,94E-04	9,90E-04
2.437 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,80E-06	3,20E-06	3,87E-06	3,88E-06	5,92E-06	4,13E-06	5,92E-06
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	3,62E-04	1,87E-04	2,67E-04	3,39E-04	1,12E-03	4,55E-04	1,12E-03
2.437 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,53E-06	3,98E-06	3,99E-06	3,47E-06	3,30E-06	3,65E-06	3,99E-06
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,42E-04	3,36E-04	3,88E-04	3,29E-04	2,71E-04	3,13E-04	3,88E-04
5.200 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	3,54E-05	3,53E-05	3,53E-05	3,53E-05	3,53E-05	3,53E-05	3,54E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	9,24E-05	9,41E-05	9,14E-05	9,30E-05	9,11E-05	9,24E-05	9,41E-05
5.300 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	5,65E-05	5,66E-05	5,67E-05	5,66E-05	5,68E-05	5,66E-05	5,68E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,07E-04	2,00E-04	2,33E-04	2,07E-04	2,12E-04	2,12E-04	2,33E-04
5.775 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	2,19E-03	2,19E-03	2,19E-03	2,19E-03	2,20E-03	2,19E-03	2,20E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	5,61E-03	5,68E-03	5,75E-03	5,51E-03	5,50E-03	5,61E-03	5,75E-03
Total	Average [$\mu W/cm^2$]	2,29E-03	2,28E-03	2,28E-03	2,28E-03	2,29E-03	2,29E-03	2,29E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	6,28E-03	6,16E-03	6,34E-03	6,15E-03	6,92E-03	6,37E-03	6,92E-03
% Límite Norma Chilena	Average [$\mu W/cm^2$]	2,29%	2,28%	2,28%	2,28%	2,29%	2,29%	2,29%
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	6,28%	6,16%	6,34%	6,15%	6,92%	6,37%	6,92%

5.2.5. Clínica “Ciudad del Mar”

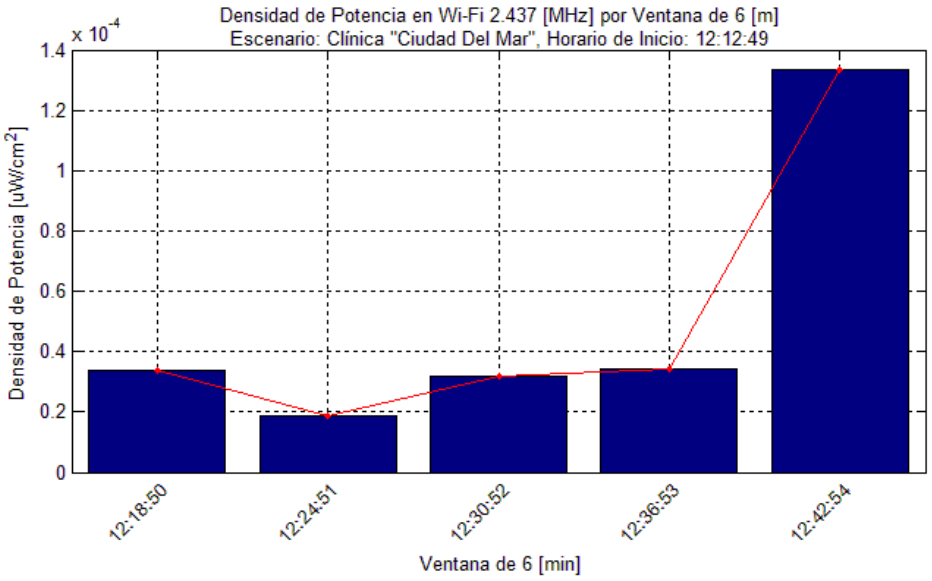


Figura 5.41: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

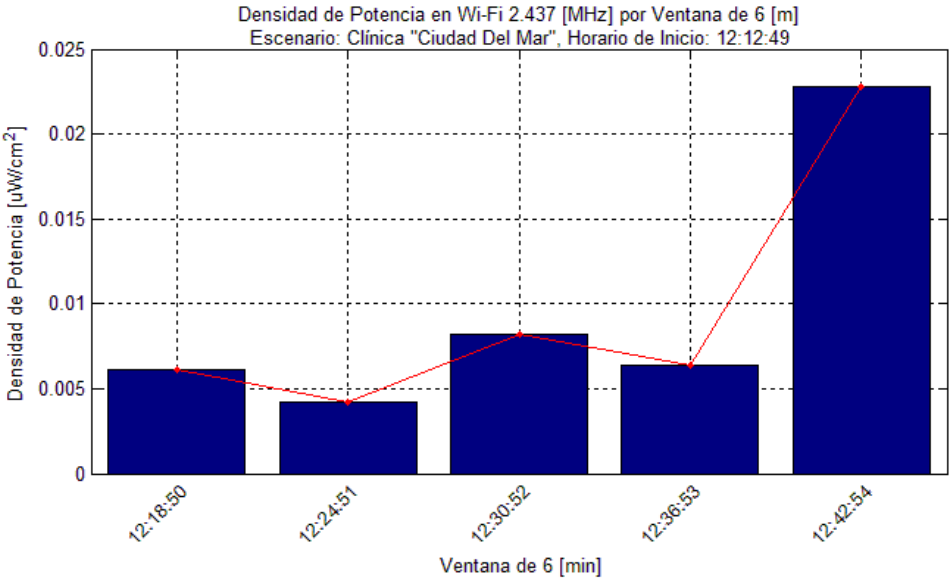


Figura 5.42: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

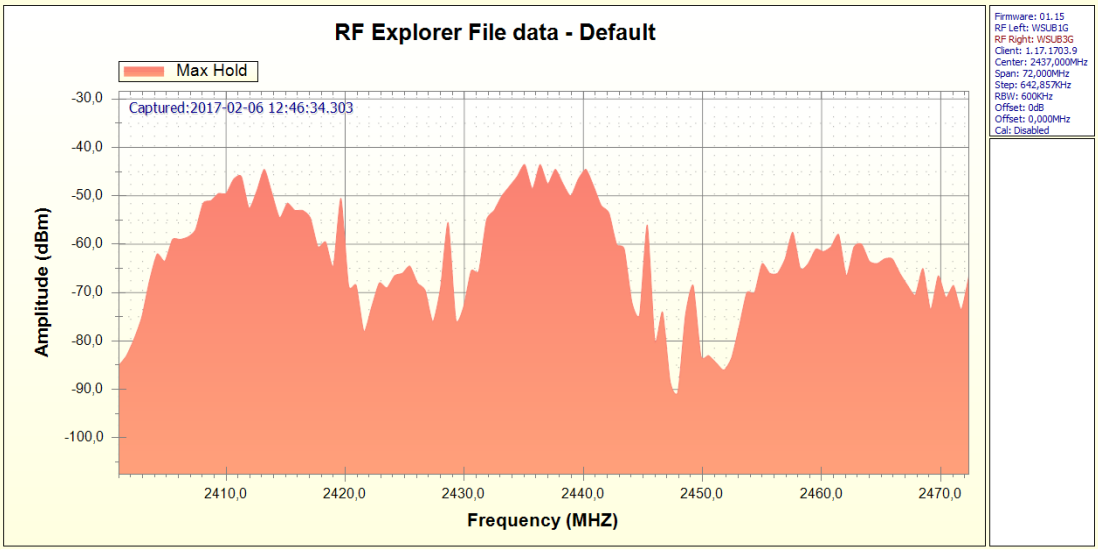


Figura 5.43: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

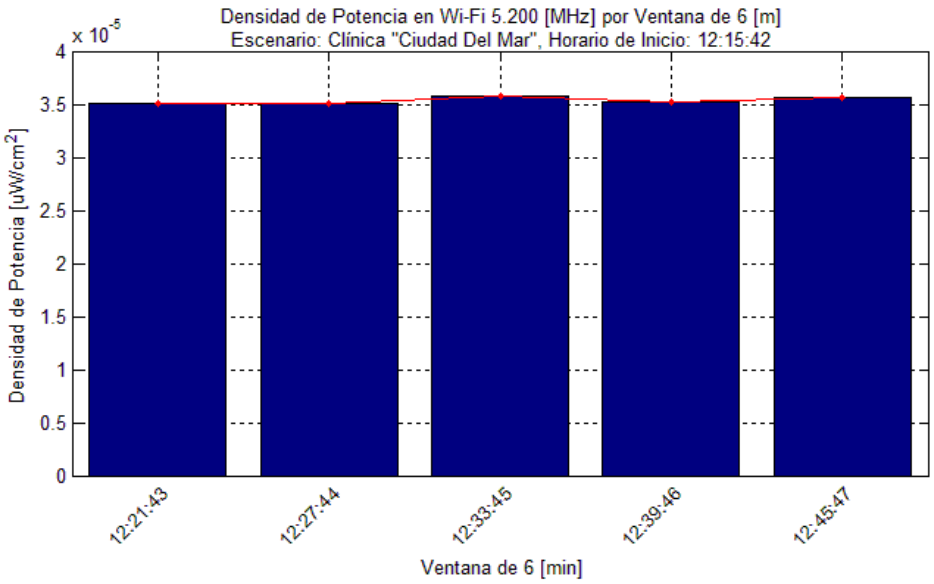


Figura 5.44: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

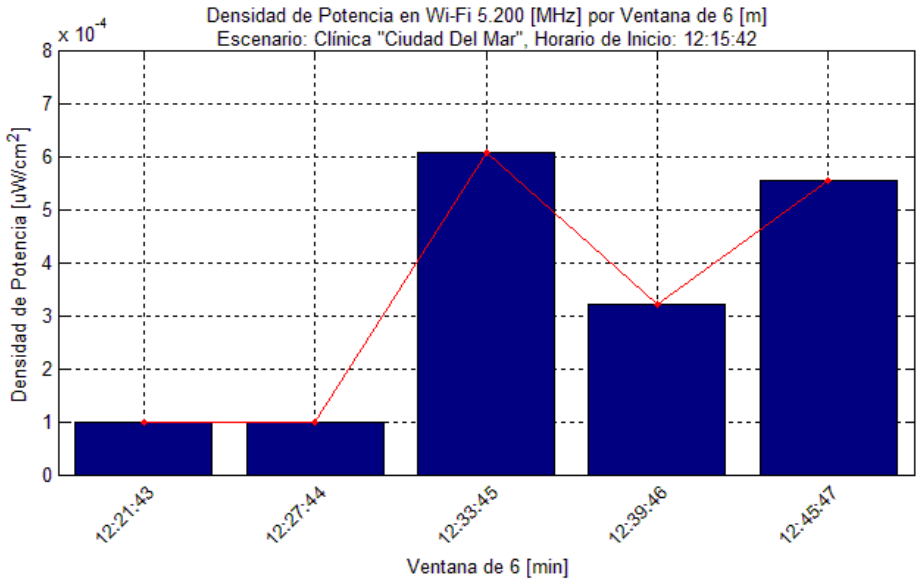


Figura 5.45: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

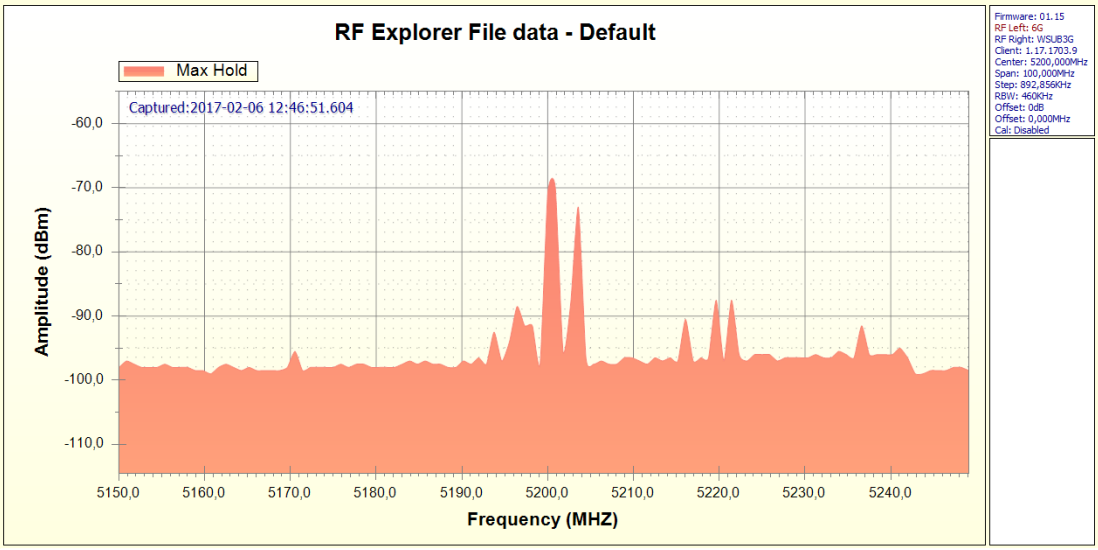


Figura 5.46: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

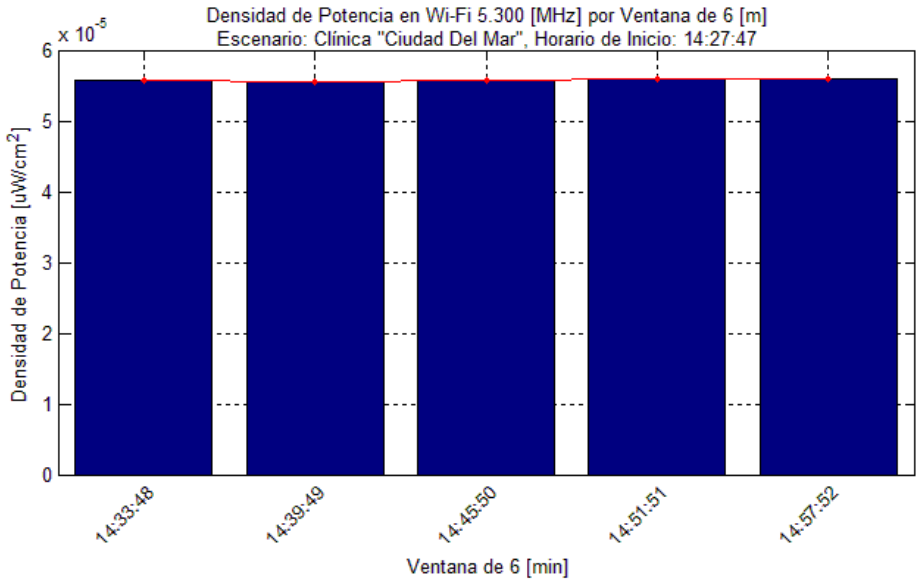


Figura 5.47: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

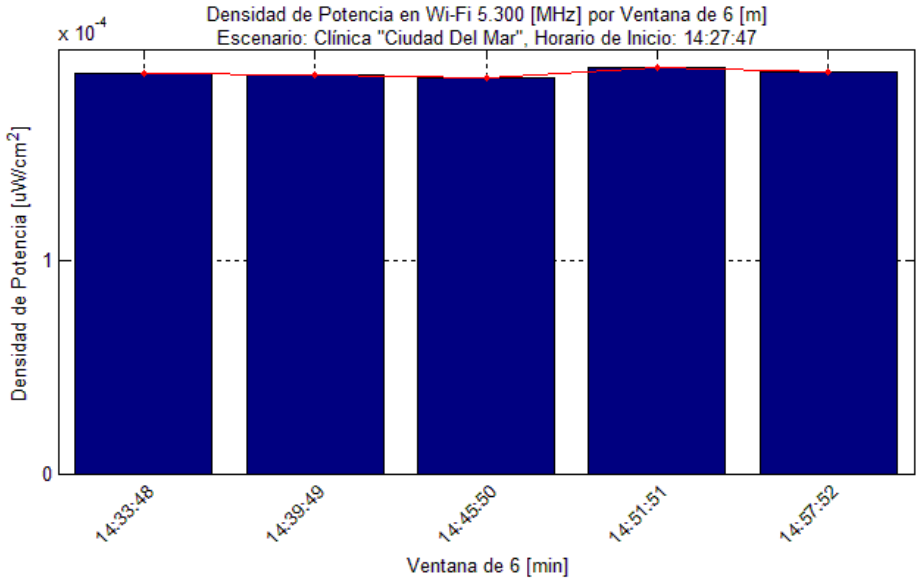


Figura 5.48: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

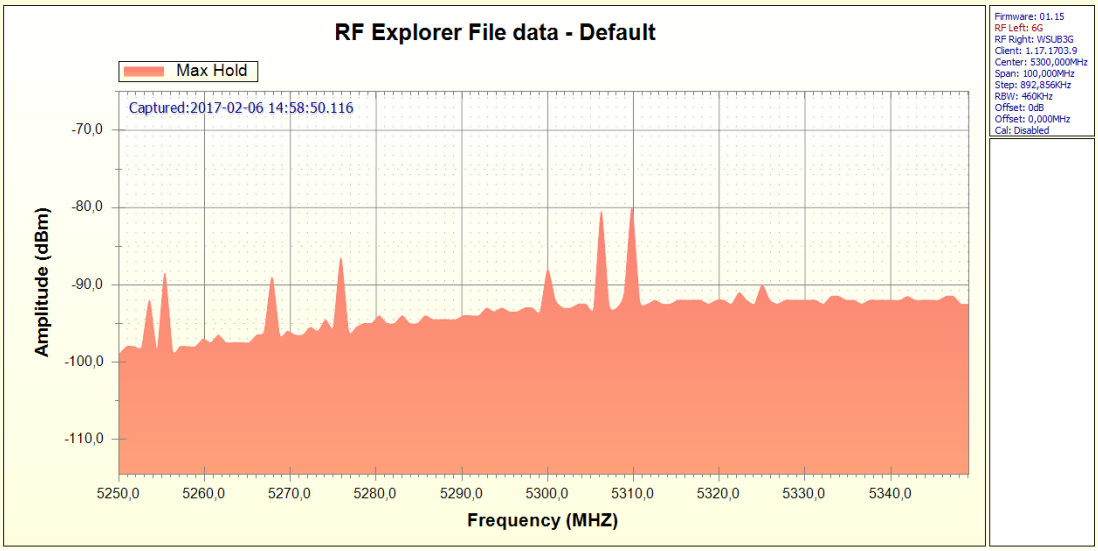


Figura 5.49: Segunda medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

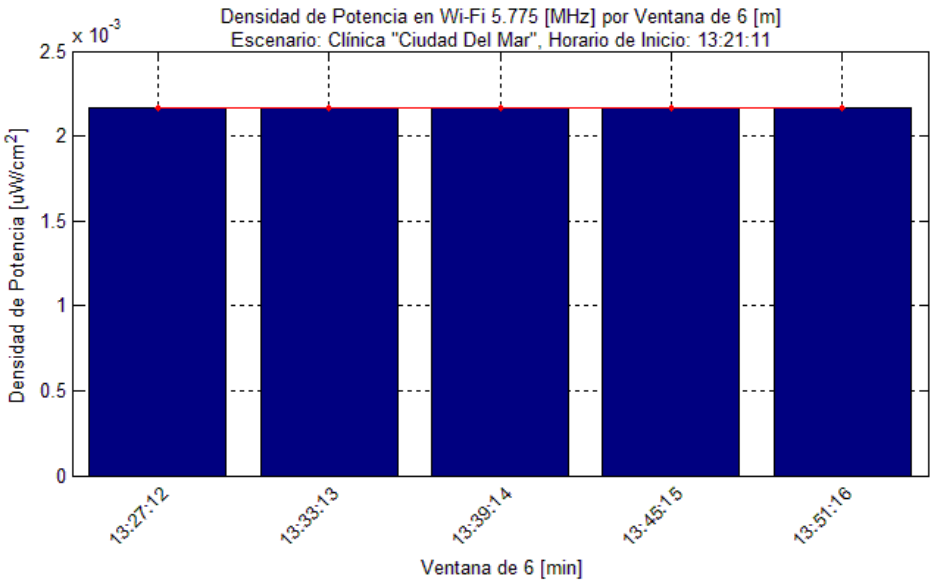


Figura 5.50: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio

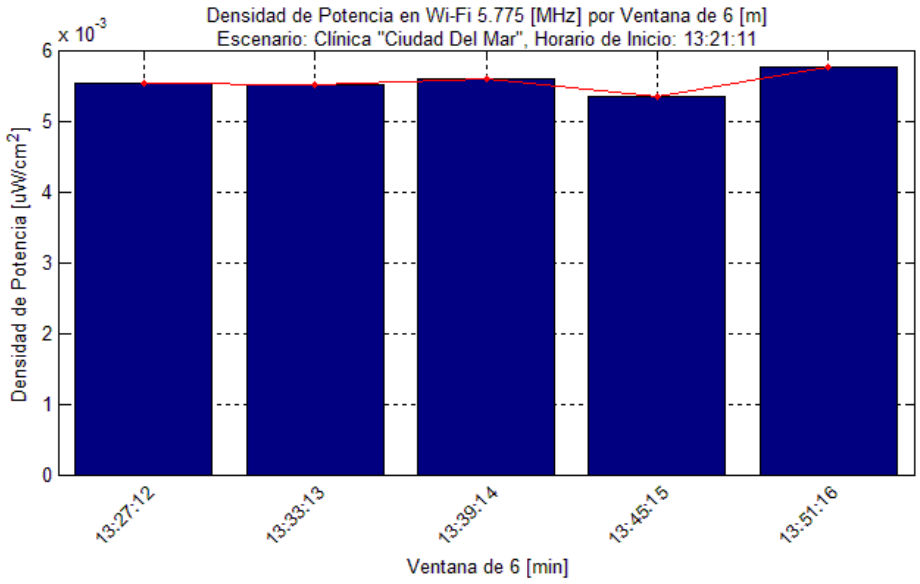


Figura 5.51: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo

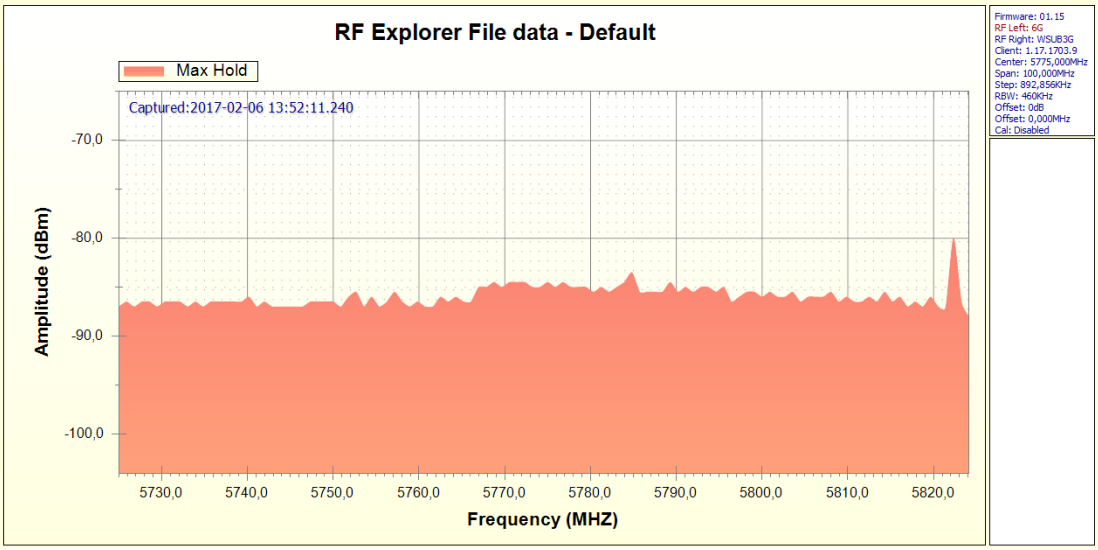


Figura 5.52: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

Tabla 5.5: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones

Frec. Central	Modo	V1	V2	V3	V4	V5	Promedio	Maximo
2.437 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,35E-05	1,86E-05	3,18E-05	3,42E-05	1,34E-04	5,03E-05	1,34E-04
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	6,14E-03	4,19E-03	8,17E-03	6,36E-03	2,27E-02	9,52E-03	2,27E-02
2.437 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,77E-05	3,87E-05	1,25E-05	1,35E-05	1,16E-05	1,88E-05	3,87E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,37E-03	1,49E-02	1,51E-03	1,26E-03	6,42E-04	4,14E-03	1,49E-02
2.437 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,30E-05	1,01E-05	9,44E-06	1,36E-05	1,36E-05	1,19E-05	1,36E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	6,75E-04	1,94E-03	6,89E-04	1,15E-03	7,56E-04	1,04E-03	1,94E-03
2.437 [MHz] (4)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,46E-05	8,18E-06	1,49E-05	9,30E-06	1,18E-05	1,18E-05	1,49E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	3,76E-03	5,23E-04	3,38E-03	3,77E-04	1,23E-03	1,85E-03	3,76E-03
2.437 [MHz] (5)	Average [$\mu W/cm^2$]	9,99E-06	9,70E-05	1,11E-05	7,68E-06	7,43E-06	2,66E-05	9,70E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,34E-03	3,35E-02	6,19E-04	5,62E-04	6,18E-04	7,53E-03	3,35E-02
5.200 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,51E-05	3,51E-05	3,57E-05	3,52E-05	3,56E-05	3,53E-05	3,57E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	9,84E-05	9,83E-05	6,07E-04	3,20E-04	5,55E-04	3,36E-04	6,07E-04
5.200 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,55E-05	3,50E-05	3,49E-05	3,50E-05	3,50E-05	3,51E-05	3,55E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	4,91E-04	8,97E-05	9,15E-05	9,00E-05	9,07E-05	1,71E-04	4,91E-04
5.300 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,53E-05	5,55E-05	5,50E-05	5,54E-05	5,53E-05	5,53E-05	5,55E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,90E-04	1,84E-04	1,84E-04	1,93E-04	1,78E-04	1,86E-04	1,93E-04
5.300 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,57E-05	5,56E-05	5,56E-05	5,59E-05	5,60E-05	5,58E-05	5,60E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,88E-04	1,88E-04	1,87E-04	1,91E-04	1,89E-04	1,89E-04	1,91E-04
5.775 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	2,16E-03	2,16E-03	2,16E-03	2,16E-03	2,17E-03	2,16E-03	2,17E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	5,52E-03	5,51E-03	5,59E-03	5,35E-03	5,75E-03	5,54E-03	5,75E-03
Total	Average [$\mu W/cm^2$]	2,29E-03	2,27E-03	2,29E-03	2,29E-03	2,39E-03	2,31E-03	2,39E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,19E-02	9,99E-03	1,45E-02	1,22E-02	2,92E-02	1,56E-02	2,92E-02
% Límite Norma Chilena	Average [$\mu W/cm^2$]	2,29%	2,27%	2,29%	2,29%	2,39%	2,31%	2,39%
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	11,95%	9,99%	14,55%	12,22%	29,24%	15,59%	29,24%

5.2.6. Centro Comercial “Mall Marina”

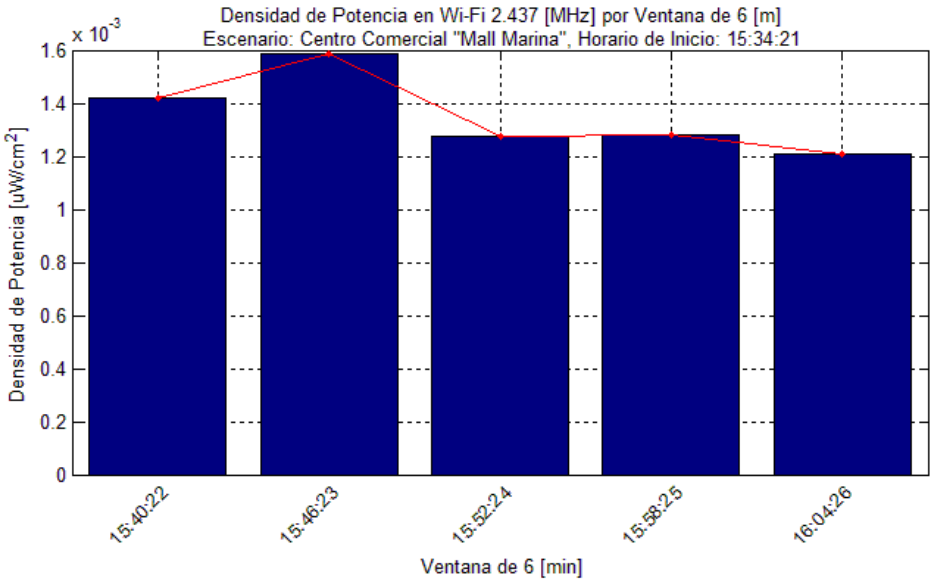


Figura 5.53: Sexta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

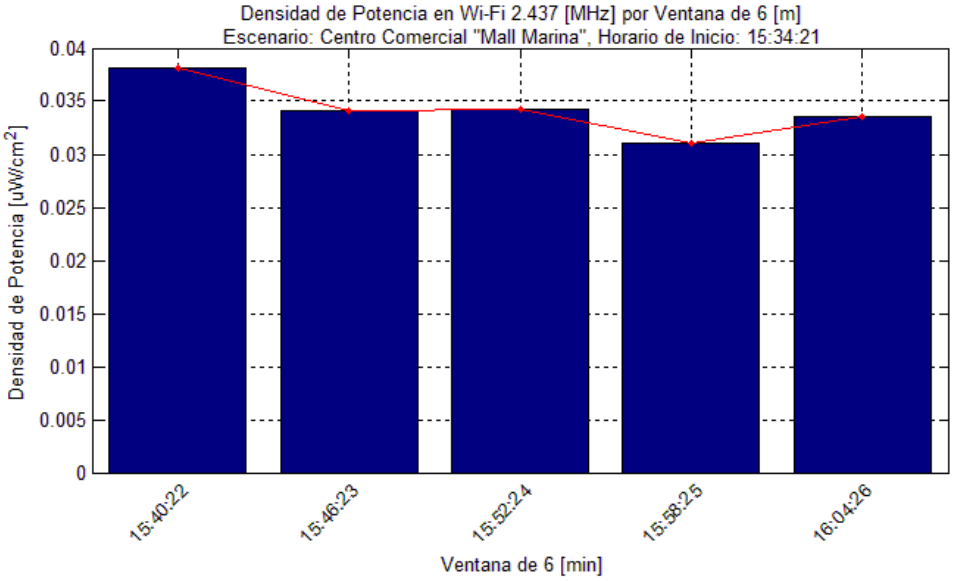


Figura 5.54: Sexta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

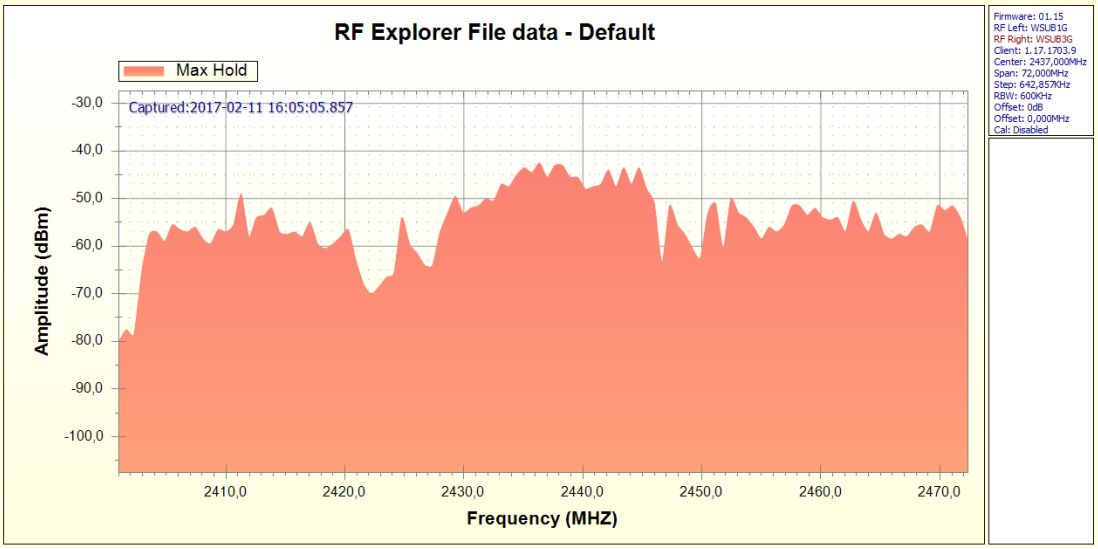


Figura 5.55: Sexta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

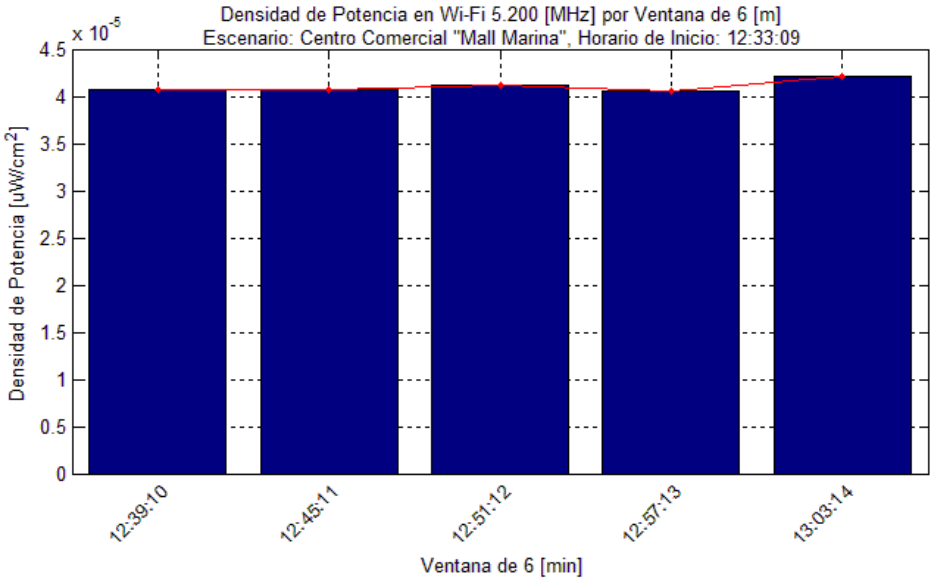


Figura 5.56: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

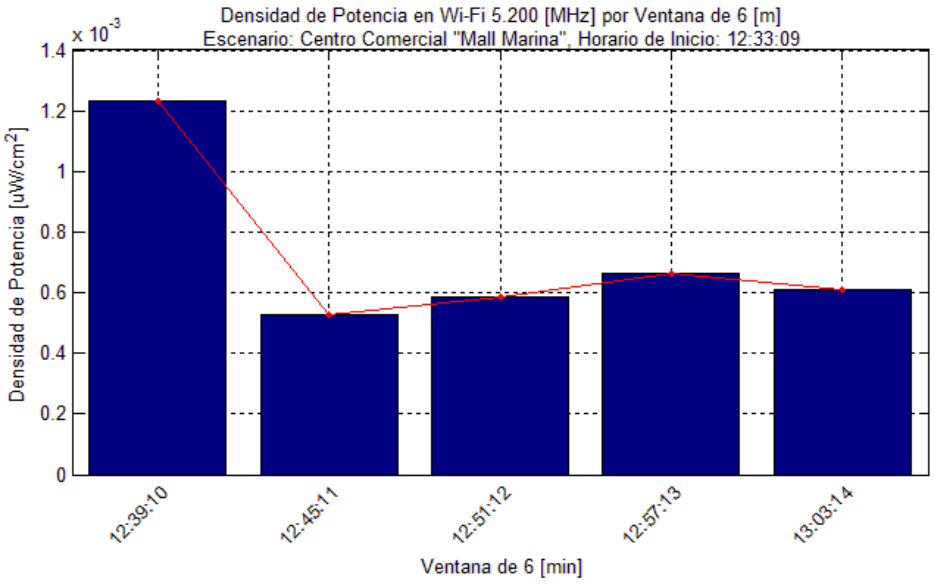


Figura 5.57: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

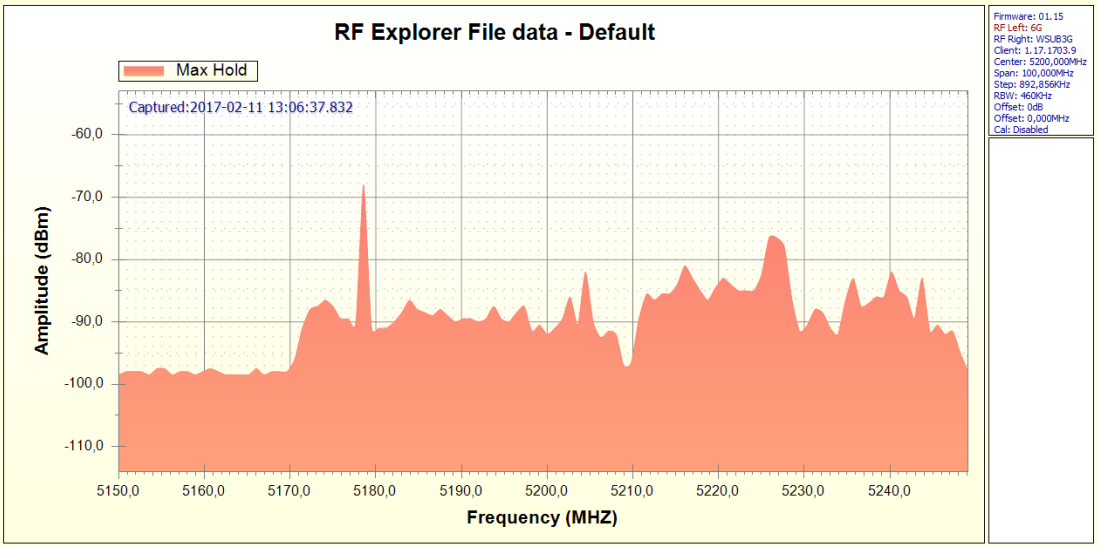


Figura 5.58: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

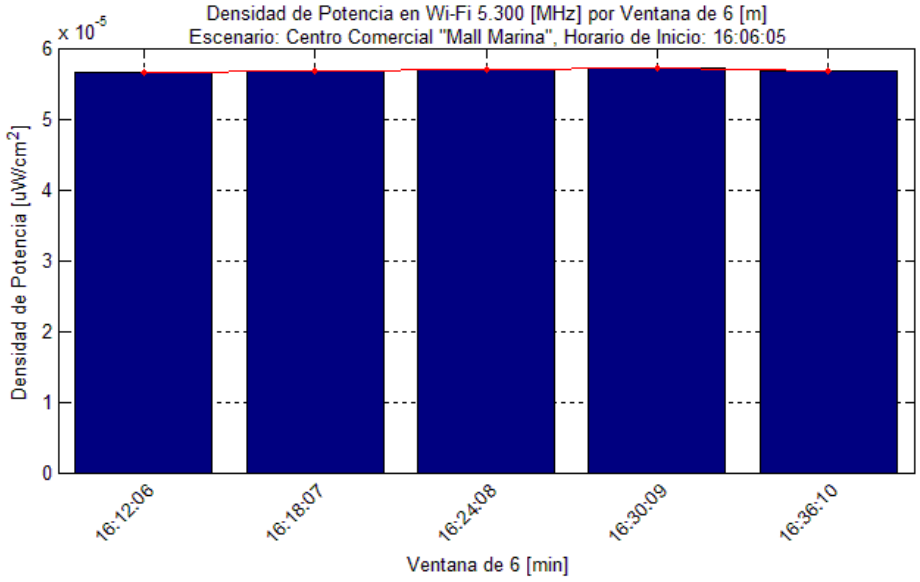


Figura 5.59: Tercera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

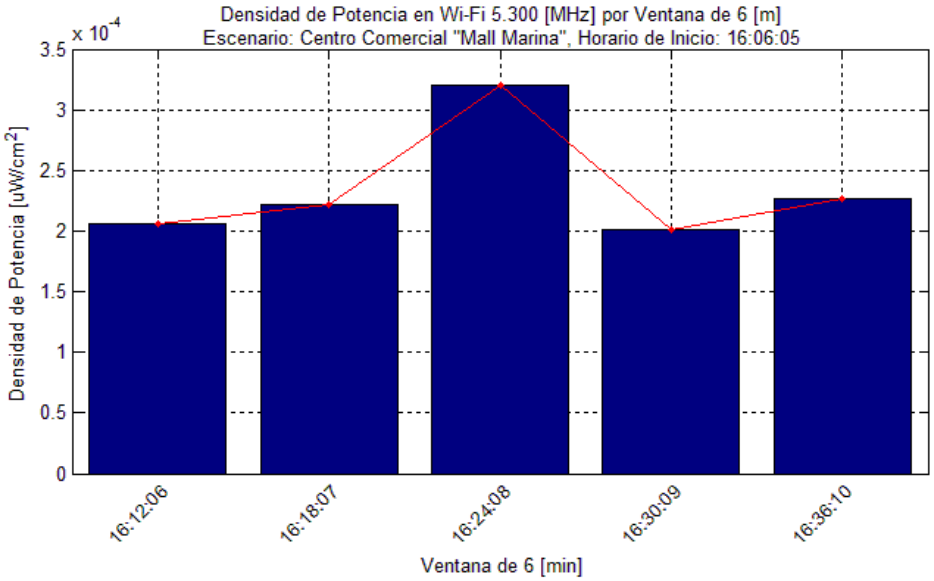


Figura 5.60: Tercera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

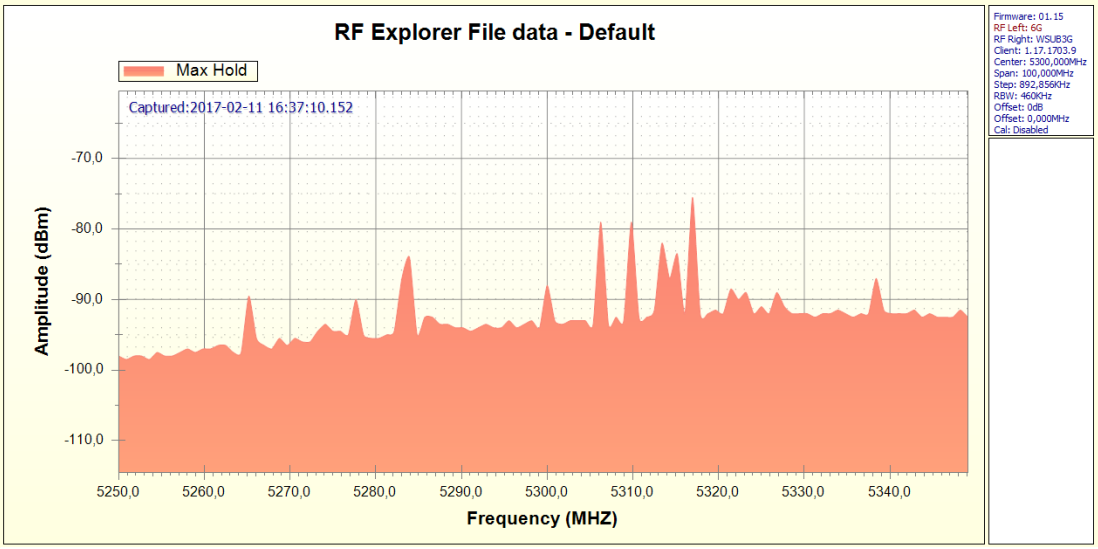


Figura 5.61: Tercera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

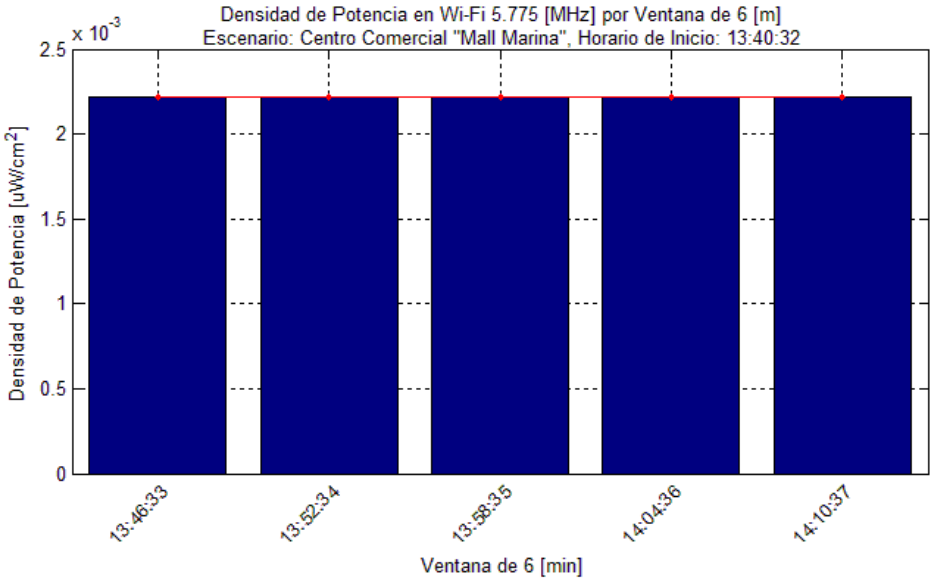


Figura 5.62: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio

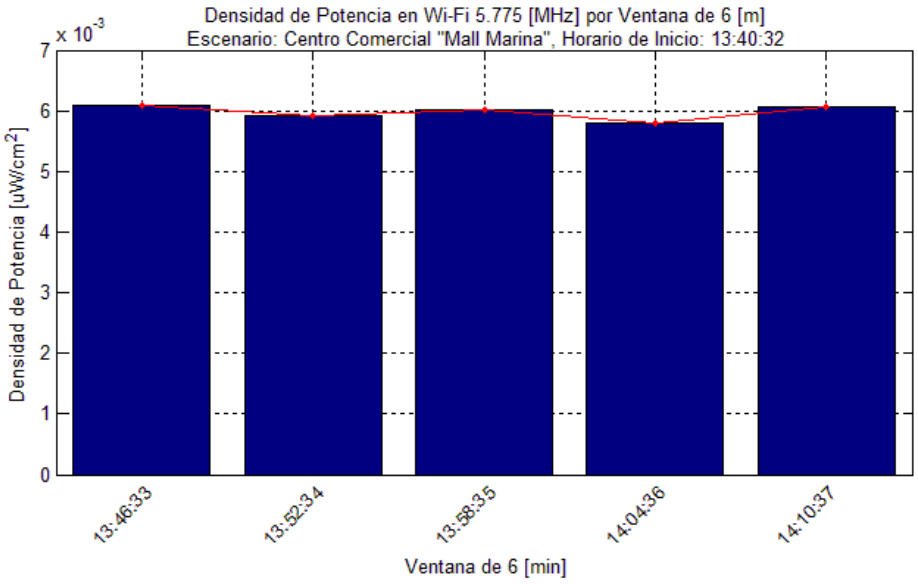


Figura 5.63: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo

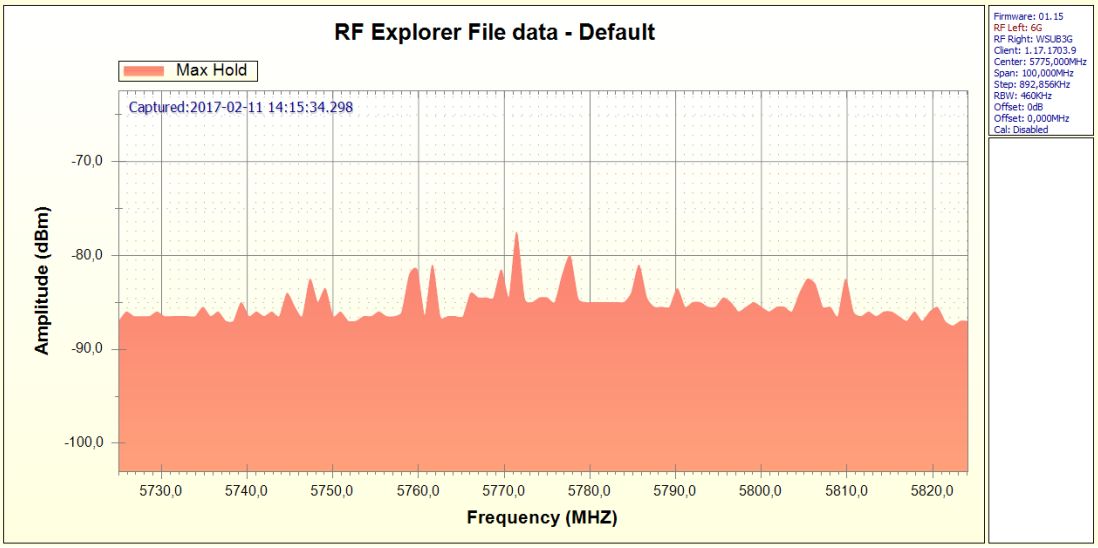


Figura 5.64: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

Tabla 5.6: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones

Frec. Central	Modo	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Promedio	Maximo
2.437 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,73E-04	7,56E-04	6,61E-04	1,40E-03	1,04E-03		8,86E-04	1,40E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,58E-02	2,26E-02	2,00E-02	2,13E-02	3,04E-02		2,20E-02	3,04E-02
2.437 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,21E-03	1,31E-03	1,09E-03	1,09E-03	8,75E-04		1,12E-03	1,31E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	3,21E-02	4,33E-02	2,42E-02	3,27E-02	2,20E-02		3,09E-02	4,33E-02
2.437 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	4,90E-04	1,05E-03	1,08E-03	1,41E-03	1,17E-03		1,04E-03	1,41E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,97E-02	2,58E-02	2,59E-02	2,61E-02	2,87E-02		2,53E-02	2,87E-02
2.437 [MHz] (4)	Average [$\mu W/cm^2$]	7,80E-04	8,96E-04	8,58E-04	1,03E-03	8,90E-04	9,68E-04	8,90E-04	1,03E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,71E-02	2,31E-02	2,50E-02	2,06E-02	1,85E-02	2,57E-02	2,29E-02	2,71E-02
2.437 [MHz] (5)	Average [$\mu W/cm^2$]	8,77E-04	6,56E-04	7,77E-04	1,75E-03	1,27E-03		1,06E-03	1,75E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,40E-02	2,15E-02	2,46E-02	3,59E-02	2,34E-02		2,59E-02	3,59E-02
2.437 [MHz] (6)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,42E-03	1,59E-03	1,27E-03	1,28E-03	1,21E-03		1,35E-03	1,59E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	3,81E-02	3,41E-02	3,42E-02	3,11E-02	3,35E-02		3,42E-02	3,81E-02
2.437 [MHz] (7)	Average [$\mu W/cm^2$]	6,52E-04	6,01E-04	7,22E-04	6,61E-04	2,21E-03		9,69E-04	2,21E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,50E-02	1,76E-02	1,67E-02	2,30E-02	2,27E-02		1,90E-02	2,30E-02
5.200 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	4,07E-05	4,07E-05	4,11E-05	4,06E-05	4,21E-05		4,10E-05	4,21E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,23E-03	5,28E-04	5,86E-04	6,63E-04	6,09E-04		7,24E-04	1,23E-03
5.200 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	4,52E-05	4,71E-05	3,82E-05	3,90E-05	3,77E-05	3,75E-05	4,14E-05	4,71E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	5,26E-04	7,74E-04	3,51E-04	1,10E-03	4,57E-04	3,16E-04	6,41E-04	1,10E-03
5.200 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	2,16E-03	2,16E-03	2,16E-03	2,16E-03	2,17E-03		2,16E-03	2,17E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	5,52E-03	5,51E-03	5,59E-03	5,35E-03	5,75E-03		5,54E-03	5,75E-03
5.300 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,70E-05	5,71E-05	5,68E-05	5,67E-05	5,68E-05		5,69E-05	5,71E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,15E-04	2,16E-04	2,12E-04	2,22E-04	2,25E-04		2,18E-04	2,25E-04
5.300 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,67E-05	5,64E-05	5,66E-05	5,65E-05	5,67E-05		5,66E-05	5,67E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,07E-04	2,16E-04	2,52E-04	2,03E-04	2,13E-04		2,18E-04	2,52E-04
5.300 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,66E-05	5,67E-05	5,69E-05	5,71E-05	5,69E-05		5,68E-05	5,71E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	2,06E-04	2,22E-04	3,20E-04	2,02E-04	2,27E-04		2,35E-04	3,20E-04
5.775 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	2,22E-03	2,22E-03	2,22E-03	2,21E-03	2,22E-03		2,22E-03	2,22E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	6,09E-03	5,91E-03	6,01E-03	5,80E-03	6,07E-03		5,98E-03	6,09E-03
Total	Average [$\mu W/cm^2$]	3,74E-03	3,90E-03	3,59E-03	3,59E-03	3,52E-03		3,67E-03	3,90E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	4,56E-02	4,08E-02	4,11E-02	3,77E-02	4,04E-02		4,11E-02	4,56E-02
% Límite	Average [$\mu W/cm^2$]	0,37%	0,39%	0,36%	0,36%	0,35%		0,37%	0,39%
Norma Chilena	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	4,56%	4,08%	4,11%	3,77%	4,04%		4,11%	4,56%

5.2.7. Edificio “Torre Coraceros”

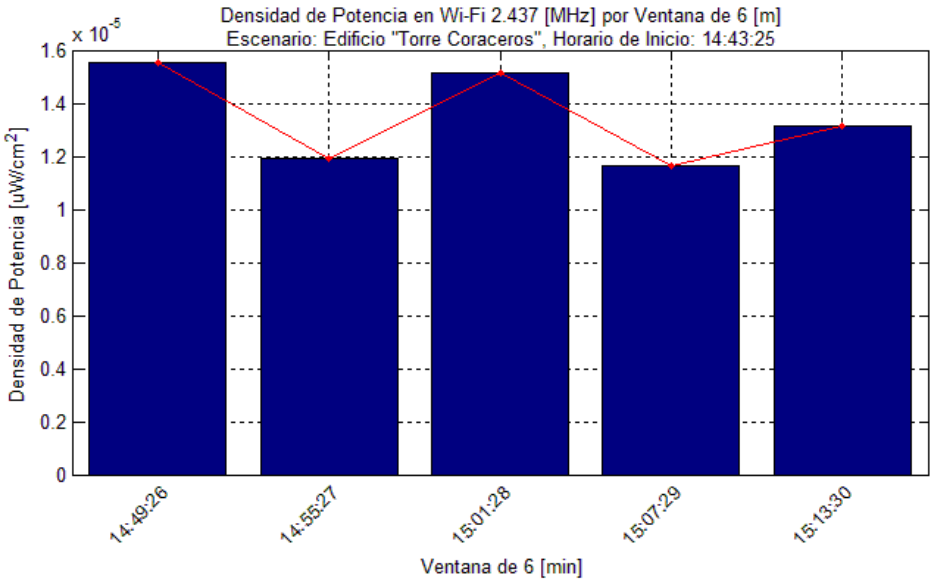


Figura 5.65: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

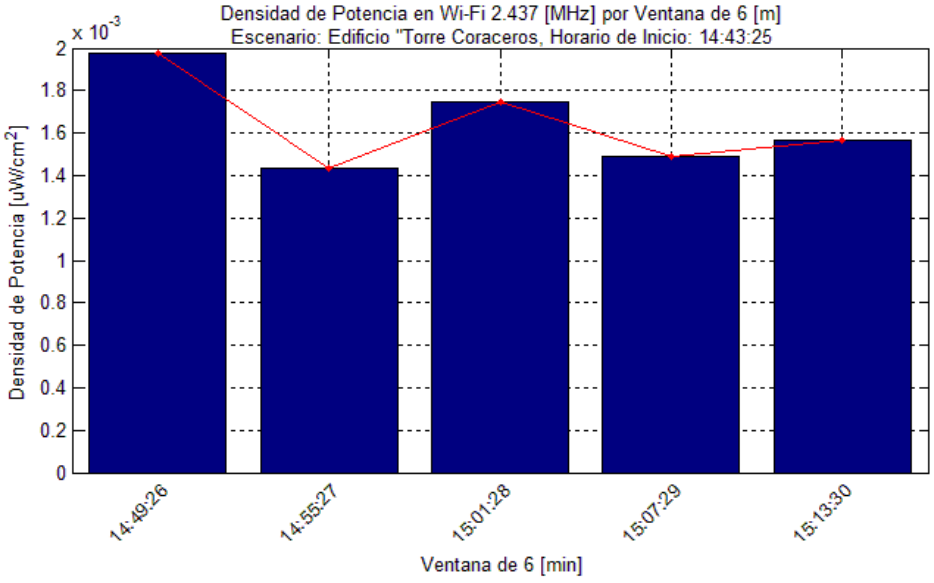


Figura 5.66: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

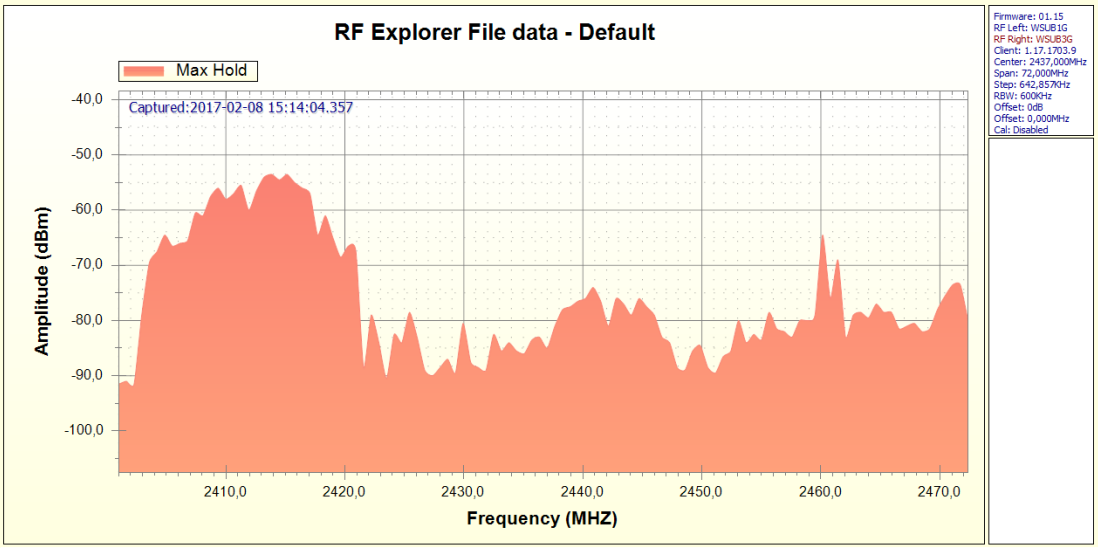


Figura 5.67: Quinta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

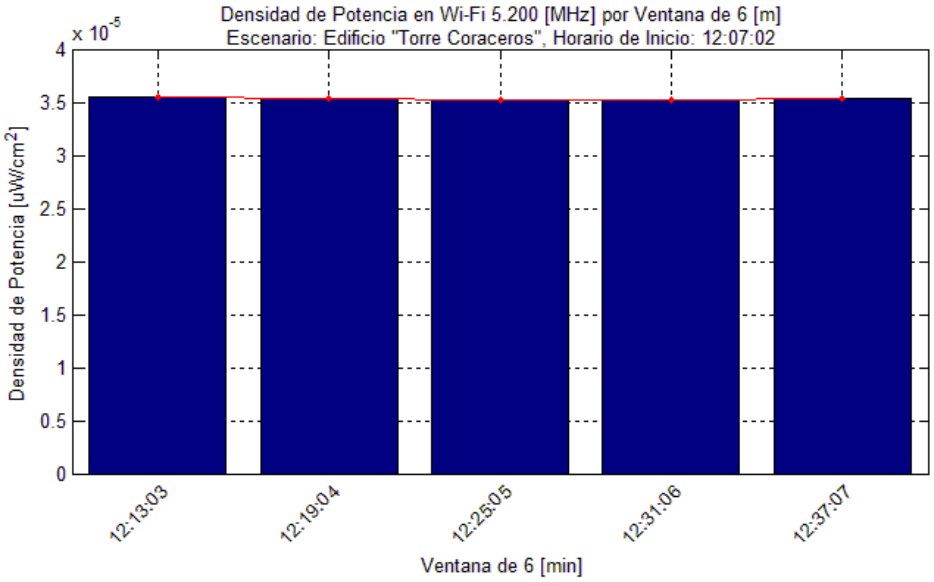


Figura 5.68: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

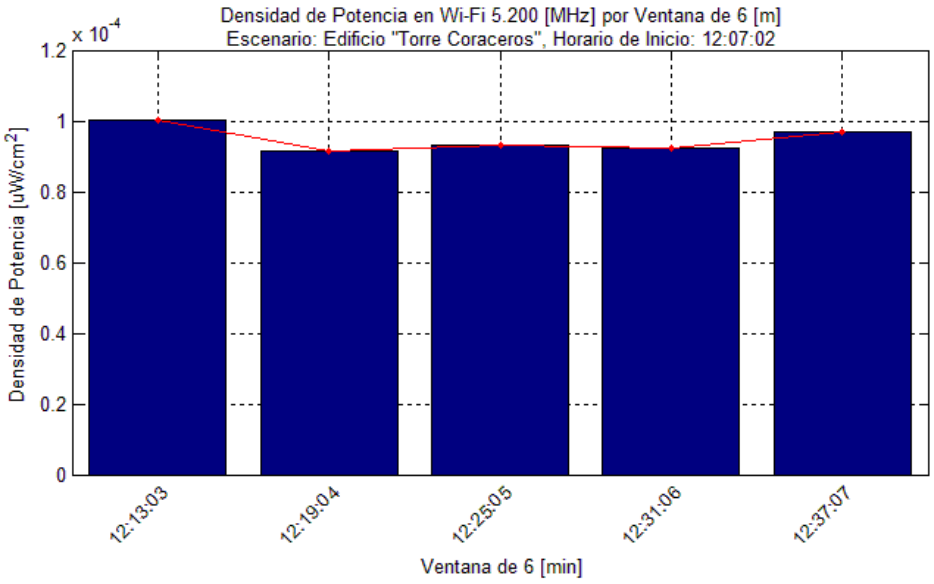


Figura 5.69: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

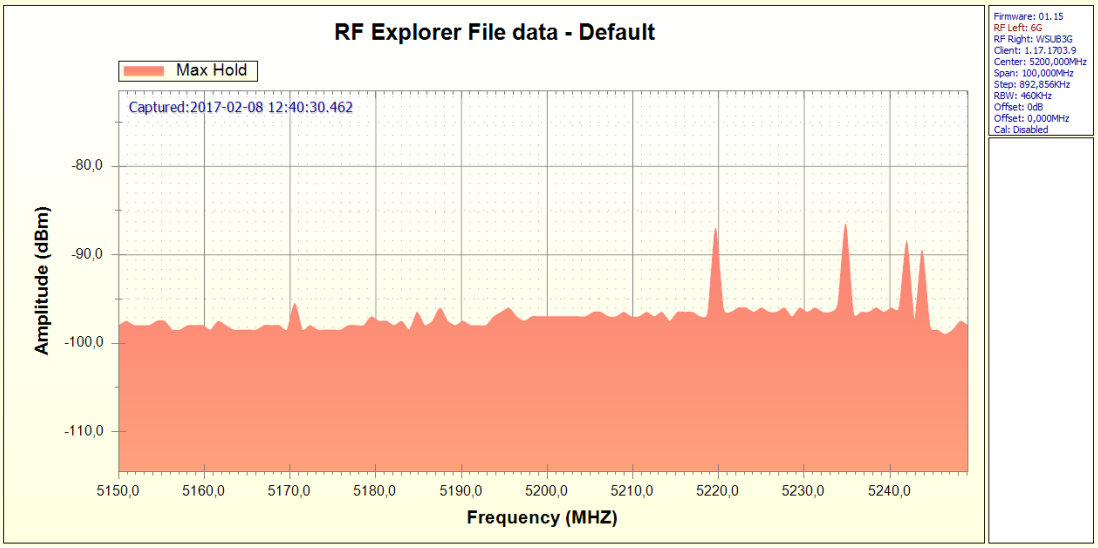


Figura 5.70: Primera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

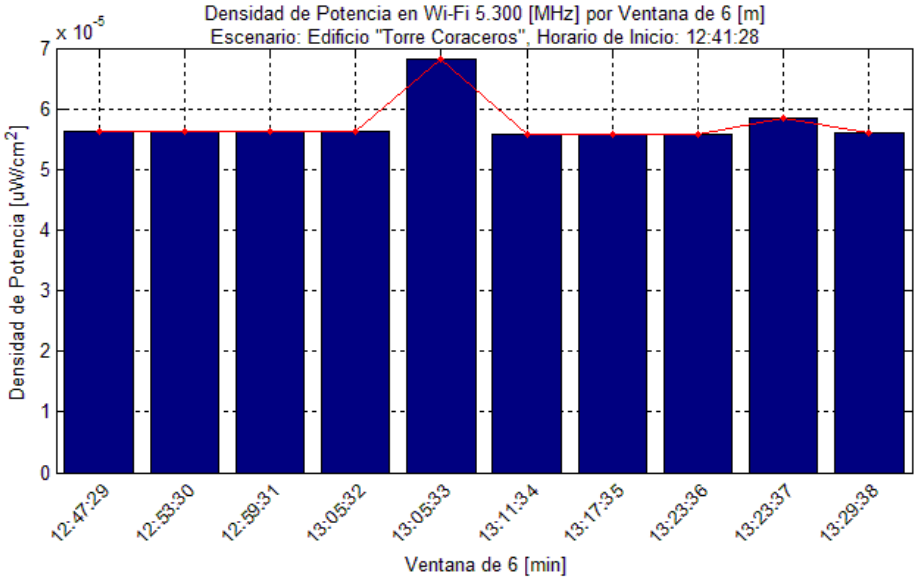


Figura 5.71: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

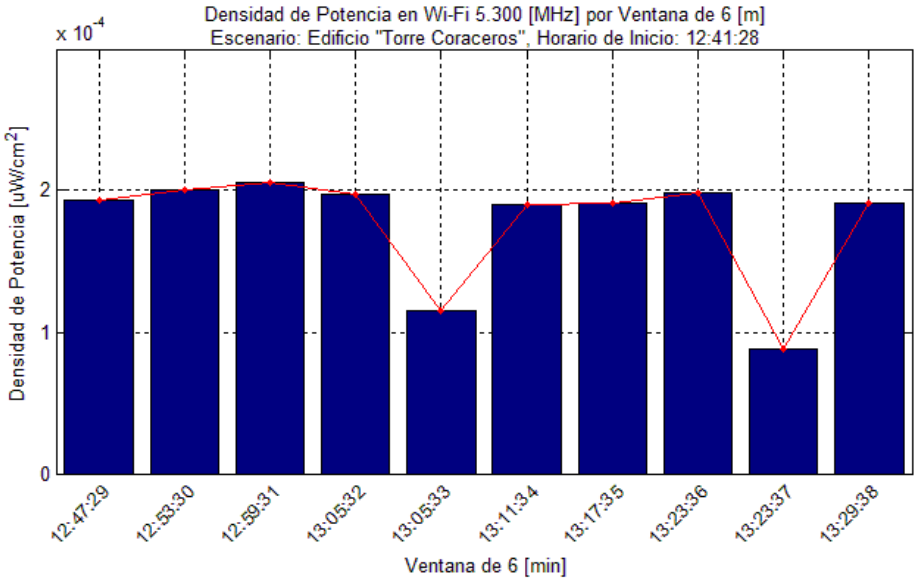


Figura 5.72: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

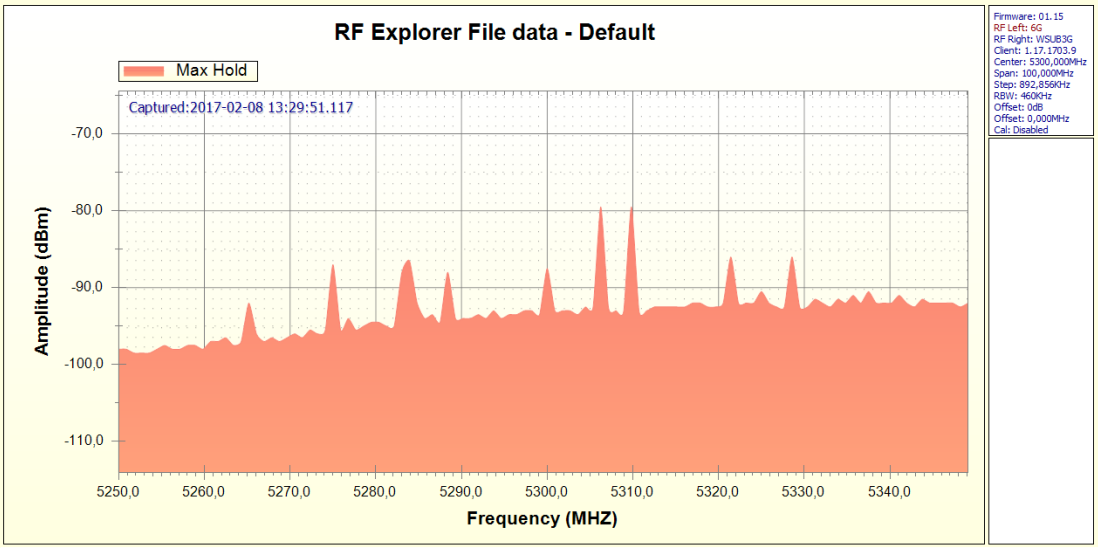


Figura 5.73: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

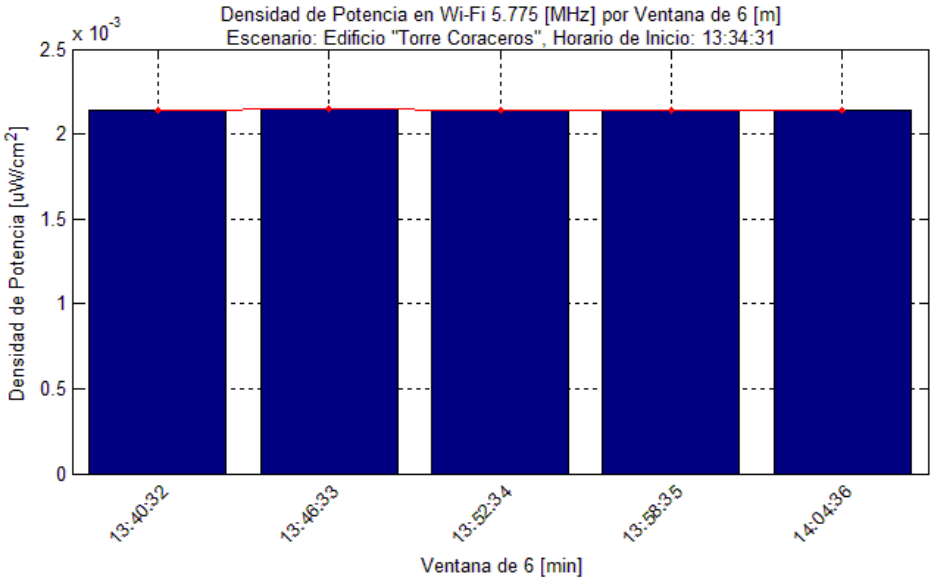


Figura 5.74: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Promedio

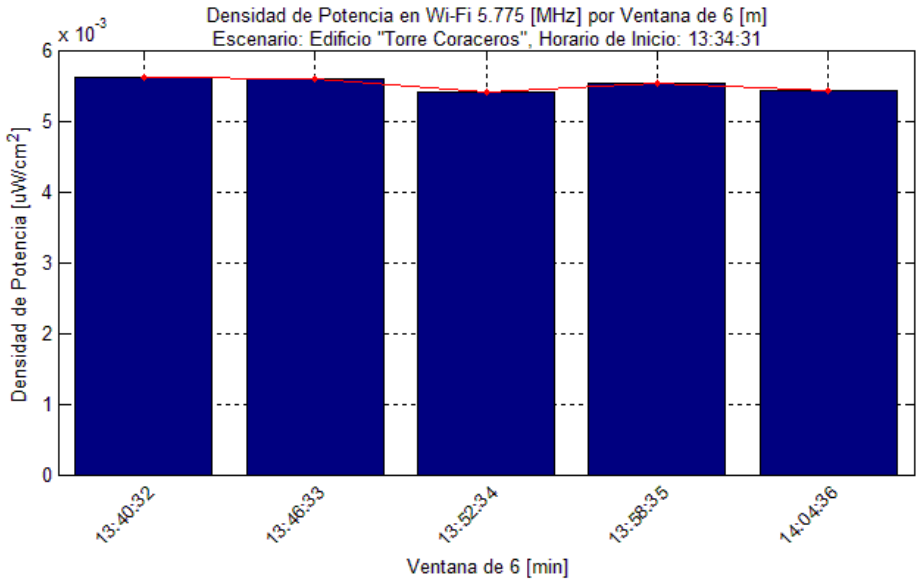


Figura 5.75: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Función: Máximo

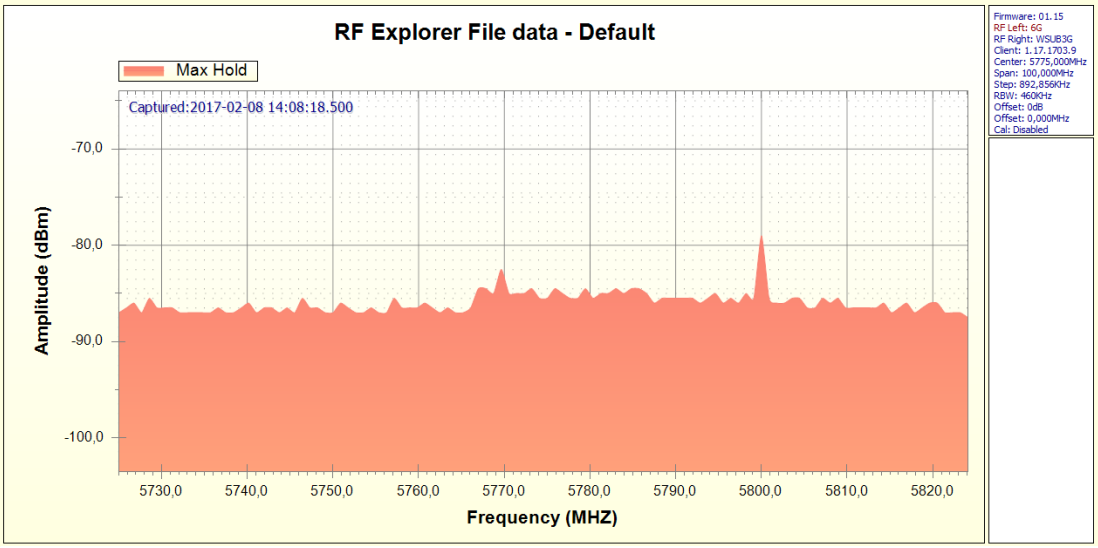


Figura 5.76: Primera medición banda 5.775 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

Tabla 5.7: Resultados de todas las mediciones realizadas en el escenario, por ventanas de 6 [min] de medición, para dos tipos de funciones

Frec. Central	Modo	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	Promedio	Maximo
2.437 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,83E-06	5,68E-06	6,00E-06	1,29E-05	9,69E-06						8,02E-06	1,29E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	3,73E-04	3,57E-04	4,42E-04	3,35E-03	1,60E-03						1,22E-03	3,35E-03
2.437 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	7,14E-06	6,97E-06	6,48E-06	7,64E-06	9,08E-06	8,29E-06	7,19E-06	7,21E-06			7,46E-06	9,08E-06
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	4,50E-04	4,76E-04	4,25E-04	5,72E-04	6,83E-04	5,17E-04	5,47E-04	4,86E-04			5,21E-04	6,83E-04
2.437 [MHz] (3)	Average [$\mu W/cm^2$]	4,14E-06	6,83E-06	1,18E-05	1,42E-05	1,50E-05						1,04E-05	1,50E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	3,18E-04	1,11E-03	1,52E-03	1,84E-03	1,67E-03						1,29E-03	1,84E-03
2.437 [MHz] (4)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,41E-05	1,27E-05	9,96E-06	1,02E-05	9,68E-06						1,13E-05	1,41E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,58E-03	1,51E-03	1,35E-03	1,42E-03	1,31E-03						1,44E-03	1,58E-03
2.437 [MHz] (5)	Average [$\mu W/cm^2$]	1,55E-05	1,19E-05	1,51E-05	1,17E-05	1,31E-05						1,35E-05	1,55E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,98E-03	1,43E-03	1,75E-03	1,49E-03	1,57E-03						1,64E-03	1,98E-03
5.200 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,55E-05	3,54E-05	3,52E-05	3,53E-05	3,53E-05						3,53E-05	3,55E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,00E-04	9,16E-05	9,32E-05	9,23E-05	9,67E-05						9,48E-05	1,00E-04
5.200 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	3,54E-05	3,54E-05	3,54E-05	3,53E-05	3,53E-05						3,54E-05	3,54E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	9,02E-05	8,98E-05	9,08E-05	9,56E-05	9,02E-05						9,13E-05	9,56E-05
5.300 [MHz] (1)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,63E-05	5,63E-05	5,62E-05	5,62E-05	6,83E-05	5,57E-05	5,58E-05	5,58E-05	5,85E-05	5,61E-05	5,86E-05	6,83E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,93E-04	2,00E-04	2,06E-04	1,97E-04	1,15E-04	1,90E-04	1,91E-04	1,99E-04	8,76E-05	1,91E-04	1,82E-04	2,06E-04
5.300 [MHz] (2)	Average [$\mu W/cm^2$]	5,55E-05	5,55E-05	5,55E-05	5,55E-05	5,58E-05						5,55E-05	5,58E-05
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	1,95E-04	1,92E-04	1,89E-04	1,88E-04	1,89E-04						1,90E-04	1,95E-04
5.775 [MHz]	Average [$\mu W/cm^2$]	2,14E-03	2,14E-03	2,14E-03	2,14E-03	2,14E-03						2,14E-03	2,14E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	5,61E-03	5,59E-03	5,41E-03	5,53E-03	5,43E-03						5,52E-03	5,61E-03
Total	Average [$\mu W/cm^2$]	2,25E-03	2,25E-03	2,25E-03	2,25E-03	2,26E-03						2,25E-03	2,26E-03
	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	7,88E-03	7,32E-03	7,46E-03	7,30E-03	7,21E-03						7,44E-03	7,88E-03
% Límite	Average [$\mu W/cm^2$]	0,22%	0,22%	0,23%	0,22%	0,23%						0,23%	0,23%
Norma Chilena	MaxHold [$\mu W/cm^2$]	0,79%	0,73%	0,75%	0,73%	0,72%						0,74%	0,79%

5.3. Análisis de Resultados

5.3.1. Paradero 5

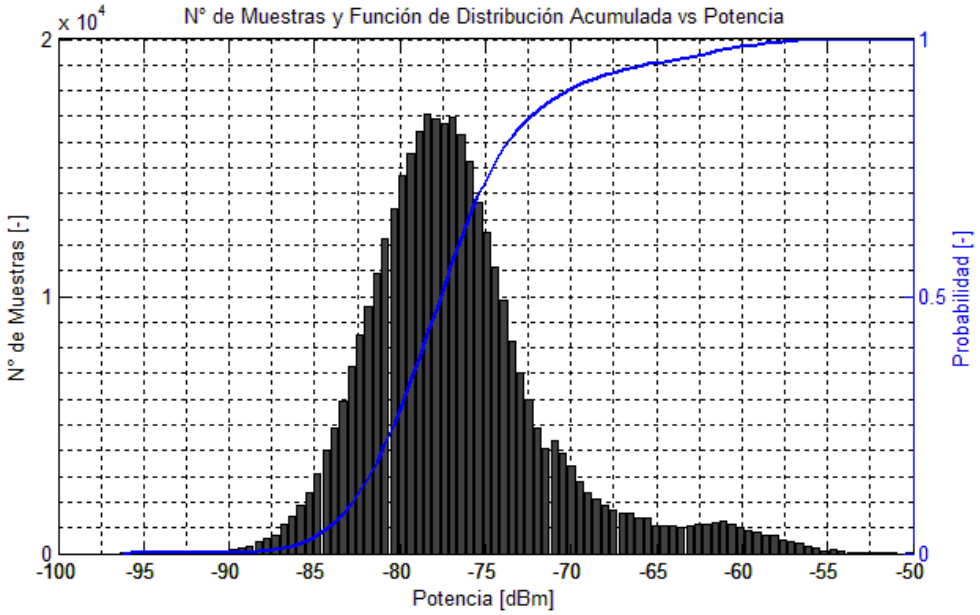


Figura 5.77: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

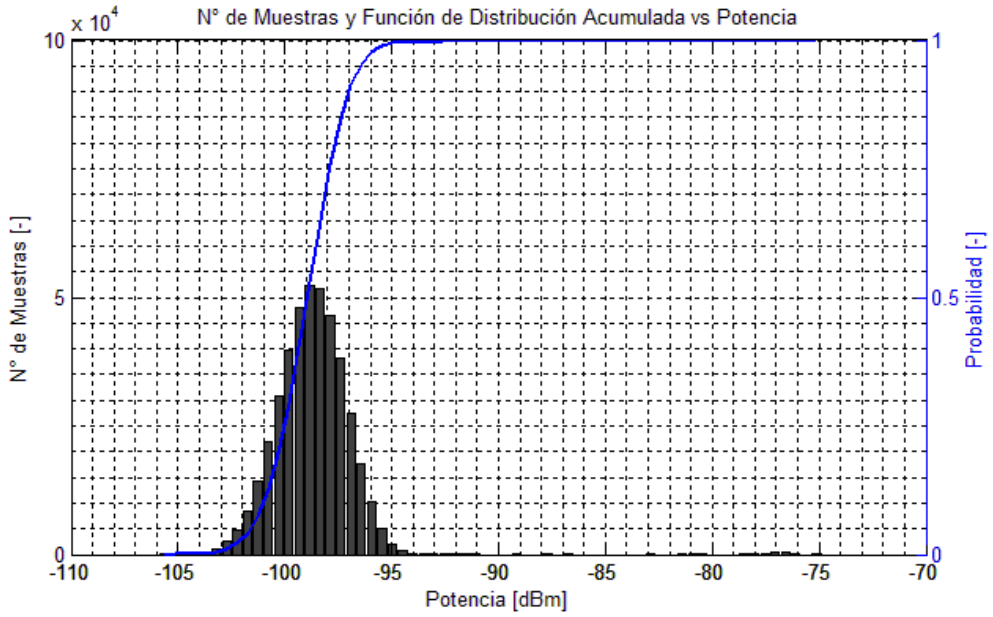


Figura 5.78: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

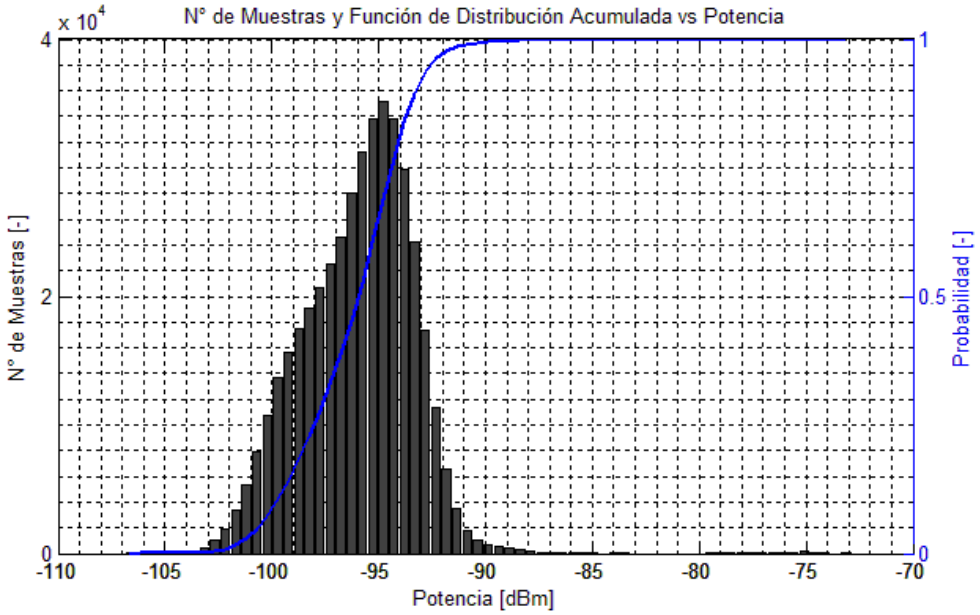


Figura 5.79: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

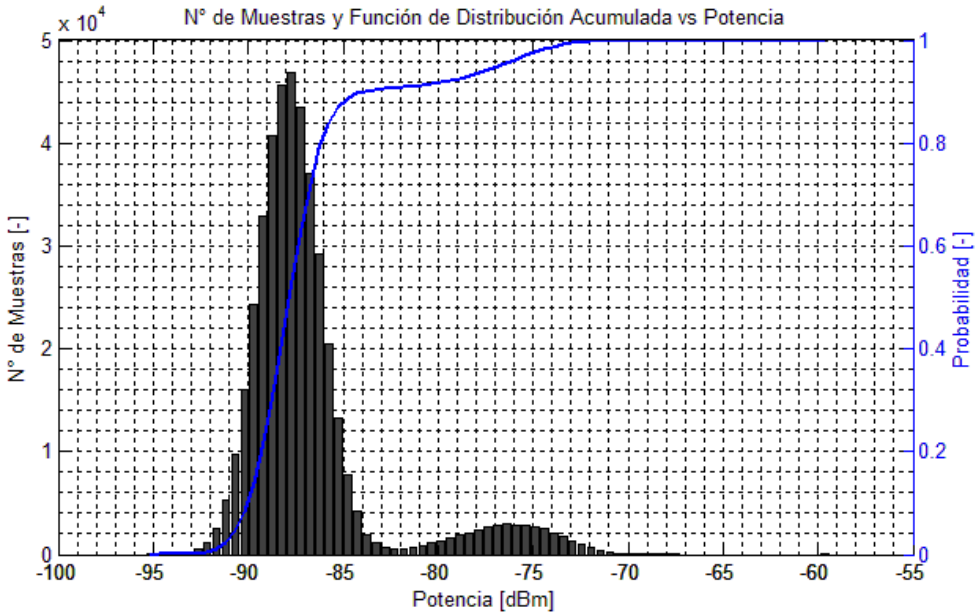


Figura 5.80: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Tabla 5.8: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario

Frec. Central	Mínimo [dBm]	Máximo [dBm]	Promedio [dBm]	#Muestras	#Divisiones	≈25% Acum [dBm]	≈50% Acum [dBm]	≈75% Acum [dBm]	≈95% Acum [dBm]
2.437 [MHz] (1)	-96,20	-50,20	-76,44	358400	94	-80,37	-77,90	-74,93	-66,03
2.437 [MHz] (2)	-97,20	-50,20	-77,18	358400	96	-81,37	-78,40	-75,93	-67,02
2.437 [MHz] (3)	-96,70	-52,70	-77,22	358400	90	-81,37	-78,41	-75,44	-68,03
5.200 [MHz]	-105,62	-75,12	-98,46	426272	64	-100,29	-99,33	-98,36	-96,91
5.300 [MHz]	-106,62	-73,12	-95,82	425600	69	-98,24	-96,27	-94,80	-92,83
5.775 [MHz]	-95,12	-59,62	-86,63	425600	73	-89,20	-88,22	-86,74	-76,88

5.3.2. Jardín Infantil "Aprendemos Jugando"

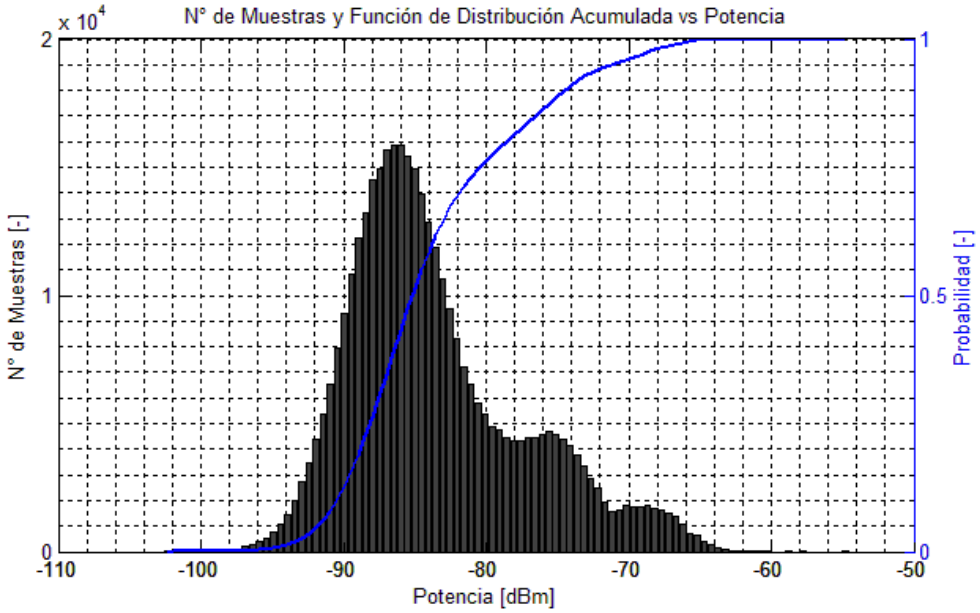


Figura 5.81: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

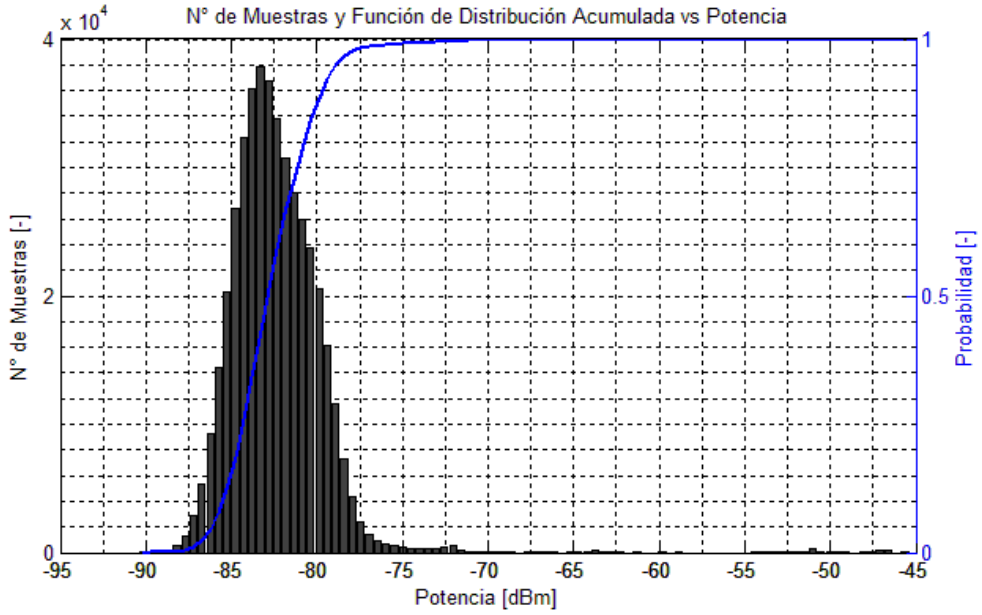


Figura 5.82: Primera medición banda 5.250 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Tabla 5.9: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario

Frec. Central	Mínimo [dBm]	Máximo [dBm]	Promedio [dBm]	#Muestras	#Divisiones	≈25% Acum [dBm]	≈50% Acum [dBm]	≈75% Acum [dBm]	≈95% Acum [dBm]
2.437 [MHz] (1)	-102,32	-54,82	-83,33	370496	97	-88,47	-85,50	-80,55	-71,64
2.437 [MHz] (2)	-102,32	-59,32	-84,38	415520	88	-88,98	-86,01	-81,56	-74,15
2.437 [MHz] (3)	-102,32	-59,82	-89,93	420448	87	-93,43	-90,95	-88,48	-82,55
2.437 [MHz] (4)	-102,32	-64,82	-88,97	380800	77	-93,44	-90,97	-87,02	-78,64
5.250 [MHz] (1)	-90,15	-45,65	-82,21	436800	92	-84,77	-83,30	-81,35	-78,90
5.250 [MHz] (2)	-91,15	-46,15	-82,20	487536	93	-84,79	-83,32	-81,37	-78,92
5.250 [MHz] (3)	-90,65	-46,65	-82,15	496384	92	-84,37	-82,91	-81,46	-79,53

5.3.3. Jardín Infantil “Snoopy”

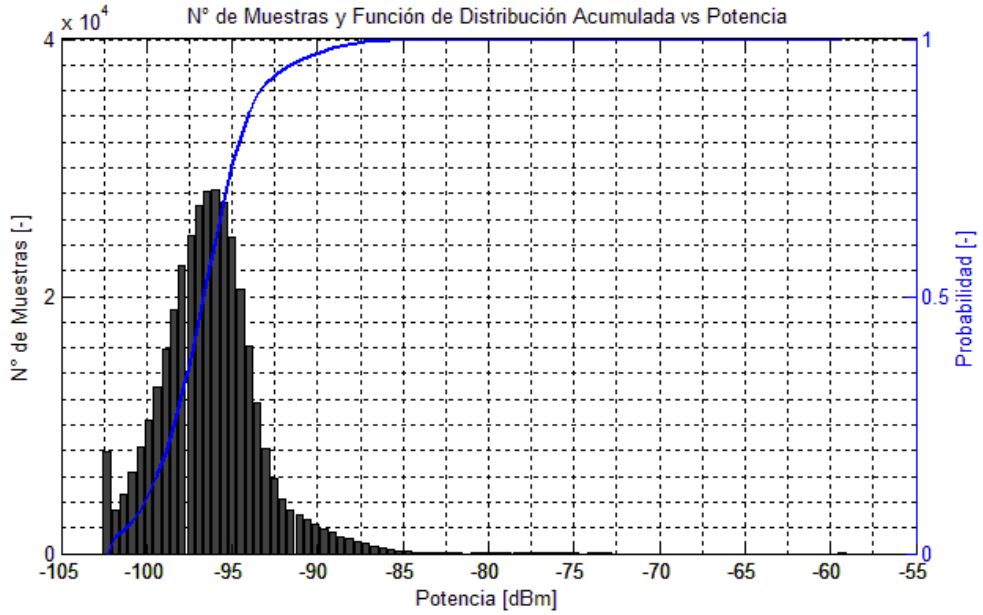


Figura 5.83: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

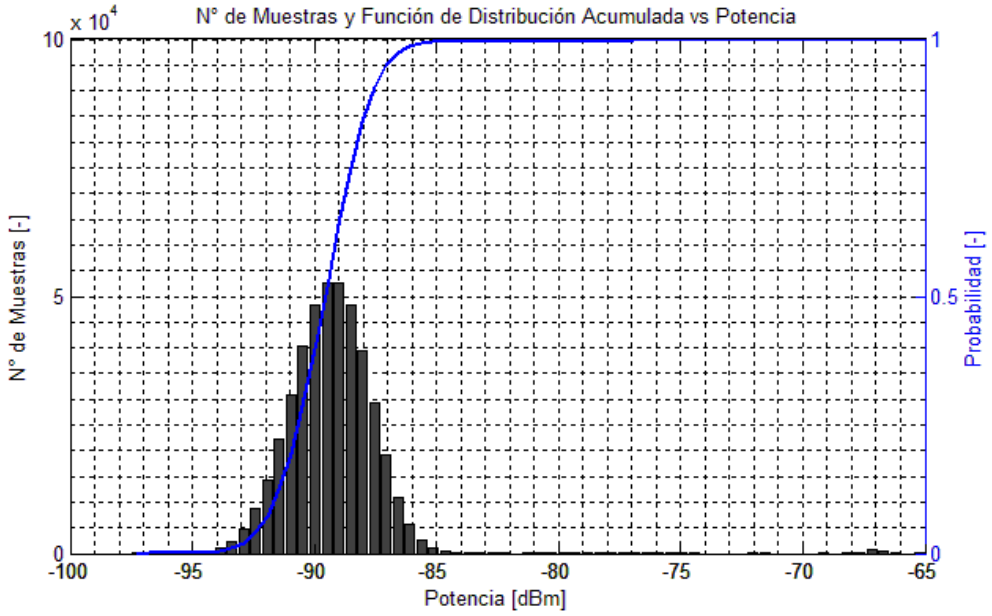


Figura 5.84: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

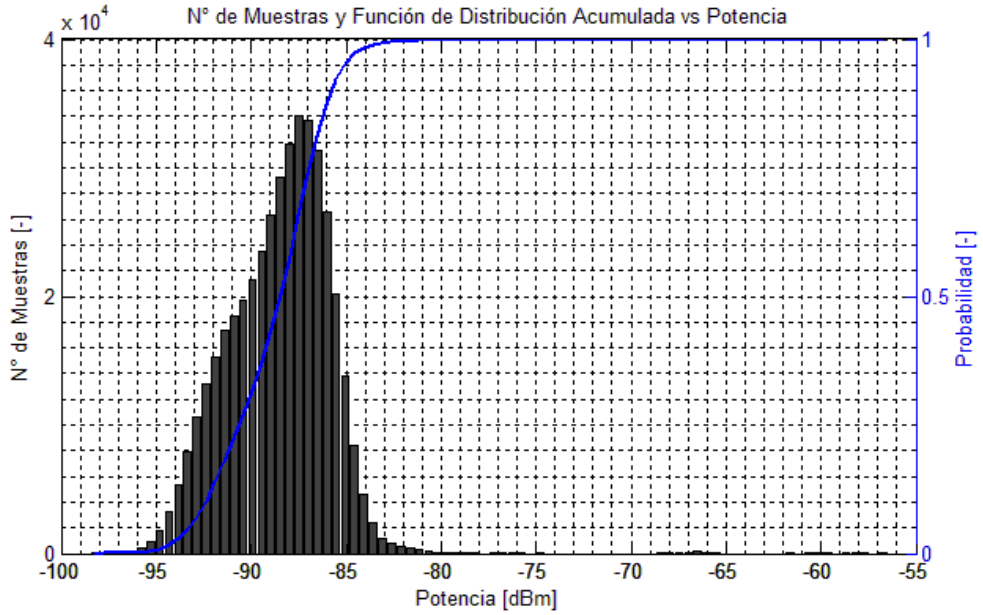


Figura 5.85: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

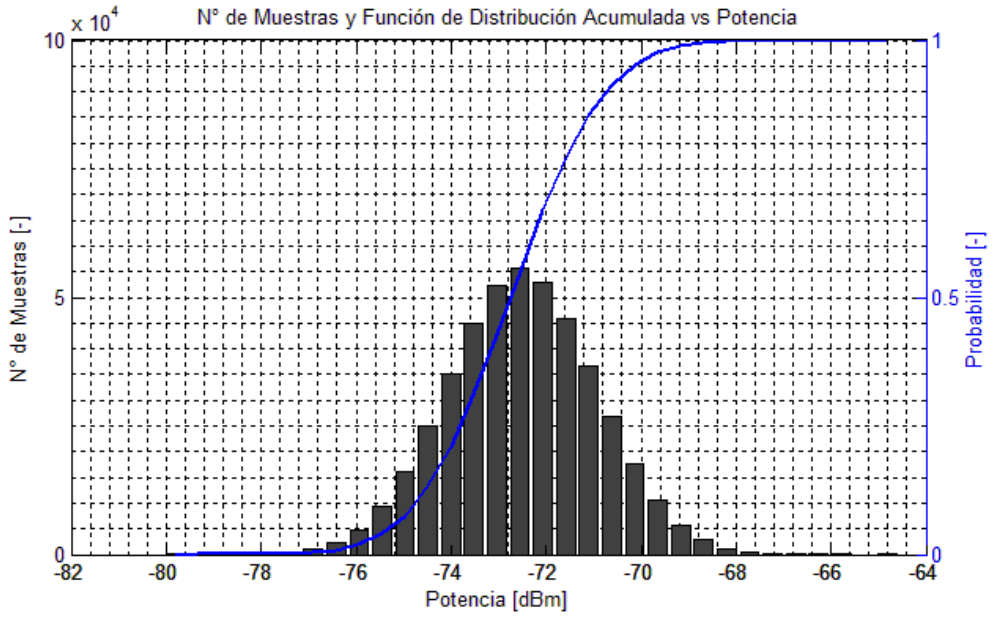


Figura 5.86: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Tabla 5.10: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario

Frec. Central	Mínimo [dBm]	Máximo [dBm]	Promedio [dBm]	#Muestras	#Divisiones	≈25% Acum [dBm]	≈50% Acum [dBm]	≈75% Acum [dBm]	≈95% Acum [dBm]
2.437 [MHz] (1)	-102,32	-75,32	-96,24	358400	56	-98,39	-96,92	-95,45	-92,01
2.437 [MHz] (2)	-102,32	-59,32	-96,20	358848	89	-98,41	-96,95	-95,48	-92,06
2.437 [MHz] (3)	-102,32	-76,82	-96,34	380800	53	-98,89	-96,93	-95,45	-92,51
5.200 [MHz]	-97,25	-65,25	-89,04	436800	67	-90,95	-89,98	-88,52	-87,07
5.300 [MHz]	-98,23	-56,73	-88,29	425824	86	-90,91	-88,95	-87,00	-85,54
5.775 [MHz]	-79,81	-64,81	-72,26	448000	32	-74,00	-73,04	-72,07	-70,62

5.3.4. Hospital “Carlos Van Buren”

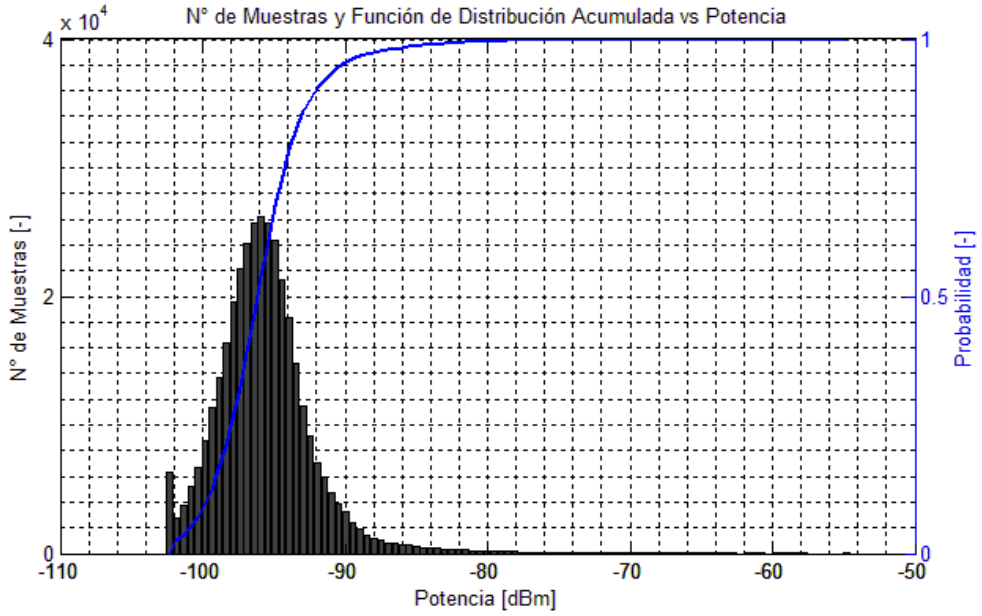


Figura 5.87: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

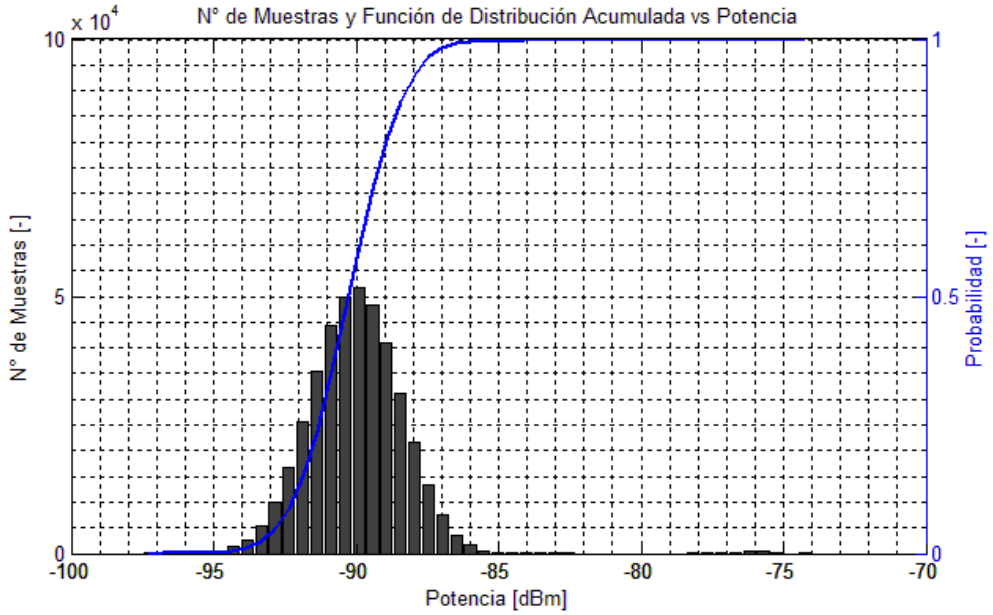


Figura 5.88: Primera medición banda 5200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada.

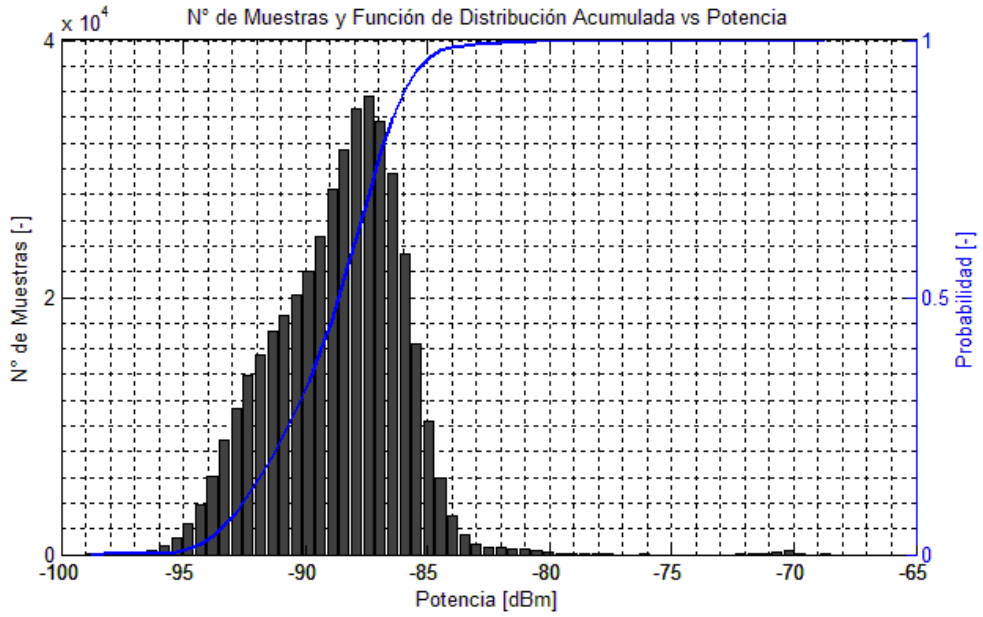


Figura 5.89: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

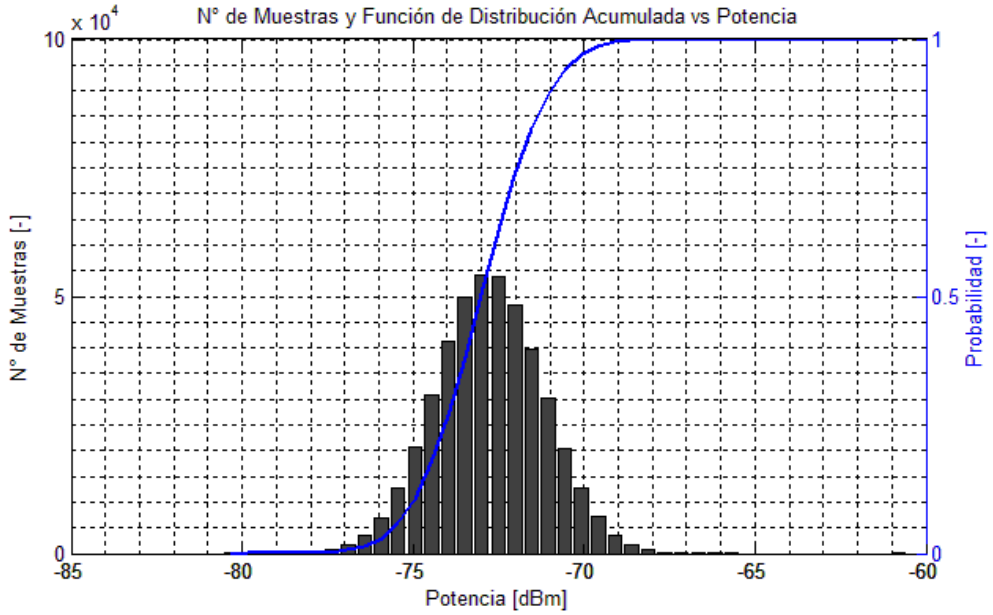


Figura 5.90: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Tabla 5.11: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario

Frec. Central	Mínimo [dBm]	Máximo [dBm]	Promedio [dBm]	#Muestras	#Divisiones	≈25% Acum [dBm]	≈50% Acum [dBm]	≈75% Acum [dBm]	≈95% Acum [dBm]
2.437 [MHz] (1)	-102,32	-52,82	-95,57	358400	101	-98,36	-96,38	-94,40	-90,44
2.437 [MHz] (2)	-102,32	-54,82	-95,56	358400	97	-98,36	-96,38	-94,40	-90,45
2.437 [MHz] (3)	-102,32	-56,82	-95,65	377440	93	-98,36	-96,39	-94,90	-90,45
5.200 [MHz]	-97,25	-74,25	-89,83	414400	48	-91,38	-90,40	-89,42	-87,95
5.300 [MHz]	-98,73	-68,73	-88,51	425600	62	-90,86	-88,89	-87,42	-85,45
5.775 [MHz]	-80,31	-60,81	-72,57	441280	41	-74,46	-73,48	-72,02	-70,56

5.3.5. Clínica “Ciudad del Mar”

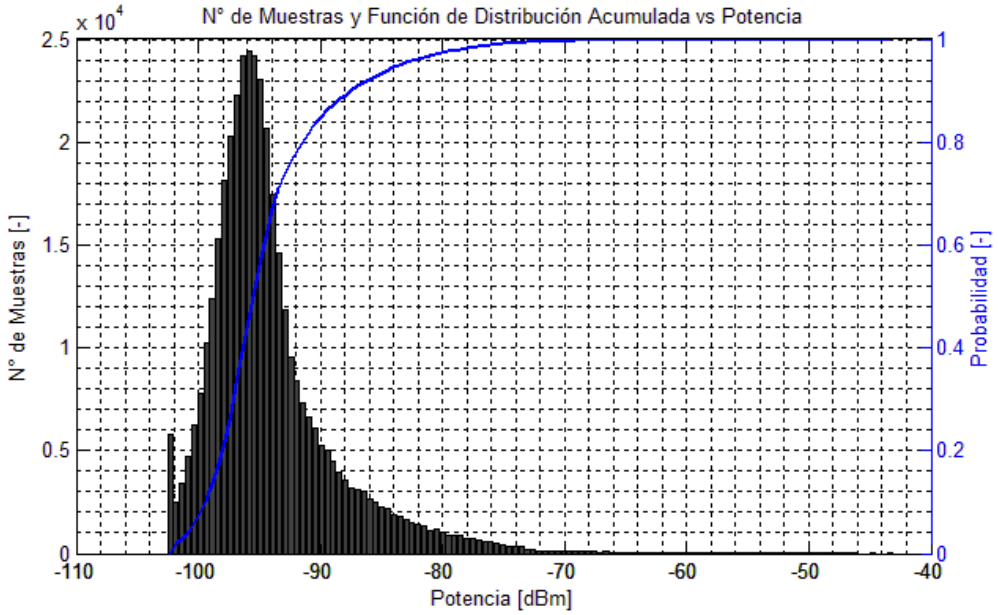


Figura 5.91: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

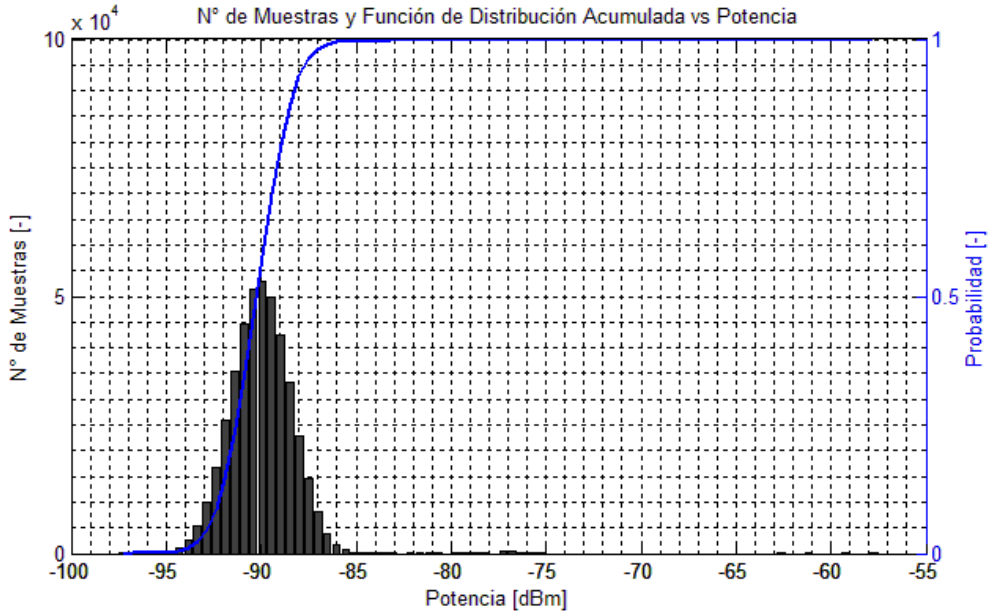


Figura 5.92: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

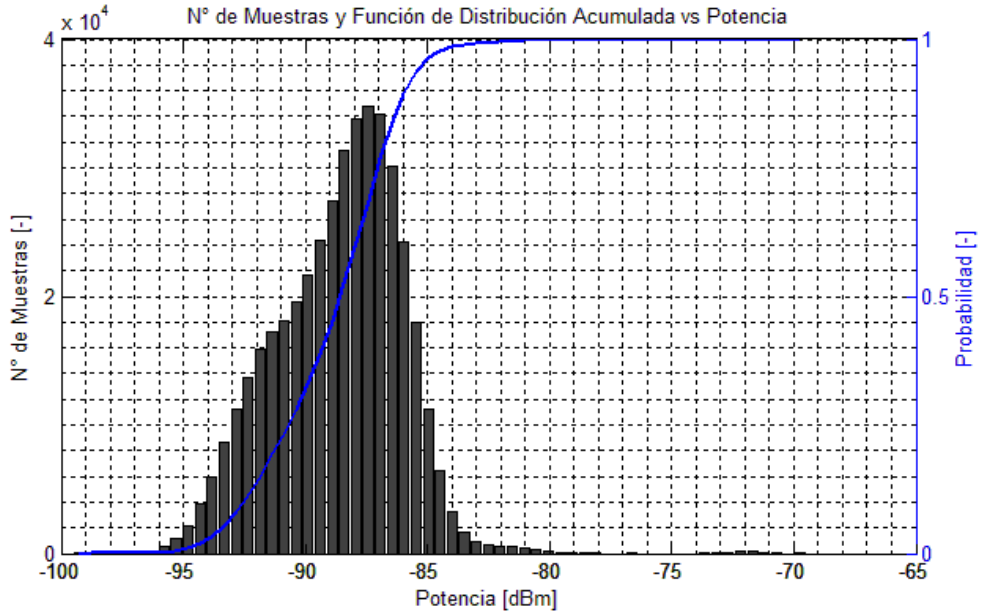


Figura 5.93: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

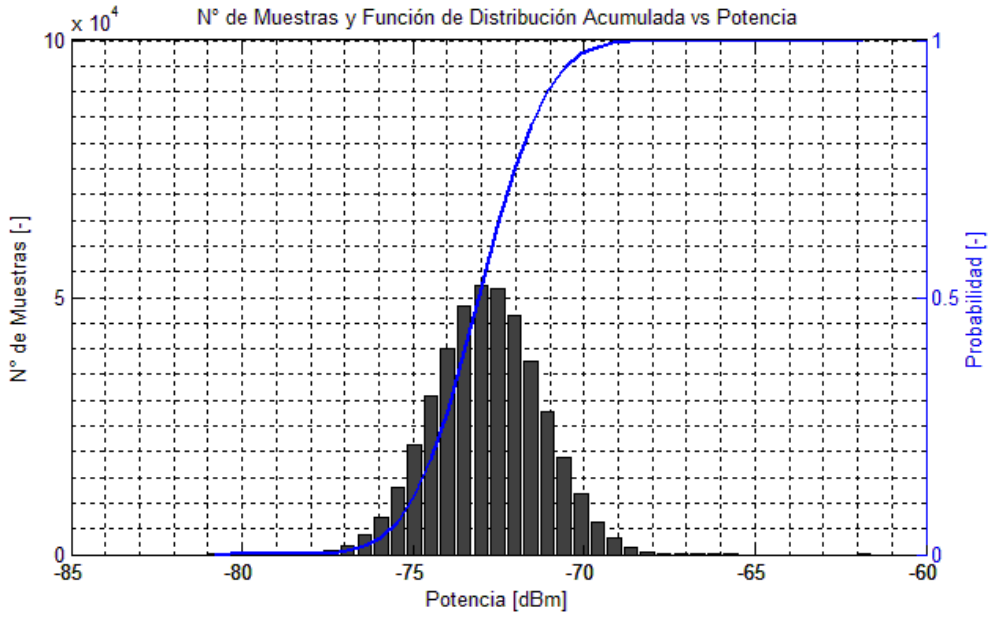


Figura 5.94: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Tabla 5.12: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario

Frec. Central	Mínimo [dBm]	Máximo [dBm]	Promedio [dBm]	#Muestras	#Divisiones	≈25% Acum [dBm]	≈50% Acum [dBm]	≈75% Acum [dBm]	≈95% Acum [dBm]
2.437 [MHz] (1)	-102,32	-43,32	-94,00	392000	120	-97,86	-95,87	-92,90	-83,48
2.437 [MHz] (2)	-102,32	-40,32	-94,00	369600	126	-97,86	-95,87	-92,90	-82,98
2.437 [MHz] (3)	-102,32	-46,32	-93,99	370720	114	-97,86	-95,88	-92,90	-82,99
2.437 [MHz] (4)	-102,32	-46,32	-93,98	369600	114	-97,86	-95,88	-92,90	-83,98
2.437 [MHz] (5)	-102,32	-39,82	-94,04	358400	127	-97,86	-95,87	-92,90	-84,46
5.200 [MHz] (1)	-97,25	-57,75	-89,80	425600	82	-91,40	-90,42	-89,45	-87,98
5.200 [MHz] (2)	-97,25	-59,25	-89,80	425600	79	-91,40	-90,43	-89,45	-87,99
5.300 [MHz] (1)	-98,23	-69,23	-88,50	436800	60	-90,86	-88,89	-87,42	-85,45
5.300 [MHz] (2)	-99,23	-69,73	-88,46	425600	61	-90,87	-88,90	-87,43	-85,46
5.775 [MHz]	-80,81	-61,81	-72,62	425600	40	-74,48	-73,50	-72,04	-70,58

5.3.6. Centro Comercial “Mall Marina”

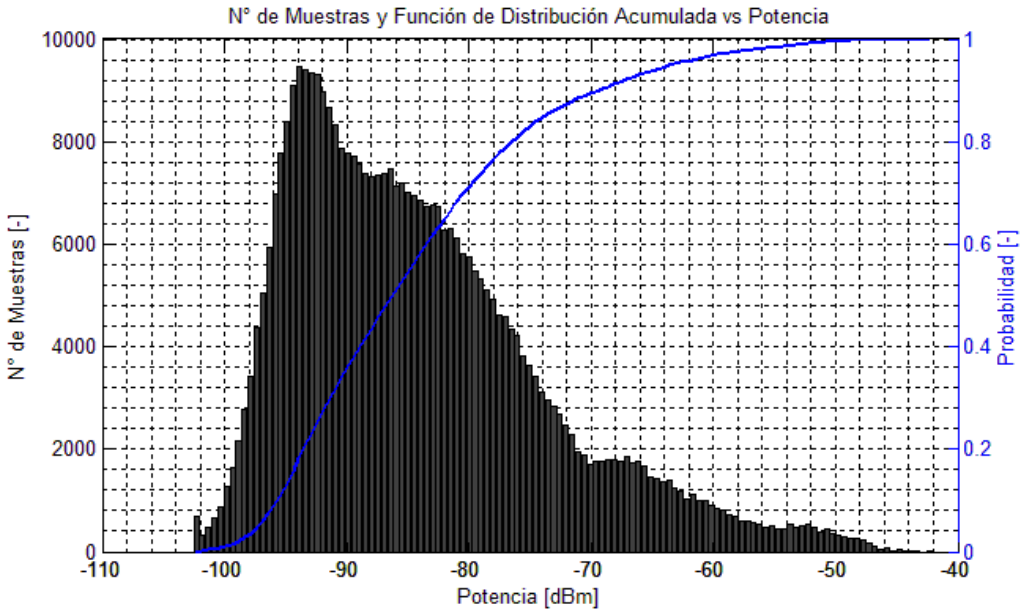


Figura 5.95: Sexta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

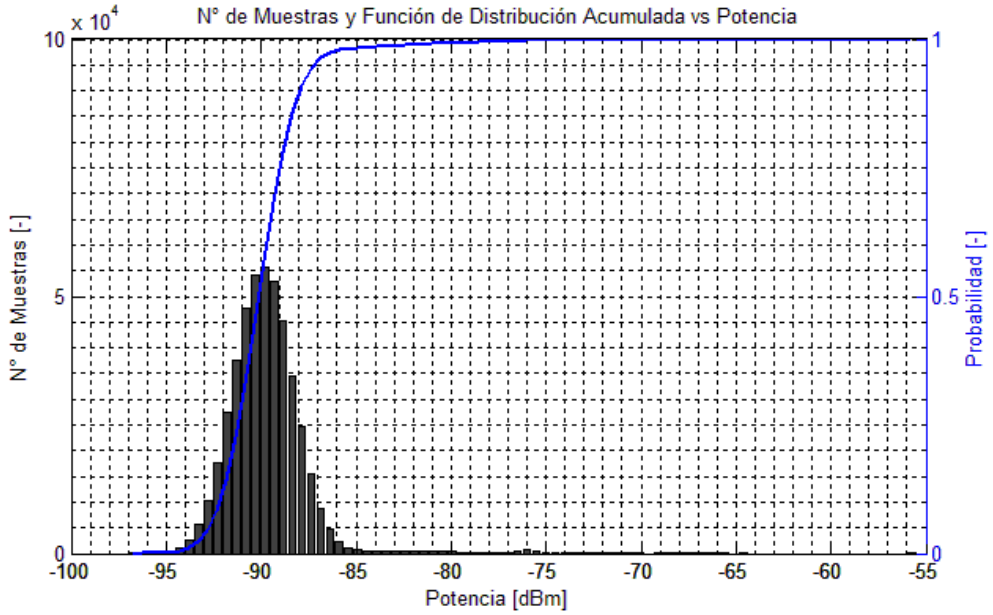


Figura 5.96: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

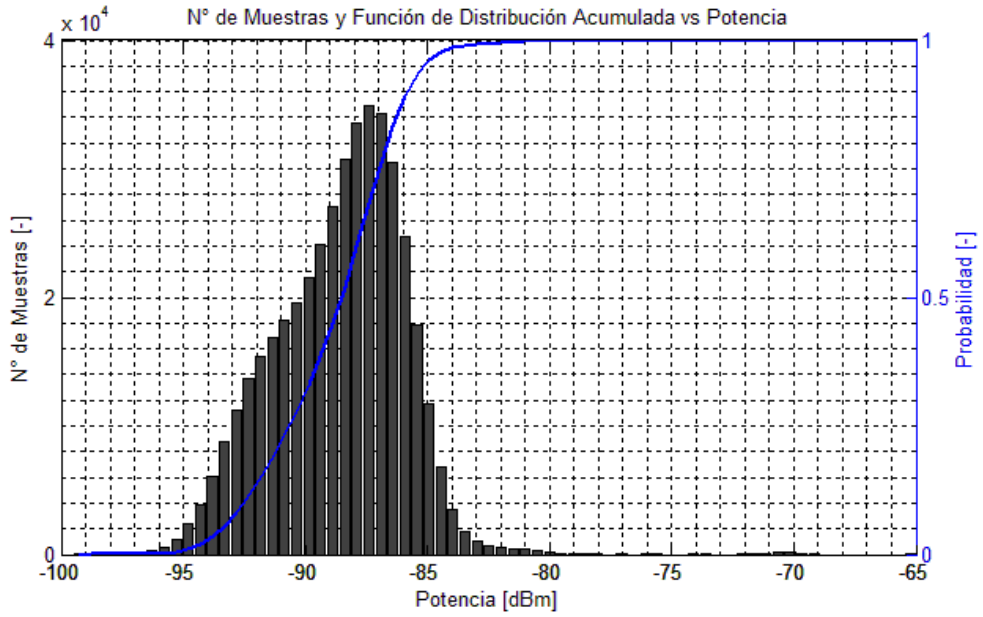


Figura 5.97: Tercera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

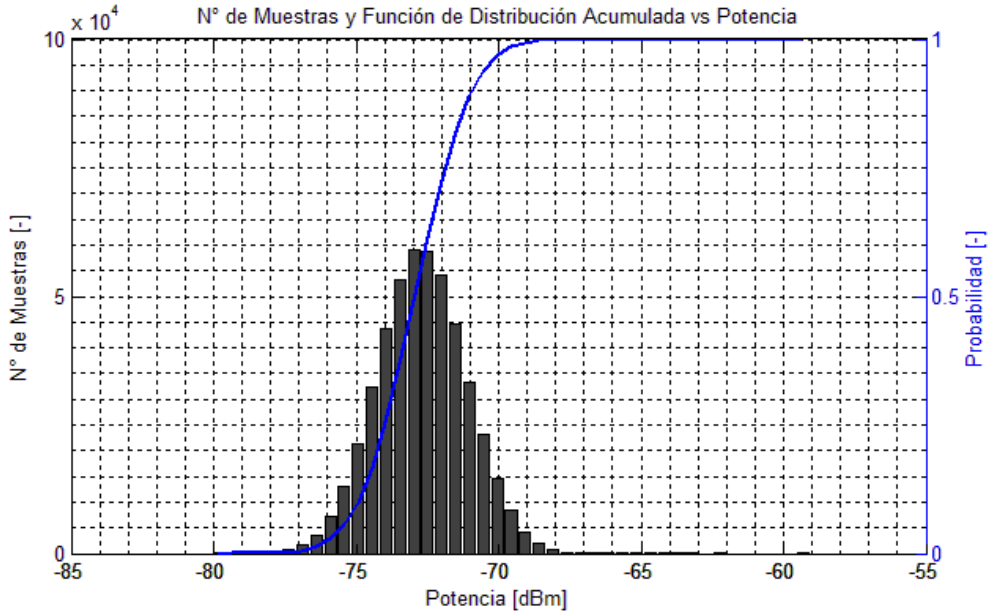


Figura 5.98: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Tabla 5.13: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario

Frec. Central	Mínimo [dBm]	Máximo [dBm]	Promedio [dBm]	#Muestras	#Divisiones	≈25% Acum [dBm]	≈50% Acum [dBm]	≈75% Acum [dBm]	≈95% Acum [dBm]
2.437 [MHz] (1)	-102,32	-41,32	-85,48	425600	121	-94,19	-89,10	-80,97	-64,20
2.437 [MHz] (2)	-102,32	-40,82	-84,50	392000	125	-93,39	-87,44	-79,51	-63,63
2.437 [MHz] (3)	-102,32	-43,82	-83,94	445424	117	-93,24	-87,19	-78,62	-62,48
2.437 [MHz] (4)	-102,32	-41,82	-83,59	521024	121	-92,74	-86,19	-78,12	-63,00
2.437 [MHz] (5)	-102,32	-43,32	-83,29	392000	118	-92,74	-86,18	-78,12	-62,99
2.437 [MHz] (6)	-102,32	-42,32	-83,92	392000	122	-92,90	-86,45	-79,01	-63,64
2.437 [MHz] (7)	-102,32	-44,32	-84,95	392000	116	-93,75	-88,20	-80,63	-63,99
5.200 [MHz] (1)	-96,75	-55,75	-89,64	459200	84	-91,32	-90,33	-89,34	-87,36
5.200 [MHz] (2)	-97,75	-55,25	-89,59	560000	87	-91,33	-90,34	-89,35	-87,37
5.200 [MHz] (3)	-96,75	-69,25	-89,69	414624	57	-91,35	-90,37	-89,38	-87,91
5.300 [MHz] (1)	-98,73	-67,73	-88,45	414400	64	-90,86	-88,89	-87,41	-85,44
5.300 [MHz] (2)	-98,73	-68,23	-88,45	425600	63	-90,86	-88,89	-87,42	-85,45
5.300 [MHz] (3)	-99,23	-65,23	-88,44	425600	70	-90,85	-88,88	-87,40	-85,43
5.775 [MHz]	-79,81	-59,31	-72,52	480368	43	-74,44	-72,98	-72,00	-70,54

5.3.7. Edificio “Torre Coraceros”

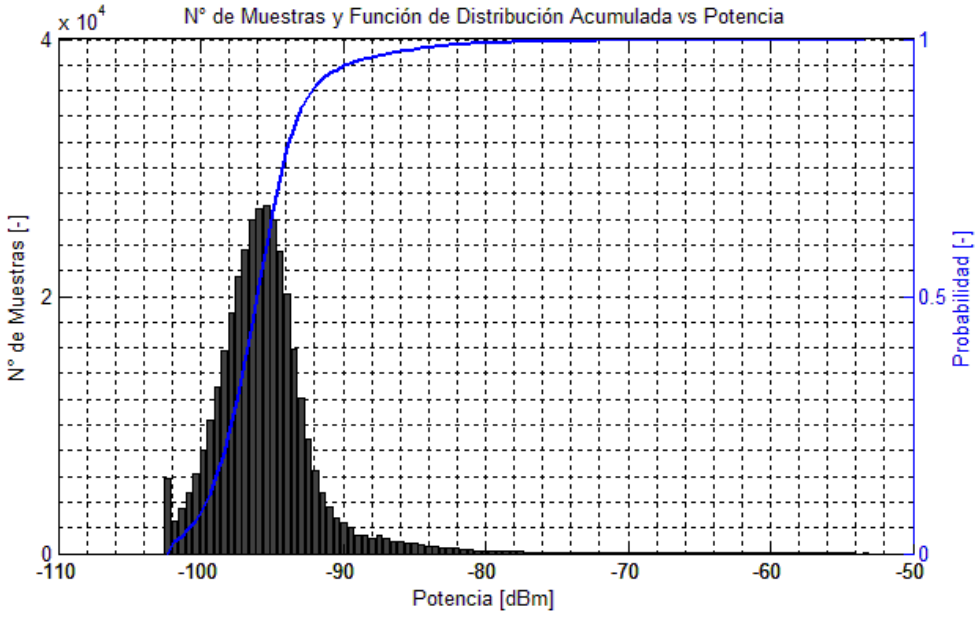


Figura 5.99: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

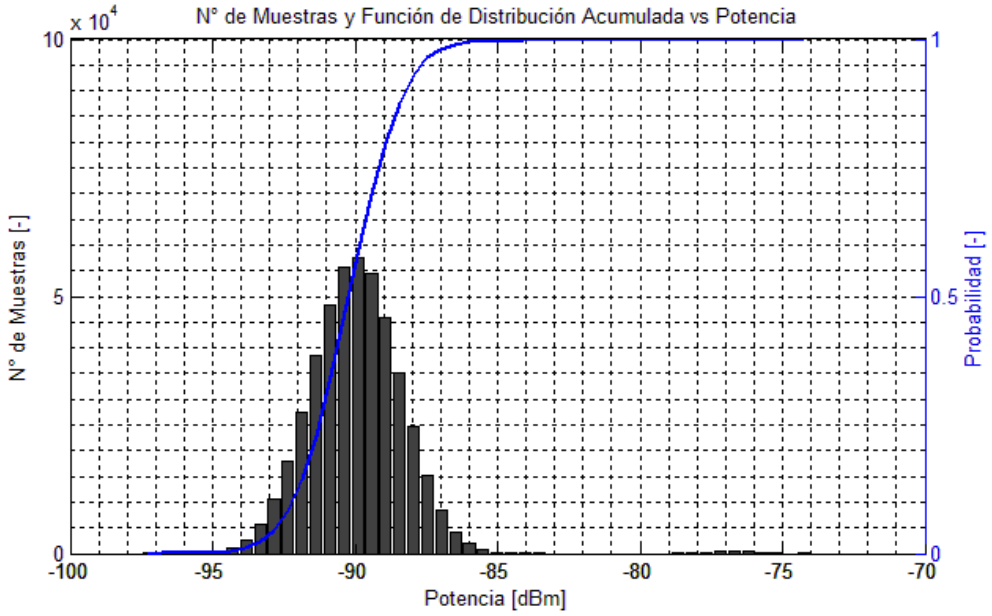


Figura 5.100: Primera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

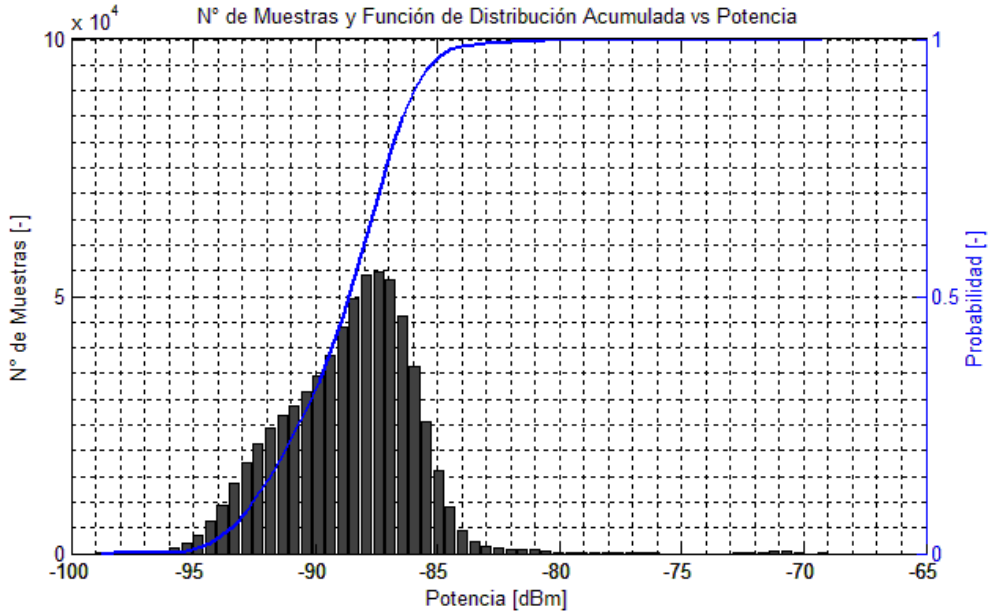


Figura 5.101: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

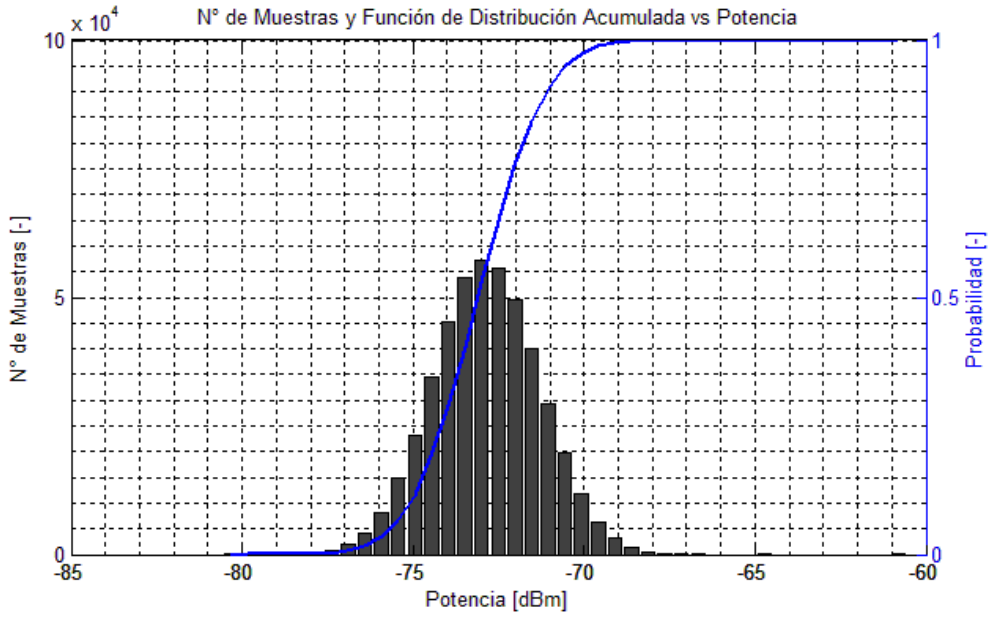


Figura 5.102: Primera medición banda 5.775 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Tabla 5.14: Resultados estadísticos de todas las mediciones realizadas en el escenario

Frec. Central	Mínimo [dBm]	Máximo [dBm]	Promedio [dBm]	#Muestras	#Divisiones	≈25% Acum [dBm]	≈50% Acum [dBm]	≈75% Acum [dBm]	≈95% Acum [dBm]
2.437 [MHz] (1)	-102,32	-48,82	-95,33	392000	108	-97,82	-96,32	-94,32	-89,32
2.437 [MHz] (2)	-102,32	-58,32	-95,38	564704	90	-97,87	-96,39	-94,41	-89,96
2.437 [MHz] (3)	-102,32	-53,32	-95,36	394688	100	-97,87	-96,38	-94,40	-89,95
2.437 [MHz] (4)	-102,32	-54,32	-95,34	369600	98	-97,87	-96,38	-94,40	-89,95
2.437 [MHz] (5)	-102,32	-53,32	-95,37	358400	100	-97,87	-96,38	-94,40	-89,95
5.200 [MHz] (1)	-97,25	-74,25	-89,80	459200	48	-91,38	-90,40	-89,42	-87,95
5.200 [MHz] (2)	-97,25	-73,25	-89,78	436912	50	-91,37	-90,39	-89,41	-87,94
5.300 [MHz] (1)	-98,73	-69,23	-88,50	662144	61	-90,86	-88,90	-87,42	-85,45
5.300 [MHz] (2)	-98,23	-69,23	-88,52	414624	60	-90,86	-88,89	-87,42	-85,45
5.775 [MHz]	-80,31	-60,81	-72,67	462896	41	-74,46	-73,48	-72,51	-70,56

6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

6.1. Conclusiones

En la presente memoria de titulación se ha realizado una extensa búsqueda con poco éxito para obtener publicaciones y/o estudios que tengan relación con este trabajo. En la mayoría de la literatura encontrada, se enfocan solamente en la medición de la banda de 2,4 [GHz], debido a su gran masificación global, pero pocos han tenido el interés de hacer mediciones en la banda de 5 [GHz], o de ambas bandas en conjunto. En la minoría de estos estudios, se toma un enfoque que es sustancialmente distinto a lo realizado: se centran en otro tipo análisis, más concentrados en la característica de la señal y las implicancias del uso de equipos de medición, o también mediciones en escenarios que no son replicables en la realidad. En la búsqueda de estudios, tampoco se encuentra evidencia de la existencia de sistemas de monitoreo constante y en tiempo real, especializadas en esta tecnología; como las hay para telefonía celular. Es por esta razón que este trabajo es contribución y un avance en este ámbito a nivel internacional, tomando en cuenta como base, las recomendaciones de autoridades internacionales para el procedimiento y metodología de medición, como lo son la ICNIRP en sus directrices y la ITU en su Recomendación ITU-T K.83. Incluso, enmarcado en la normativa nacional vigente, este trabajo puede generar interés por parte de las autoridades del país, debido a que se dispone de una campaña de medición por distintos lugares y horarios del Gran Valparaíso que permite detectar la densidad de potencia electromagnética radiada por las señales asociadas a la tecnología Wi-Fi – en ambas bandas (2,4 y 5 [GHz]) – en escenarios con gran densidad de personas, que abarca tanto Áreas Sensibles como Zonas Urbanas (nombradas en la ley). Esto indica también un avance y contribución únicos sobre esta materia, y un enfoque a nivel nacional.

Se ha implementado un sistema de monitoreo de bajo costo, el cual está cercano a tan solo un 5% del costo total de un equipo de monitoreo convencional y comercial, y que ofrece el 90% de lo que una unidad de alto costo haría por la comunicación de

banda digital RF. El equipo de monitoreo consta de dos unidades por separado: Un Analizador de Espectro RF Explorer 3G Combo para la banda de 2,4 [GHz] y otro, RF Explorer 6G Combo, para la banda de 5 [GHz], más las antenas respectivas para ambos equipos en sus frecuencias de interés. Para válidar las mediciones, el equipo de monitoreo ha pasado por un proceso riguroso de validación "pre-compliance", mediante ensayo en una cámara anecoica, Vector Network Analyzer, antenas patrones, y otros equipos e instrumentación necesaria que dispone el Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Se han creado códigos de programa, mediante el software "MATLAB", para el procesamiento y post-procesamiento de los datos adquiridos por el sistema de monitoreo, gracias al almacenamiento por el software "RF Explorer for Windows" desde un computador personal, para luego desplegar gráficos, resultados y análisis de resultados. Estos códigos fueron creados íntegrament, por lo que contribuye como una herramienta para ser utilizado por usuarios interesados – específicamente la comunidad RF Explorer – quienes utilizan el equipo RF Explorer para medir, ya que es genérico; simplemente modificado parámetros para hacer viable su ejecución.

En cuanto a los resultados de las gráficas se permite observar con claridad cierto piso de inactividad de la banda donde, a partir de éste, se logra ver el uso que ha tenido la banda. De esta manera, se puede decir que para las bandas: 2.437 [MHz], 5.200 [MHz], 5.300 [MHz] y 5.775 [MHz] este ruido está aproximadamente por debajo de: -93, -97, -100 y -88 [dBm], respectivamente. Con esto, damos cuenta que la actividad en la banda de los 2,4 [GHz] es la de mayor intensidad en comparación con las de 5 [GHz], logrando marcar notoriamente los canales que más se usan y mostrando una actividad permanente en los restantes. En el caso de la banda de 5 [GHz], la sub-banda que más actividad presenta es la de 5.200 [MHz], seguidamente por la de 5.300 [MHz] y por último la de 5.775 [MHz] que prácticamente presenta casi nula actividad Esto podría explicarse por la asignación de canales dentro de cada banda (hablando de 2,4 [GHz] y 5 [GHz]) y entre las sub-bandas para 5 [GHz]. Por un lado, la banda de 2,4 [GHz] es la que ocupan generalmente los usuarios, por su base en Internet, por el costo

en comparación a los APs que trabajan en la banda de 5 [GHz] y porque la banda 5 [GHz] no tiene tanta difusión entre la gente aún, no obstante, se debe notar que esta tecnología está siendo utilizada y tomando más participación durante su existencia. Por otro lado, entre las sub-bandas 5 [GHz], tanto 5.200 [MHz] como 5.300 [MHz], presentan más canales asignados que 5.775 [MHz], por lo que explica su actividad. También, la banda 5.200 [MHz] no tiene control de potencia (para cuidar la señal que pueda interrumpir los enlaces satelitales) como lo tiene la banda 5.300 [MHz], por lo que no se asignan canales cuando hay inconvenientes, haciendo constante el uso del canal asignado en el tiempo. Aun así, la banda 5.775 [MHz] siendo meramente inactiva, presenta en todos los casos la mayor contribución a la densidad de potencia total medida en el escenario, esto se explica por su capacidad de emitir mayor potencia que cualquiera de las otras sub-bandas y que la banda 2,4 [GHz]. Viendo las gráficas, esta inactividad puede verse en los resultados de cada ventana, donde prácticamente no hay cambios en la amplitud de cada ventana, manteniéndose por todo el periodo de 30 [min]. De caso contrario sucede cuando hay actividad en la banda, donde la amplitud varía de ventana en ventana.

Ahora, hay que tener claro que la normativa exige mayor rigurosidad para los establecimientos que pertenecen a las llamadas "Áreas Sensibles" (ArSe), en nuestro caso, estos son: Jardín Infantil "Aprendemos Jugando" (JIAJ), Jardín Infantil "Snoopy" (JIS), Hospital "Carlos Van Buren" (HCVB) y Clínica "Ciudad del Mar" (CCDM). Para los nombrados establecimientos, la normativa fija un límite de 10 [$\mu W/cm^2$]. Para el caso de establecimientos en las llamadas "Zonas Urbanas" (ZoUr), hay mayor flexibilidad, estos son: "Paradero 5" (P5), ubicado en Av. Agua Santa, Centro Comercial "Mall Marina" (CCMM) y Edificio "Torre Coraceros" (ETC). Para estos establecimientos, la normativa limita a 100 [$\mu W/cm^2$]. Dicho esto, se encuentra que los porcentajes con respecto a la normativa, en las ZoUr son menores comparados a los de ArSe, como máximo, se alcanza un 0,63% del límite en P5, en cambio, en ArSe, el menor porcentaje con respecto al límite es de 0,89% en JIAJ y el máximo es 2,53% en JIS. También, si tomamos en cuenta el periodo de 30 [min], se ve que se

alcanza como máximo un 0,06% en P5, por otro lado, en ArSe el promedio más bajo en porcentaje fue de 1,13% en JIAJ y el máximo fue de 2,51% en JIS. Finalmente, de todos los resultados obtenidos, es categórico anunciar que ninguno de ellos supera al límite establecido por la norma nacional vigente. Incluso, al observar los porcentajes mostrados por el modo "MaxHold", el cual nos indica los máximos alcanzados en todas las frecuencias de cada banda medida en la ventana de interés, algo verdaderamente fuera de la realidad y que solo sirve para mostrar un peor caso sobreestimado y excesivo, se vislumbra que el máximo valor alcanzado en ArSe es un 29,24% del límite, en CCDM, y para ZoUr, el máximo es de 3,36% en P5. Esto indica que se cumple con la ley en todos los recintos analizados.

Se reconoce que los resultados obtenidos del escenario de medición JIAJ son un caso especial, debido a que: se toman dos sub-bandas completas para la medición, no se toman estas dos sub-bandas por separado y no se toma en cuenta la sub-banda 5.775 [MHz], por los motivos anteriormente dichos. Por lo que sus mediciones son bastante menores a lo que se esperaría realmente, principalmente porque la banda 5.775 [MHz] aporta de sobremanera a la densidad de potencial total medida en el lugar. Incluso, se esperaría que, de haber sido posible realizar las mediciones en este escenario de manera similar como en los otros sitios, los máximos alcanzados tanto para el total en una ventana de 6 [min] como para el periodo de 30 [min], estarían por sobre los de JIS. Y, en el peor caso sobreestimado y excesivo mencionado antes, estos estarían por sobre los de CCDM.

En el caso del análisis de resultados, las gráficas son explícitas en mostrar el valor donde se concentran las mediciones y, además, qué porcentaje del total de estos valores son los que han de concentrarse en tales. La mayoría de estos gráficos despliega una distribución normal casi perfecta, otros tienen despliegues más deformes de una función normal, esto debido a la inactividad de la banda, cargándose a los valores comúnmente bajos. El número de muestras por banda de frecuencia, para un periodo válido de 30 [min] está entre: 358.400 y 445.424; 414.400 y 459.200; 436.800 y 487.536; 414.400 y 436.800; 425.600 y 480.368, para las bandas de frecuencia:

2.437, 5.200; 5.250; 5.300; 5.775 [MHz], respectivamente. Se observa también que los promedios generados y los valores en los cuales se acumula el 50% y 75% de estos, en su respectiva banda, tienen una correlación aproximadamente a 1, lo que sugiere que un porcentaje entre estos dos porcentajes tiene la mejor correlación con el promedio de las muestras. Finalmente, con los porcentajes acumulados en cada banda, también se puede inferir el estado de actividad de la banda, en la cual hay diferencias considerables entre los datos acumulados al 25% y al 95% cuando se tiene una banda efectivamente muy activa. Se dice efectivamente muy activa porque durante todo el periodo tuvo variaciones considerables entre los valores. En caso contrario, no se logra más de 6 puntos porcentuales de diferencia cuando la banda no presenta mucha actividad efectiva. Se debe aclarar que, en el caso de la sub-banda de 5.775 [MHz], ésta puede tener poca actividad, pero puede elevar sus valores notoriamente, debido a su potencia de transmisión de 4 [W], en comparación a las otras bandas con solo llegan a transmitir con 0,2 [W]. Una banda no muy activa no tendrá diferencias tan grandes entre estos porcentajes acumulados, debido a que el rango de valores por donde se mueve la banda será acotado en el periodo de medición; por el contrario, mayores fluctuaciones entre valores, aumentan el número de muestras entre rangos, lo que incide en la gran diferencia que se obtiene entre el menor valor porcentual acumulado y el mayor. Hay que hacer notar que en este análisis de resultados, el enfoque y dirección que se le ha dado, no se ha encontrado en otras publicaciones vistas, quizás algunos matices vagos, pero no de esta manera, por lo que abre puertas para investigar más sobre ello.

6.2. Sugerencias

Se recomienda que se utilice un software para detectar las redes cercanas y detalles de cada una de estas antes de realizar la medición. Por ejemplo: tipo de protocolo (a/b/g/n/ac), intensidad de señal, asignación de canal, etc. Se propone el uso de “Acrylic Wi-Fi” o “Inssider”. Esto permite recabar mayor información sobre el entorno de radiación y cómo afectan a las mediciones.

Contar con antenas caracterizadas para cada una de las sub-bandas de la banda Wi-Fi 5 [GHz]. También, poseer la información sobre el comportamiento y parámetros de cada una de las antenas involucradas, de ambas bandas, para conseguir mediciones con mayor precisión. Además, para aumentar la precisión, se sugiere también ocupar un trípode para cada RF Explorer, de manera de no interferir las mediciones entre ellos. Aún más, utilizar antenas triaxiales permite resultados más completos, debido a que toma en consideración todas las componentes del campo eléctrico, realizando mediciones en todos los ejes de propagación que inciden a la antena.

Se propone expandir los lugares de medición para una mayor representatividad del Gran Valparaíso, aumentando el número de sitios en Zona Urbana y, con mayor importancia, establecimientos definidos por las Áreas Sensibles.

Por motivos de fallas en la compra y de logística, no fue posible realizar mediciones desde un teléfono inteligente. Mediante aplicación del mismo fabricante, utilizar el RF Explorer conectado con el celular, de manera de almacenar los datos en el celular y luego trabajarlos por computador. Esto conlleva mayor seguridad, mayor portabilidad y menor costo monetario. Aun así, se tiene disponible las licencias y la instrumentación correspondiente para hacer uso de esta medida. Se ha verificado su funcionamiento con la aplicación celular “OTG Test for RF Explorer” para comprobar la correcta comunicación entre el RF Explorer y el celular inteligente, por medio del cable OTG, y la aplicación “Touchstone Mobile” para comenzar las mediciones.

REFERENCIAS

[1] http://www.subtel.gob.cl/wp-content/uploads/2015/03/11_proyecto_servicios_de_telecomunicaciones_para_zonas_wifi.pdf

[2] http://www.subtel.gob.cl/wp-content/uploads/2016/12/2_SERIES_CONEXIONES_INTERNET_MOVIL_DIC16_200317.xlsx

[3] http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol102/mono102.pdf

[4] https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1041106

[5] https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1041108

[6] http://www.netsense.info/downloads/Whitepaper_Wi-Fi_Networks2-6-03.pdf#page=4

[7] https://web.archive.org/web/20070927203542/http://www.wi-fi.org/files/wp_2_Future%20of%20Wi-Fi%20Public%20Access_1-2-04.pdf

[8] https://web.archive.org/web/20090903004711/http://www.wi-fi.org/organization.php

[9] http://www.wi-fiplanet.com/columns/article.php/3674591/Wireless-Fidelity-Debunked.htm

[10] http://boingboing.net/2005/11/08/wifi-isnt-short-for.html

[11] https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757419(v=ws.10).aspx

[12] *Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific Requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,* IEEE Standard for Information Technology 802.11™-2016

[13] D. Cheng, *"Fundamentos de Electromagnetismo para Ingenieria"*, Pearson, 1993

[14] A. Ayala, *"Diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema de monitoreo remoto de densidad de potencia electromagnética asociada a a telefoníca celular"* Memoria Ingeniero Civil Electrónico, Valparaíso, UTFSM, 2016

[15] G. Sazo, N. Oneto, *"Estudio de Cobertura de Señal de TV-Digital en Banda UHF en la V Región"*, Memoria Ingeniero Civil Electrónico, Valparaíso, UTFSM, 2015

[16] Campos Electromagnéticos [ELO250]: (Lección 10: Antenas y clase_19-Antenas-1)

[17] http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf

[18] T. Rappaport, "*Wireless Communications: Principles & Practice"*, Prentice Hall, 2nd Edition, 2002

[19] Office of the Communication Authoirty, *"Radiofrequency Radiation Measurements Public Wi-Fi Instrallations in Hong Kong"*, Hong Kong, 2014

[20] Industry Canada. Case Study: measurements of radio frequency exposure from Wi-Fi devices (2012).

[21] http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf01451.html

[22] http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf09977.html

[23] http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/pdf/consult/_2014/safety_code_6-code_securite_6/final-finale-eng.pdf

[24] K. Karipidis, S. Henderson, D. Wijayasinghe, L. Tjong, R. Tinker, *"Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in Australian Schools"*, Australian Radiation Protection and NuclearSafety Agency, Australia, 2016

[25] P. Banchet, S. Miclaus, A. Bechet, *"Improving the Accuracy of Exposure Assessment to Stochastic-like Radiofrequency Signals"*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 54, N°5, 2012

[26] M. Fernández, I. Peña, D. Guerra, A. Arrinda, *"Analysis of Human Exposure due to WiFi Signals based on a Novel Measurement Methodology"*, Communications Engineering Department, University of the Basque Country, 2016

[27] http://j3.rf-explorer.com/

[28] http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39881e.pdf

[29] https://www.itu.int/rec/T-REC-K.83/es

[30] https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/0b/11/T0B110000283301PDFS.pdf

7. ANEXOS

Anexo A – Bandas de Frecuencia Wi-Fi 2,4 [GHz] y 5 [GHz]

Channel	Frequency (MHz)	North America
1	2412	Yes
2	2417	Yes
3	2422	Yes
4	2427	Yes
5	2432	Yes
6	2437	Yes
7	2442	Yes
8	2447	Yes
9	2452	Yes
10	2457	Yes
11	2462	Yes
12	2467	No
13	2472	No
14	2484	No

Figura 7.1: Canales disponibles Wi-Fi 2,4 [GHz]

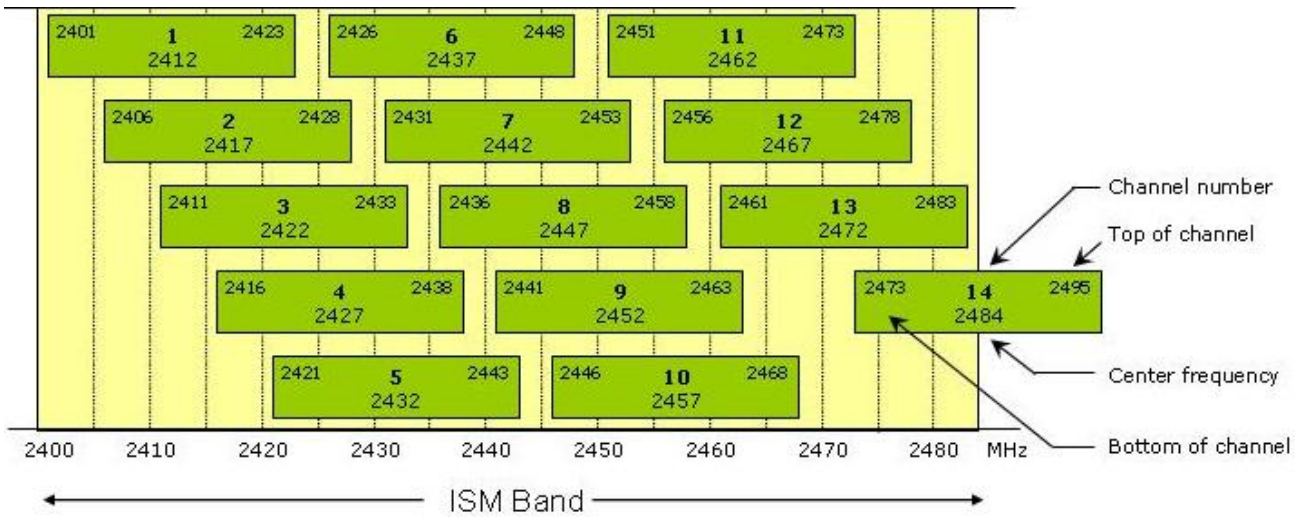


Figura 7.2: Distribución de los canales en la banda ISM 2,4 [GHz]

Channel	Center Frequency (MHZ)	Frequency Range (MHz)	Bandwidth (MHz)	United States FCC U-NII Band(s)	United States	DFS_50_100_Behavior	NomadicBehavior	LicenseExemptBehavior	PrimaryChannelLowerBehavior	PrimaryChannelLowerBehavior	PrimaryChannelLowerBehavior	LicenseExemptBehavior, PrimaryChannelLowerBehavior	PrimaryChannelUpperBehavior	PrimaryChannelUpperBehavior	NomadicBehavior, PrimaryChannelUpperBehavior	LicenseExemptBehavior, PrimaryChannelUpperBehavior	UseEirpForVHTTxPowEnv	UseEirpForVHTTxPowEnv	80+, UseEirpForVHTTxPowEnv
36	5180	5170-5190	20	U-NII-1	Yes				x										
38	5190	5170-5210	40	U-NII-1	Yes														
40	5200	5190-5210	20	U-NII-1	Yes								x						
42	5210	5170-5250	80	U-NII-1	Yes												x		x
44	5220	5210-5230	20	U-NII-1	Yes				x										
46	5230	5210-5250	40	U-NII-1	Yes														
48	5240	5230-5250	20	U-NII-1	Yes								x						
50	5250	5170-5330	160	U-NII-1 and U-NII-2A	DFS													x	
52	5260	5250-5270	20	U-NII-2A	DFS	x				x									
54	5270	5250-5290	40	U-NII-2A	DFS														
56	5280	5270-5290	20	U-NII-2A	DFS	x								x					
58	5290	5250-5330	80	U-NII-2A	DFS												x		x
60	5300	5290-5310	20	U-NII-2A	DFS	x				x									
62	5310	5290-5330	40	U-NII-2A	DFS														
64	5320	5310-5330	20	U-NII-2A	DFS	x								x					
149	5745	5735-5755	20	U-NII-3	Yes		x	x			x	x							
151	5755	5735-5775	40	U-NII-3	Yes														
153	5765	5755-5775	20	U-NII-3	Yes		x	x							x	x			
155	5775	5735-5815	80	U-NII-3	Yes												x		x
157	5785	5775-5795	20	U-NII-3	Yes		x	x			x	x							
159	5795	5775-5815	40	U-NII-3	Yes														
161	5805	5795-5815	20	U-NII-3	Yes		x	x							x	x			
165	5825	5815-5835	20	U-NII-3	Yes			x											

Figura 7.3: Canales disponibles, y de interés, Wi-Fi 5 [GHz] y su comportamiento límite

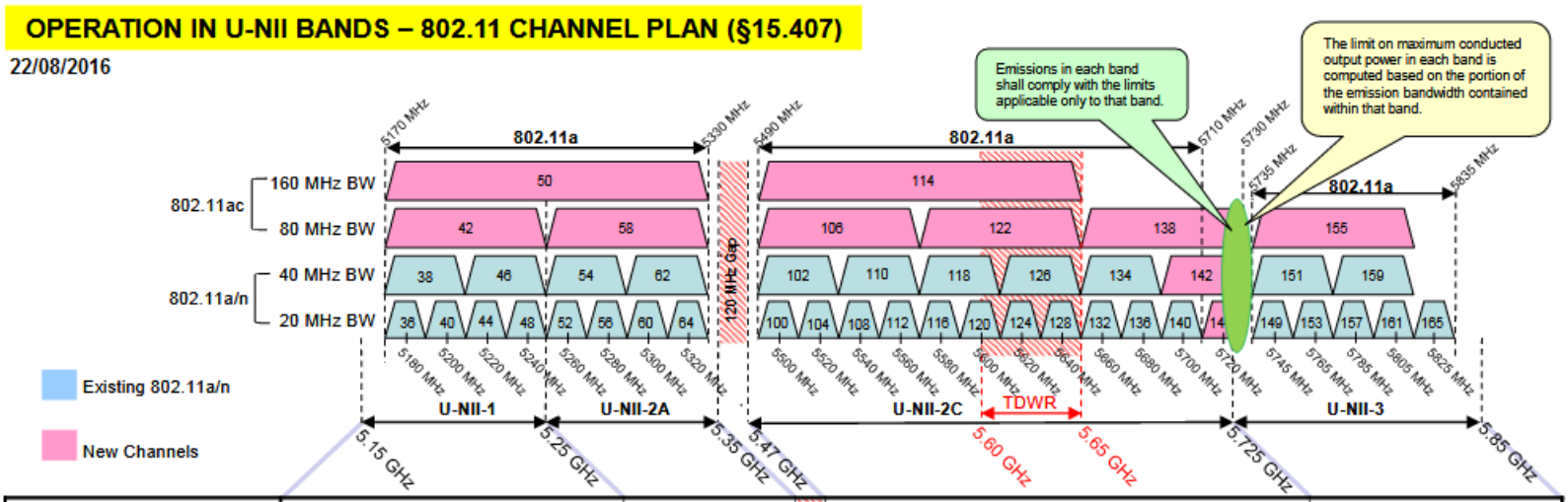
Dynamic Frequency Selection (DFS) to protect Federal radar operations and transmit power control (TPC) to protect the Earth exploration satellite service.
DFS is a mechanism that detects the presence of radar signals and dynamically guides a transmitter to switch to another channel (avoiding co-channel operation with radar systems) whenever a particular condition (indicating a conflict with an active radar operation) is met. Prior to the start of any transmission, a U-NII device equipped with DFS capability must continually monitor the radio environment for radar's presence. If the U-NII device determines that a radar signal is present, it must either select another channel to avoid harmful interference with radar, or go into a "sleep mode" if no other channel is available.
TPS to automatically reduce the used transmission output power when other networks are within range. Reduced power means reduced interference problems and increased battery capacity. The power level of a single device can be reduced by 6 dB which should result in an accumulated power level reduction (the sum of radiated power of all devices currently transmitting) of at least 3 dB (which is half of the power).

Figura 7.4: Definiciones de operación de los terminales Wi-Fi en 5 [GHz]

Behavior limit	Description
NomadicBehavior	The location of the station may change but is stationary while in use. The nomadic use EIRP power limits apply if the country allows more than one transmit power limit in the band. This behavior is specified only in bands where behavior 10 License Exempt bands is also allowed.
LicenseExemptBehavior	Frequency bands where some fixed stations can be operated without a license at a higher radiated transmit power than permitted for nomadic use. This behavior is specified only in bands where behavior 1 nomadic use is also allowed.
PrimaryChannelLowerBehavior (a)	20/40 MHz BSS primary channel with secondary channel above the primary channel or 20 MHz BSS primary channel operated by a 40MC HT AP and also 20 MHz operational channel for a non-AP STA when the non-AP STA is associated with a 40MC HT AP. (See NOTE 1)
PrimaryChannelUpperBehavior (a)	14 20/40 MHz BSS primary channel with secondary channel below the primary channel or 20 MHz BSS primary channel operated by a 40MC HT AP and also 20 MHz operational channel for a non-AP STA when the non-AP STA is associated with a 40MC HT AP. (See NOTE 1)
DFS_50_100_Behavior	A station operating in a band where radiolocation radar is primary, and station operation has in-service monitoring requirements for 50-100 µs radar pulses.
80+	In a channel width that contains two or more frequency segments, the frequency segment that does not contain the primary 80 MHz channel. (see NOTE 2)
UseEirpForVHTTxPowEnv	A STA that sends one or more Transmit Power Envelope elements shall indicate EIRP in the Local Maximum Transmit Power Unit Interpretation subfield in one of the Transmit Power Envelope elements

NOTE 1—The fields that specify the 40 MHz channels are described in 19.3.15.4.
NOTE 2—For an example using an operating class with an 80+ Behavior limit, see 9.4.2.9. The maximum number of frequency segments is PHY dependent.
(a): For 20 MHz operation where the operating class signifies 40 MHz channel spacing, the 20 MHz channel corresponds to the channel number indicated.

Figura 7.5: Definiciones del comportamiento límite de los terminales



Frequency Range (MHz)	5150-5250	5250-5350	5470-5725	5725-5850
Condition of Operation	Indoor/Outdoor, Master/Client, mobile/portable, and fixed Device, unless otherwise noted			
Max Conducted TX Power	30 dBm (1 W) for master device 24 dBm (250 mW) for client device	24dBm (250 mW) or 11 dBm + 10 log B, whichever is lower (B= 26-dB emission BW)		30 dBm (1 W)
Max_EIRP	4 W (36 dBm) with 6 dBi antenna 200 W (53 dBm) for fixed P-t-P application with 23 dBi antenna Additional rule for outdoor operation: Max_EIRP < 125 mW (21 dBm) at any elevation angle > 30° from horizon		1 W (30 dBm) with 6 dBi antenna	4 W (36 dBm) with 6 dBi antenna No EIRP limit for fixed P-t-P application (i.e. no antenna gain limit)
TX Power Reduction (dBm-by-dBi) required when antenna exceeds…	> 6dBi >23 dBi for fixed P-t-P application		> 6 dBi	> 6dBi Not required for fixed P-t-P application with any antenna gain
Out of Band e.i.r.p. Emission	≤-27 dBm/MHz outside 5150-5350 MHz		≤-27 dBm/MHz outside 5470-5725 MHz	See 15.407(b)(4)(i) or 15.407(b)(4)(ii)
Max Conducted Power Spectral Density (PSD)	17 dBm/MHz for master device 11 dBm/MHz for mobile/portable client device		11 dBm/MHz	30 dBm/500kHz
Dynamic Frequency Selection (DFS) required?	NO	YES, for master device with Detection Threshold of -64 dBm for 200 mW (23 dBm) ≤ Operating_EIRP ≤ 1W (30 dBm); -62dBm for Operating_EIRP < 200 mW (23 dBm) and PSD must be < 10 dBm/MHz. **Device must sense for radar signals at 100% of its emission BW** NO, for client device		NO
Transmit Power Control (TPC) required?	NO	YES, if Max_EIRP ≥ 500 mW (27 dBm) and able to lower EIRP below 24dBm NO, if Max_EIRP < 500mW (27dBm)		NO
Minimum BW requirement	N/A			6-dB BW ≥ 500 kHz

905462 D06 802.11 Channel Plans New Rules v02

Figura 7.6: Distribución de los canales, y sus características, en la banda 5 [GHz]

Anexo B – RFExplorerAverageXXXX.m y RFExplorerMaxHoldXXXX.m, siendo XXXX = 2437, 5200, 5250, 5300 o 5775

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=2437*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 2.4 [GHz] (Canal 6) [Hz]

G_dBi=2; %Ganancia de antena Whip 2.4G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=600; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=72000; %Span [KHz] (2.401 [GHz] - 2.473 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=-0.12; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_37_29_WIFI2,4_7.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end
```

```
A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica.
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores
C=sum(B,2); %Vector de una sola columna con el resultado de cada fila
en su respectiva celda.

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
```

```
while i<n_rows %Recorriendo los valores de C se va rellenando la
matriz E tal que en cada columna hay valores por cada 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna
    if mod(mod(A(i,2),aux),360)~=0 %Mientras se esta en la ventana de
los 6 minutos, se rellena la columna de los valores dentro de ese
intervalo, excluyendo los extremos del intervalo
        E(b,d)=C(i-1,1);
    end

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            E(b,d)=C(i-1,1);
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end

n_cols_E=size(E,2); %Cantidad de columnas en la matriz E
aux2=A(n_rows,2); %Tiempo de la ultima medicion, para luego evaluar
si la sustraccion con el ultimo valos guardado por aux es distinto de
0
if (aux2-aux~=0) %Se elimina la ultima columna si no cumple con los 6
minutos
   E=E([1:end], [1:(n_cols_E-1)]);
end
n=sum(E~=0);n(n==0)=NaN;prom=sum(E)./n; %Para promediar sin contar
los ceros con los que rellena la matriz
F=prom*100/A_ef; %Vector fila que contiene la suma de cada columna y
se convirtien a Densidad de Potencia, que corresponde a una ventana
de 6 minutos
```

```
n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz F
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor promedio alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',mean(F,2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 2.437 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'Average_WIFI2437MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=2437*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 2.4 [GHz] (Canal 6) [Hz]

G_dBi=2; %Ganancia de antena Whip 2.4G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=600; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=72000; %Span [KHz] (2.401 [GHz] - 2.473 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=-0.12; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%
```

```
%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_37_29_WIFI2,4_7.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A
```

```
if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Obtiene los indices para luego separar la matriz B en
intervalos de 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
```

```
end
t_array(1,1)=1; %Para poder ocuparlo en el for que viene mas abajo

d=1;
k=1;
while d<size(t_array,1) %Obtiene el valor maximo alcanzado por cada
frecuencia, en una ventana de 6 minutos, sumandolas y convirtiendolas
a Densidad de Potencia
    for i=(t_array(k,1)):(t_array(k+1,1)-1) %Funcion que separa la
matriz B en matrices de 6 minutos para trabajar
        for j=1:n_cols_B
            C(i,j)=B(i,j);
        end
    end

    D=max(C); %Valor maximo de cada frecuencia en un vector fila
(cada columna, su frecuencia respectiva)
    C=0;
    E=sum(D,2)*100/A_ef; %Suma de los valores maximos de cada
frecuencia y conversion a Densidad de Potencia
    D=0;
    F(1,d)=E; %Vector fila de Densidad de potencia [uW/cm^2]
    E=0;
    d=d+1;
    i=i+1;
    k=k+1;
end

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz E
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor máximo alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',max(F,[],2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados
```

```
%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 2.437 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'MaxHold_WIFI2437MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5200*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5.X [GHz] (U-NII-1) [Hz]

G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-1: 5.150 - 5.250 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=9.37; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_05_32_WIFI5,2_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
```

```
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores
C=sum(B,2); %Vector de una sola columna con el resultado de cada fila
en su respectiva celda.

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
```

```
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Recorriendo los valores de C se va rellenando la
matriz E tal que en cada columna hay valores por cada 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna
    if mod(mod(A(i,2),aux),360)~=0 %Mientras se esta en la ventana de
los 6 minutos, se rellena la columna de los valores dentro de ese
intervalo, excluyendo los extremos del intervalo
        E(b,d)=C(i-1,1);
    end

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            E(b,d)=C(i-1,1);
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end

n_cols_E=size(E,2); %Cantidad de columnas en la matriz E
aux2=A(n_rows,2); %Tiempo de la ultima medicion, para luego evaluar
si la sustraccion con el ultimo valos guardado por aux es distinto de
0
if (aux2-aux~=0) %Se elimina la ultima columna si no cumple con los 6
minutos
   E=E([1:end], [1:(n_cols_E-1)]);
end
n=sum(E~=0);n(n==0)=NaN;prom=sum(E)./n; %Para promediar sin contar
los ceros con los que rellena la matriz
```

```
F=prom*100/A_ef; %Vector fila que contiene la suma de cada columna y
se convirtien a Densidad de Potencia, que corresponde a una ventana
de 6 minutos

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz F
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor promedio alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',mean(F,2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.200 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'Average_WIFI5200MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5200*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5.X [GHz] (U-NII-1) [Hz]

G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-1: 5.150 - 5.250 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
```

```
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=9.37; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_05_32_WIFI5,2_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
```

```
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Obtiene los indices para luego separar la matriz B en
intervalos de 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
```

```
            flag1=0;
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end
t_array(1,1)=1; %Para poder ocuparlo en el for que viene mas abajo

d=1;
k=1;
while d<size(t_array,1) %Obtiene el valor maximo alcanzado por cada
frecuencia, en una ventana de 6 minutos, sumandolas y convirtiendolas
a Densidad de Potencia
    for i=(t_array(k,1)):(t_array(k+1,1)-1) %Funcion que separa la
matriz B en matrices de 6 minutos para trabajar
        for j=1:n_cols_B
            C(i,j)=B(i,j);
        end
    end

    D=max(C); %Valor maximo de cada frecuencia en un vector fila
(cada columna, su frecuencia respectiva)
    C=0;
    E=sum(D,2)*100/A_ef; %Suma de los valores maximos de cada
frecuencia y conversion a Densidad de Potencia
    D=0;
    F(1,d)=E; %Vector fila de Densidad de potencia [uW/cm^2]
    E=0;
    d=d+1;
    i=i+1;
    k=k+1;
end

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz E
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor máximo alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',max(F,[],2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');
```

```
%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.200 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'MaxHold_WIFI5200MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5250*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5.X [GHz] (U-NII-1 + U-
NII-2) [Hz]

G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=650; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=200000; %Span [KHz] (U-NII-1: 5.150 - 5.250 [GHz] + U-NII-2:
5.250 - 5.350 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=10.46; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_01_09_15_18_46_WIFI5,25_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Jardín Integra "Aprendemos Jugando"'; %Escenario de medicion
para el titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres
```

```
lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores
C=sum(B,2); %Vector de una sola columna con el resultado de cada fila
en su respectiva celda.

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)
```

```
flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Recorriendo los valores de C se va rellenando la
matriz E tal que en cada columna hay valores por cada 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna
    if mod(mod(A(i,2),aux),360)~=0 %Mientras se esta en la ventana de
los 6 minutos, se rellena la columna de los valores dentro de ese
intervalo, excluyendo los extremos del intervalo
        E(b,d)=C(i-1,1);
    end

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            E(b,d)=C(i-1,1);
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end

n_cols_E=size(E,2); %Cantidad de columnas en la matriz E
```

```
aux2=A(n_rows,2); %Tiempo de la ultima medicion, para luego evaluar
si la sustraccion con el ultimo valos guardado por aux es distinto de
0
if (aux2-aux~=0) %Se elimina la ultima columna si no cumple con los 6
minutos
   E=E([1:end], [1:(n_cols_E-1)]);
end
n=sum(E~=0);n(n==0)=NaN;prom=sum(E)./n; %Para promediar sin contar
los ceros con los que rellena la matriz
F=prom*100/A_ef; %Vector fila que contiene la suma de cada columna y
se convirtien a Densidad de Potencia, que corresponde a una ventana
de 6 minutos

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz F
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor promedio alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',mean(F,2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.250 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'Average_WIFI5250MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5250*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5.X [GHz] (U-NII-1 + U-
NII-2) [Hz]
```

```
G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=650; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=200000; %Span [KHz] (U-NII-1: 5.150 - 5.250 [GHz] + U-NII-2:
5.250 - 5.350 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=10.46; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename
='RFExplorer_MultipleSweepData_2017_01_09_15_18_46_WIFI5,25_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Jardín Integra "Aprendemos Jugando"'; %Escenario de medicion
para el titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel
```

```
n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Obtiene los indices para luego separar la matriz B en
intervalos de 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            if b>2
                flag1=1;
            end
```

```
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end
t_array(1,1)=1; %Para poder ocuparlo en el for que viene mas abajo

d=1;
k=1;
while d<size(t_array,1) %Obtiene el valor maximo alcanzado por cada
frecuencia, en una ventana de 6 minutos, sumandolas y convirtiendolas
a Densidad de Potencia
    for i=(t_array(k,1)):(t_array(k+1,1)-1) %Funcion que separa la
matriz B en matrices de 6 minutos para trabajar
        for j=1:n_cols_B
            C(i,j)=B(i,j);
        end
    end

    D=max(C); %Valor maximo de cada frecuencia en un vector fila
(cada columna, su frecuencia respectiva)
    C=0;
    E=sum(D,2)*100/A_ef; %Suma de los valores maximos de cada
frecuencia y conversion a Densidad de Potencia
    D=0;
    F(1,d)=E; %Vector fila de Densidad de potencia [uW/cm^2]
    E=0;
    d=d+1;
    i=i+1;
    k=k+1;
end

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz E
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end
```

```
%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor máximo alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',max(F,[],2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.250 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'MaxHold_WIFI5250MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5300*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5.X [GHz] (U-NII-2) [Hz]

G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-2: 5.250 - 5.350 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=7.39; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_40_04_WIFI5,3_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
```

```
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
```

```
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores
C=sum(B,2); %Vector de una sola columna con el resultado de cada fila
en su respectiva celda.

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Recorriendo los valores de C se va rellenando la
matriz E tal que en cada columna hay valores por cada 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna
    if mod(mod(A(i,2),aux),360)~=0 %Mientras se esta en la ventana de
los 6 minutos, se rellena la columna de los valores dentro de ese
intervalo, excluyendo los extremos del intervalo
        E(b,d)=C(i-1,1);
    end

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            E(b,d)=C(i-1,1);
            b=0;
            d=d+1;
```

```
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end

n_cols_E=size(E,2); %Cantidad de columnas en la matriz E
aux2=A(n_rows,2); %Tiempo de la ultima medicion, para luego evaluar
si la sustraccion con el ultimo valos guardado por aux es distinto de
0
if (aux2-aux~=0) %Se elimina la ultima columna si no cumple con los 6
minutos
   E=E([1:end], [1:(n_cols_E-1)]);
end
n=sum(E~=0);n(n==0)=NaN;prom=sum(E)./n; %Para promediar sin contar
los ceros con los que rellena la matriz
F=prom*100/A_ef; %Vector fila que contiene la suma de cada columna y
se convirtien a Densidad de Potencia, que corresponde a una ventana
de 6 minutos

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz F
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor promedio alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',mean(F,2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.300 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'Average_WIFI5300MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5300*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5 [GHz] (U-NII-2) [Hz]

G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-2: 5.250 - 5.350 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=7.39; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_40_04_WIFI5,3_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
```

```
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Obtiene los indices para luego separar la matriz B en
intervalos de 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna
```

```
    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end
t_array(1,1)=1; %Para poder ocuparlo en el for que viene mas abajo

d=1;
k=1;
while d<size(t_array,1) %Obtiene el valor maximo alcanzado por cada
frecuencia, en una ventana de 6 minutos, sumandolas y convirtiendolas
a Densidad de Potencia
    for i=(t_array(k,1)):(t_array(k+1,1)-1) %Funcion que separa la
matriz B en matrices de 6 minutos para trabajar
        for j=1:n_cols_B
            C(i,j)=B(i,j);
        end
    end

    D=max(C); %Valor maximo de cada frecuencia en un vector fila
(cada columna, su frecuencia respectiva)
    C=0;
    E=sum(D,2)*100/A_ef; %Suma de los valores maximos de cada
frecuencia y conversion a Densidad de Potencia
    D=0;
    F(1,d)=E; %Vector fila de Densidad de potencia [uW/cm^2]
    E=0;
    d=d+1;
    i=i+1;
    k=k+1;
end

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz E
```

```
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor máximo alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',max(F,[],2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.300 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'MaxHold_WIFI5300MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5775*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5.X [GHz] (U-NII-3) [Hz]

G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-3: 5.725 - 5.825 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=15.31; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).
```

```
%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_14_16_18_WIFI5,775_1.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
```

```
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores
C=sum(B,2); %Vector de una sola columna con el resultado de cada fila
en su respectiva celda.

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Recorriendo los valores de C se va rellenando la
matriz E tal que en cada columna hay valores por cada 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna
    if mod(mod(A(i,2),aux),360)~=0 %Mientras se esta en la ventana de
los 6 minutos, se rellena la columna de los valores dentro de ese
intervalo, excluyendo los extremos del intervalo
        E(b,d)=C(i-1,1);
    end

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            E(b,d)=C(i-1,1);
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
```

```
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            E(b,d)=C(i-1,1);
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end

n_cols_E=size(E,2); %Cantidad de columnas en la matriz E
aux2=A(n_rows,2); %Tiempo de la ultima medicion, para luego evaluar
si la sustraccion con el ultimo valos guardado por aux es distinto de
0
if (aux2-aux~=0) %Se elimina la ultima columna si no cumple con los 6
minutos
   E=E([1:end], [1:(n_cols_E-1)]);
end
n=sum(E~=0);n(n==0)=NaN;prom=sum(E)./n; %Para promediar sin contar
los ceros con los que rellena la matriz
F=prom*100/A_ef; %Vector fila que contiene la suma de cada columna y
se convirtien a Densidad de Potencia, que corresponde a una ventana
de 6 minutos

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz F
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor promedio alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',mean(F,2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
```

```
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.775 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'Average_WIFI5775MHz.bmp')
```

```
%Parametros y Formulas:
c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
f=5775*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi Banda 5.X [GHz] (U-NII-3) [Hz]

G_dBi=1.5; %Ganancia de antena Ruber Duck 5.8G [dBi]
G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]

A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva [m^2]

RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-3: 5.725 - 5.825 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=15.31; %Correccion por validacion [dB]. Compensación por la
medicion de la antena en camara anecoica (Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_14_16_18_WIFI5,775_1.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv
nom1='Centro Comercial "Mall Marina"'; %Escenario de medicion para el
titulo de la grafica

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
```

```
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto
A=A([1:end], [1:1, 3:3, 5:end]); %Se dejan las filas y columnas que
se indica; se elimina la columna 'Date' y 'Miliseconds' de Matlab,
originando la nueva matriz A para trabajar

xtimestr = datestr(AC([2:end],3),'HH:MM:SS'); %Arreglo de caracteres
'xtimestr' que muestra el tiempo como en Excel

n_rowsAC=size(AC,1); %Cantidad de filas en la matriz AC
n_colsAC=size(AC,2); %Cantidad de columnas en la matriz AC

for i=1:(n_rowsAC-1) %Reemplaza tiempo tipo 'string' en formato
HH:MM:SS a tiempo tipo 'double' en solo segundos
   hms = cellfun(@(x) str2double(strsplit(x, ':')), {xtimestr(i,:)},
'UniformOutput', 0); %{xtimestr(2,:)} es un "cell array"
   A(i+1,2)=cellfun(@(x) x(1)*60*60+x(2)*60+x(3), hms);
end
nom2=xtimestr(1,:); %Hora de inicio de medicion para el titulo de la
grafica

n_rows=size(A,1); %Cantidad de filas en la matriz A
n_cols=size(A,2); %Cantidad de columnas en la matriz A

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[3:end])+Comp2;
end
B=(10.^(B/10))/1000; %Pasando de [dBm] a [W] todos los valores

n_cols_B=size(B,2); %B es una matriz de valores en el tiempo (hacia
abajo), correspondientes a cada frecuencia (hacia la derecha) de
A(:,:)

flag1=0; %Bandera que si esta en 1 implica que se repite el ultimo
segundo de los 360 segundos
i=1; %Inicializando el indice para el while
d=1; %Indice de columna para guardar los respectivos 6 minutos en la
Matriz E
b=0; %Indice de fila para guardar los valores de la ventana de 6
minutos de la respectiva columna en la Matriz E
```

```
aux=A(2,2); %Inicializa el valor en el primer valor en segundos para
hacer el modulo y empezar a contar los segundos a partir de este
valor
while i<n_rows %Obtiene los indices para luego separar la matriz B en
intervalos de 6 minutos
    i=i+1;
    b=b+1; %Sigue al indice i, pero se inicializa en 0 cuando pasa a
una siguiente columna

    if mod(mod(A(i,2),aux),360)==0 %Para el caso de los 0 segundos y
los 360 segundos, se rellena la columna de los valores en esos
extremos
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)==0) && (flag1==0)
            if b>2
                flag1=1;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==0)
            if b>2
                d=d+1;
                b=0;
                aux=A(i+1,2);
                t_array(d,1)=i;
            end
        end
        if (mod(mod(A(i+1,2),aux),360)~=0) && (flag1==1)
            flag1=0;
            b=0;
            d=d+1;
            aux=A(i+1,2);
            t_array(d,1)=i;
        end
    end
end
t_array(1,1)=1; %Para poder ocuparlo en el for que viene mas abajo

d=1;
k=1;
while d<size(t_array,1) %Obtiene el valor maximo alcanzado por cada
frecuencia, en una ventana de 6 minutos, sumandolas y convirtiendolas
a Densidad de Potencia
    for i=(t_array(k,1)):(t_array(k+1,1)-1) %Funcion que separa la
matriz B en matrices de 6 minutos para trabajar
        for j=1:n_cols_B
            C(i,j)=B(i,j);
        end
    end

    D=max(C); %Valor maximo de cada frecuencia en un vector fila
(cada columna, su frecuencia respectiva)
    C=0;
    E=sum(D,2)*100/A_ef; %Suma de los valores maximos de cada
frecuencia y conversion a Densidad de Potencia
    D=0;
```

```
    F(1,d)=E; %Vector fila de Densidad de potencia [uW/cm^2]
    E=0;
    d=d+1;
    i=i+1;
    k=k+1;
end

n_cols_F=size(F,2); %Cantidad de columnas en la nueva matriz E
for d=2:(n_cols_F+1) %Vector columna (8 columnas) con el valor de
cada ventana de 6 minutos (solo el tiempo final de cada una de estas)
y variable auxiliar que guarda el numero de valores que contiene
    y(d-1,:)=xtimestr(t_array(d,1),:);
    yaux(1,d-1)=d-1;
end

%Resultado Importante:
disp(sprintf('Valor máximo alcanzado = %.1d [uW/cm^2]',max(F,[],2)))

fig=figure('units','normalized','position',[.2 .2 .55 .55]);
%Codigo que se genera, al hacer modificaciones en Edit Plot, pero con
modificaciones propias:
axes1 = axes('YGrid','on','XTickLabel',y,'XTick',yaux,'XGrid','on');
box(axes1,'on');
hold(axes1,'all');

%Graficos:
bar(F)
hold on
plot(F,'r','Marker','.')

%Codigo 'rotateXLabels.m' extraido de la pagina de MATLAB:
rotateXLabels(gca,45) %Rota la etiqueta, del eje x, en 45 grados

%Etiquetas del grafico:
ylabel('Densidad de Potencia [uW/cm^2]')
xlabel('Ventana de 6 [min]')
title({'Densidad de Potencia en Wi-Fi 5.775 [MHz] por Ventana de 6
[m]';['Escenario: ',nom1,', Horario de Inicio: ',nom2]})

%saveas(fig,'MaxHold_WIFI5775MHz.bmp')
```

Anexo C – Gráficos restantes de Resultados

C.1. Paradero 5

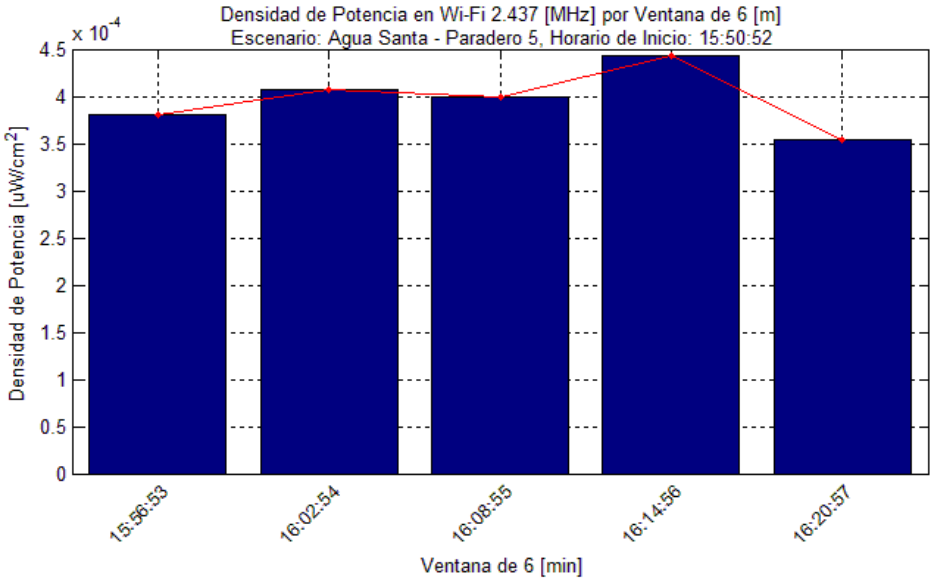


Figura 7.7: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

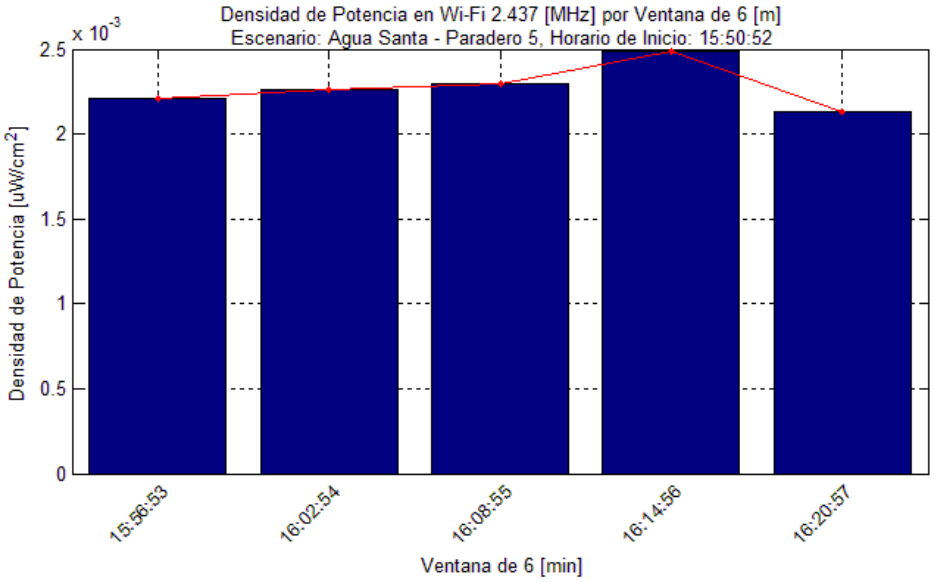


Figura 7.8: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

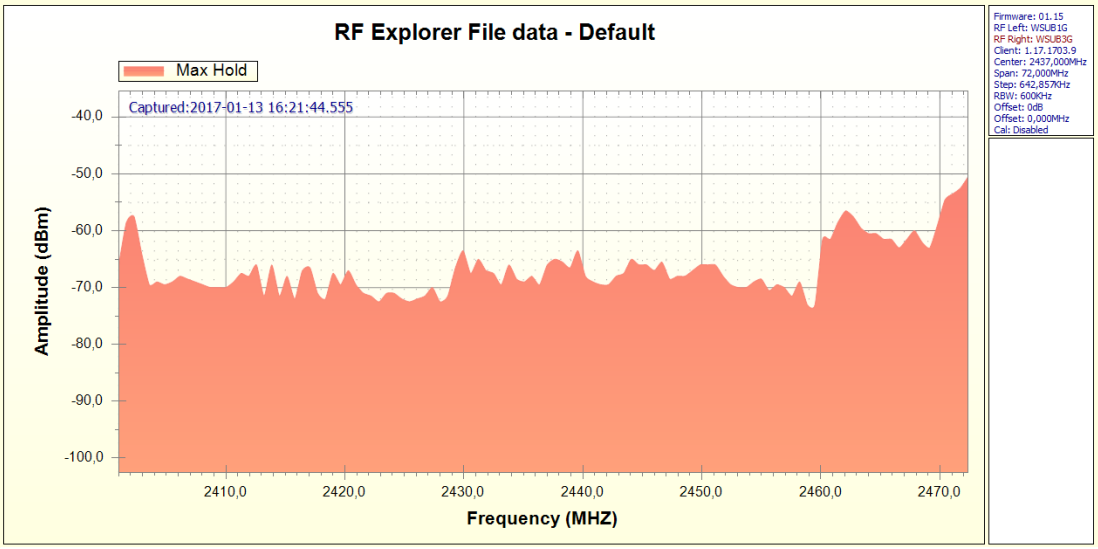


Figura 7.9: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

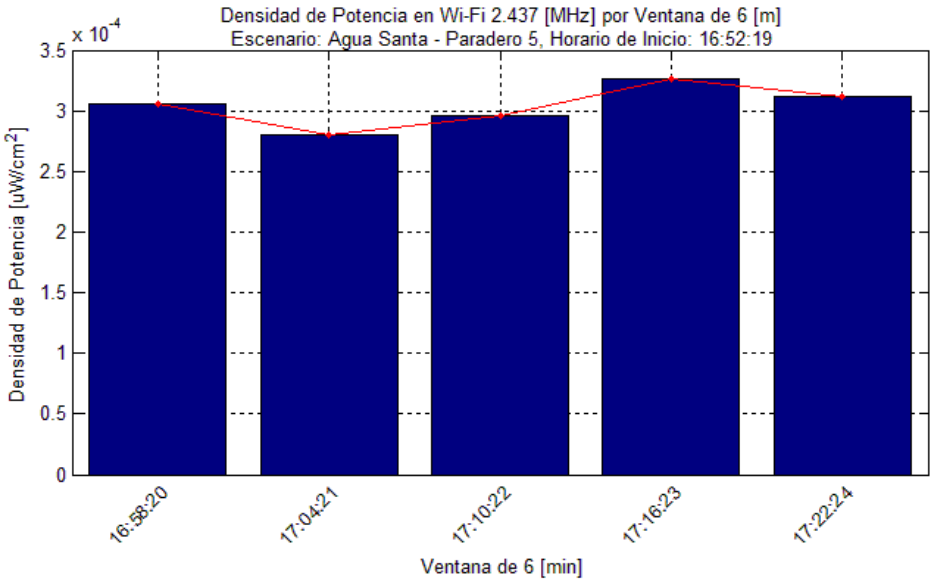


Figura 7.10: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

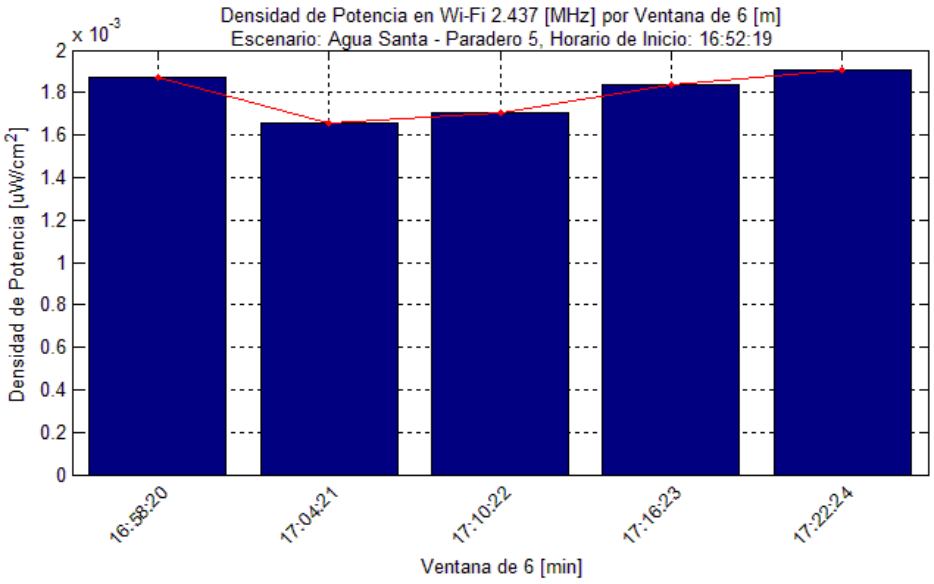


Figura 7.11: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

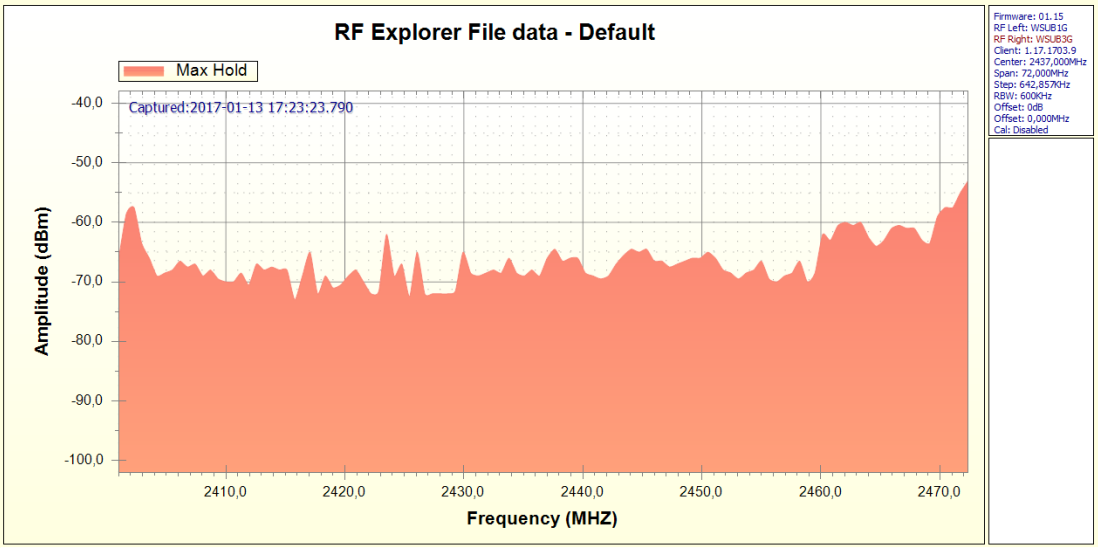


Figura 7.12: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows"

C.2. Jardín Infantil “Aprendemos Jugando”

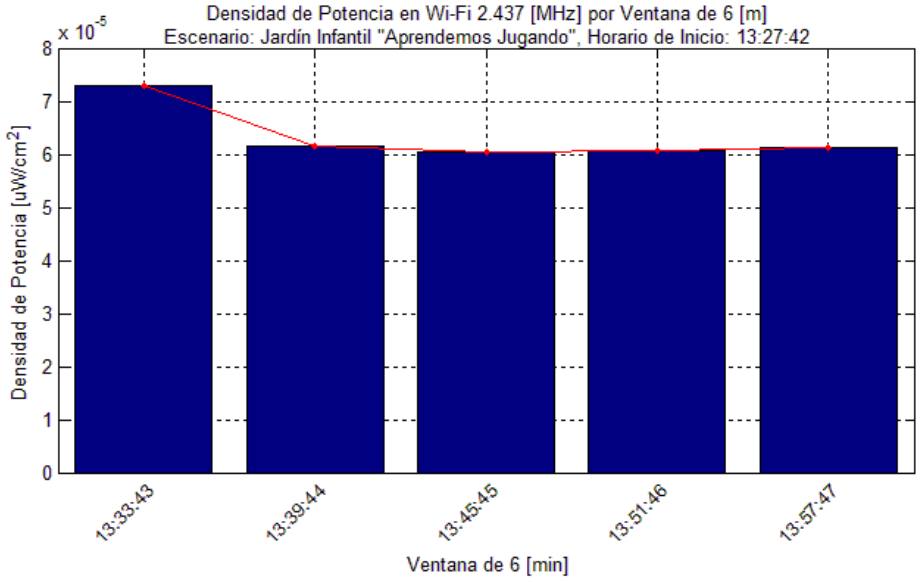


Figura 7.13: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

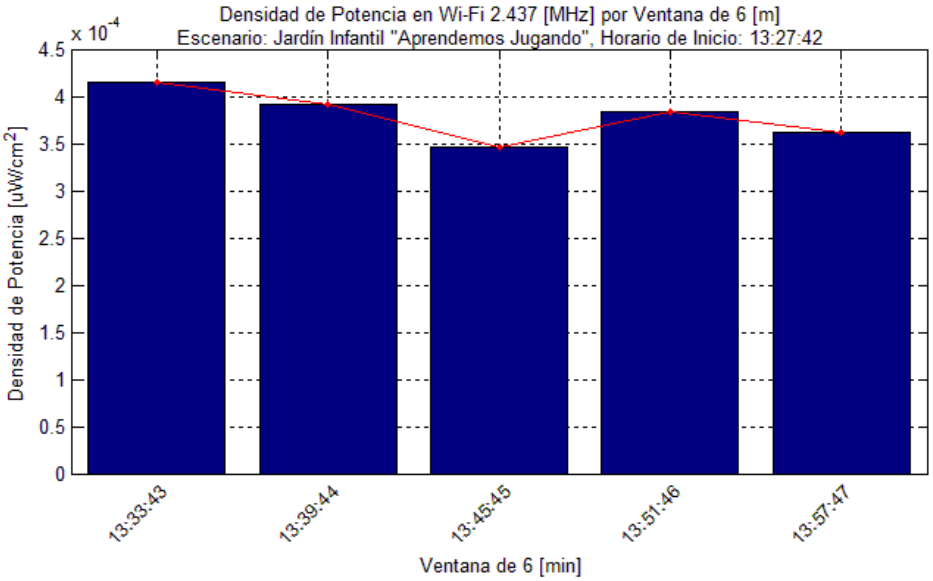


Figura 7.14: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

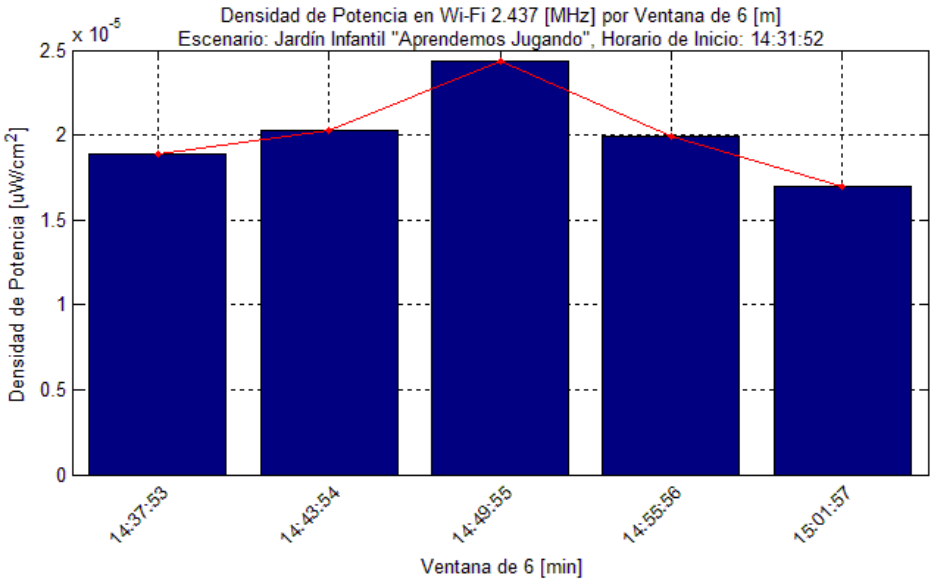


Figura 7.15: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

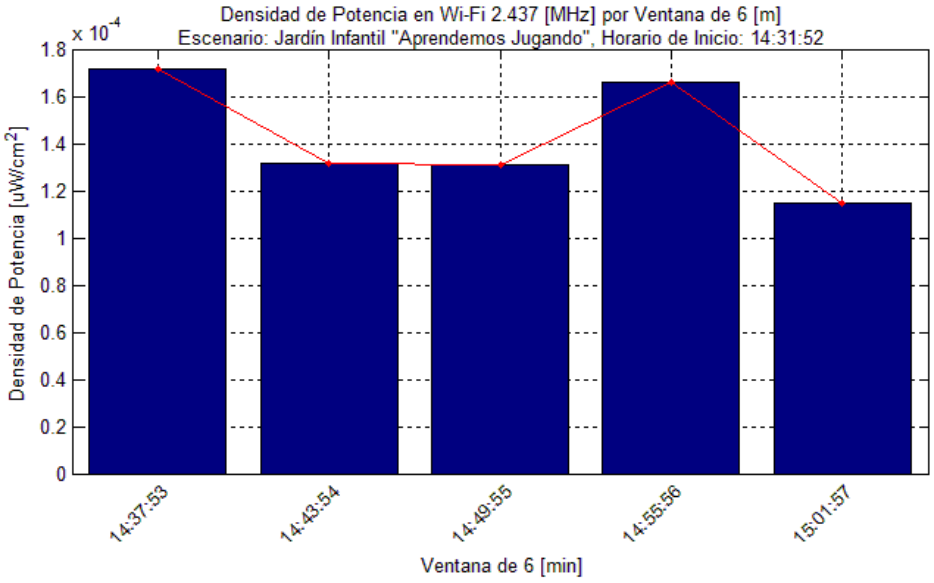


Figura 7.16: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

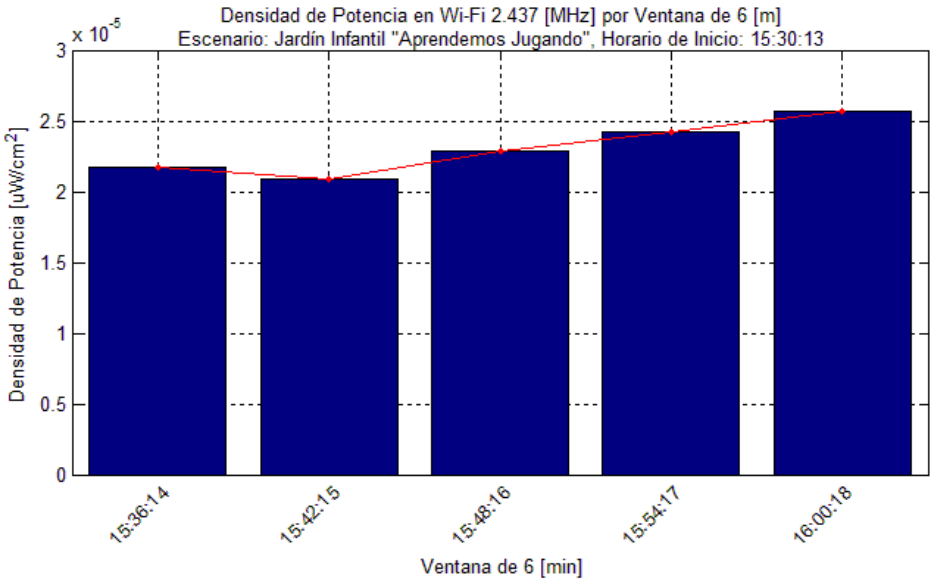


Figura 7.17: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

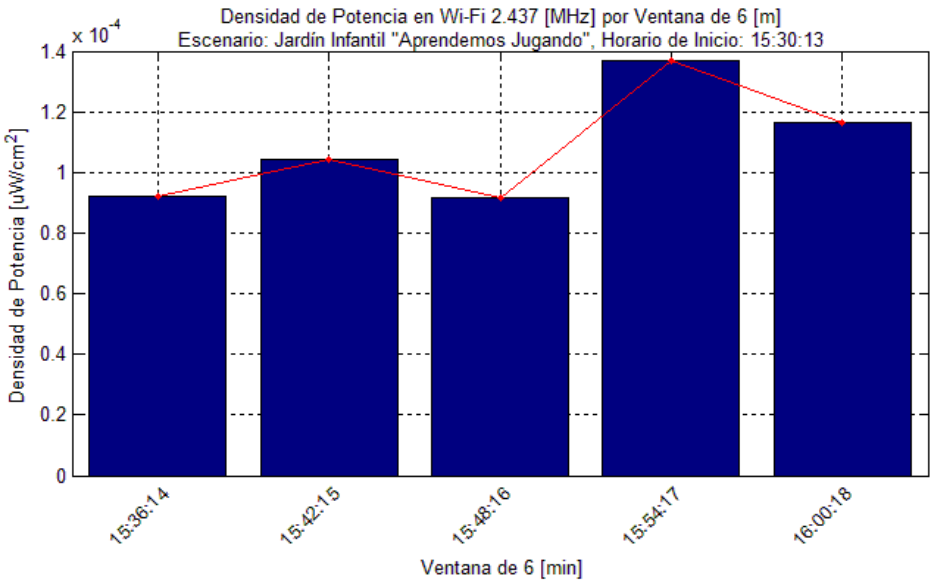


Figura 7.18: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

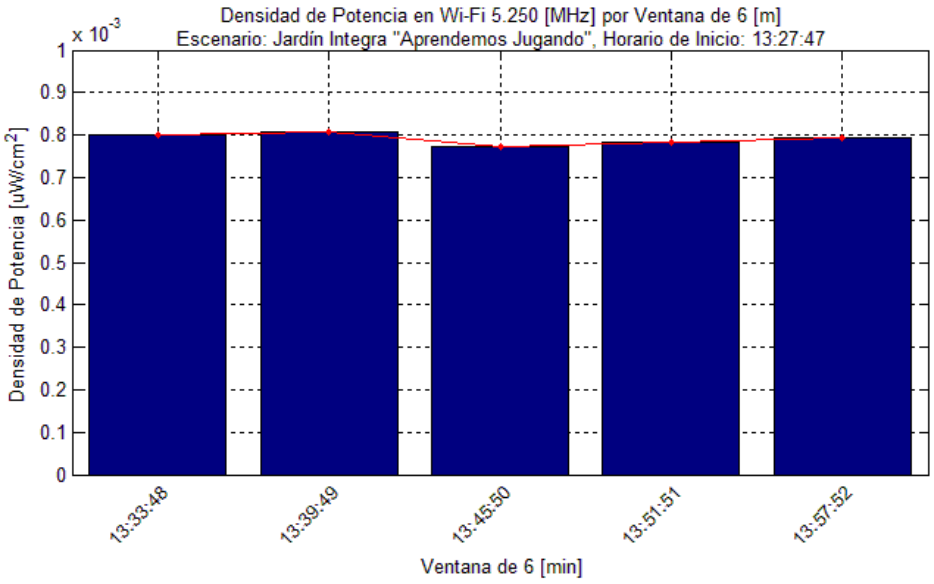


Figura 7.19: Segunda medición banda 5.250 [MHz]. Función: Promedio

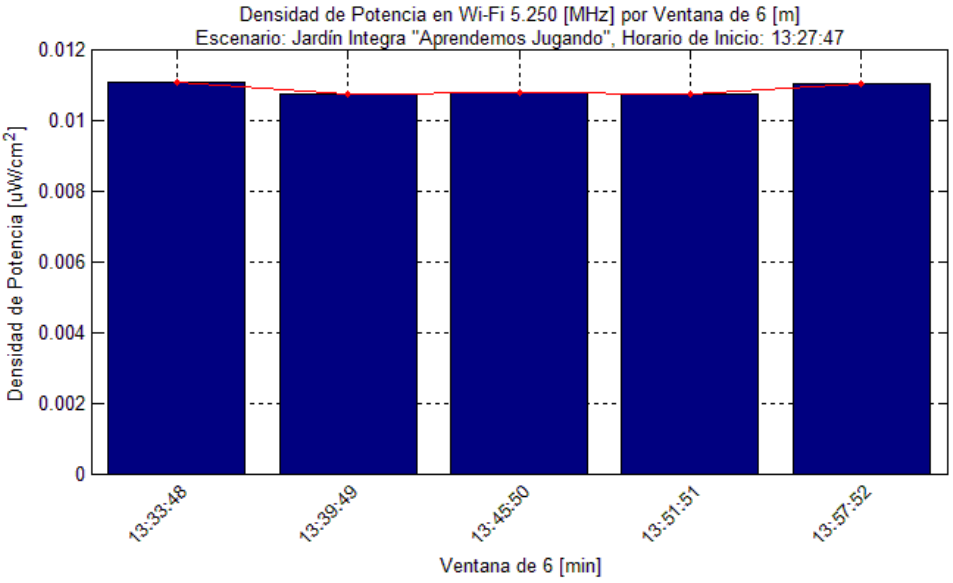


Figura 7.20: Segunda medición banda 5.250 [MHz]. Función: Máximo

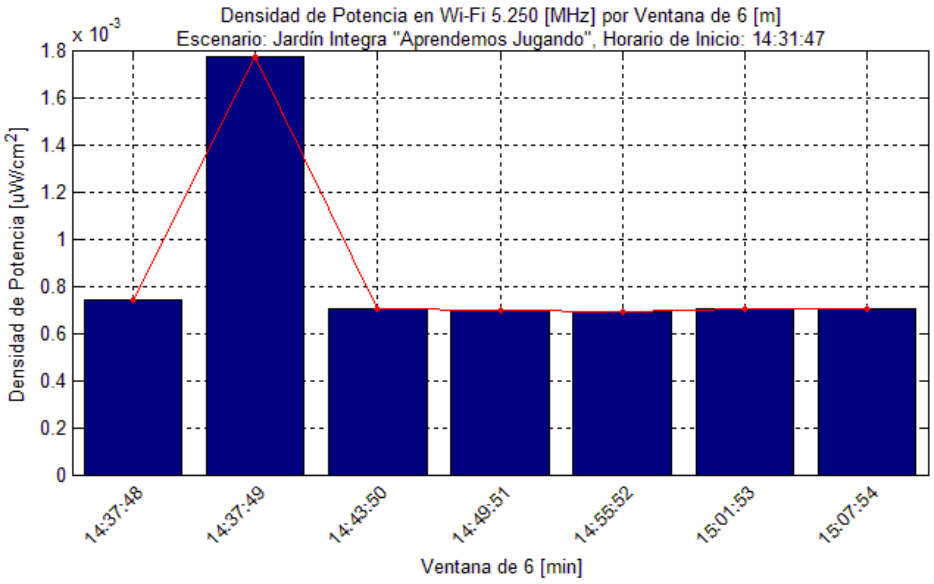


Figura 7.21: Tercera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Promedio

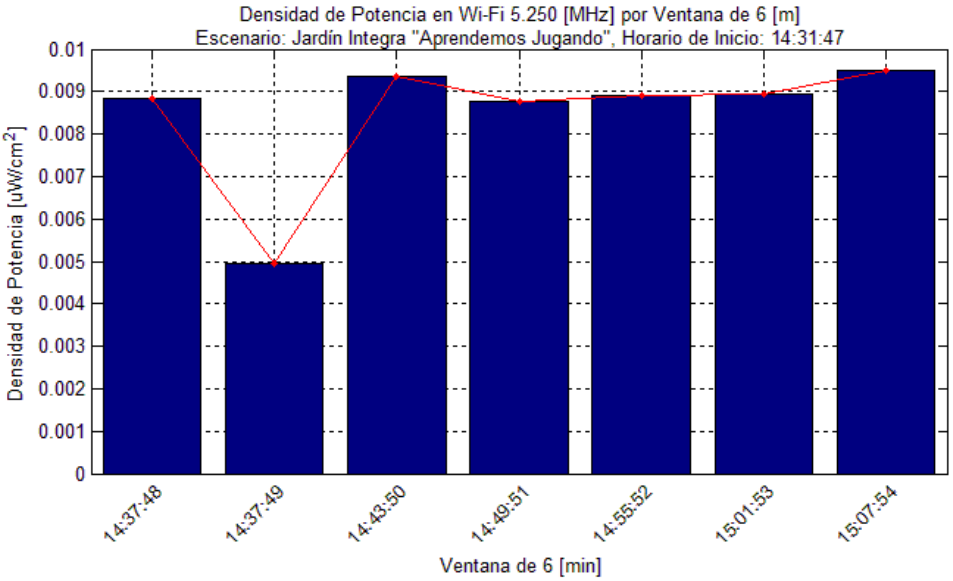


Figura 7.22: Tercera medición banda 5.250 [MHz]. Función: Máximo

C.3. Jardín Infantil “Snoopy”

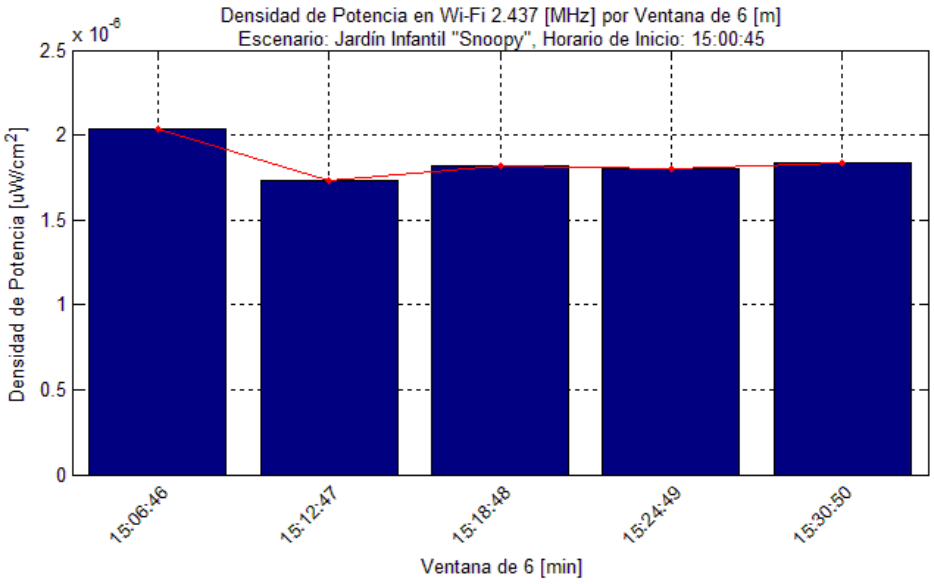


Figura 7.23: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

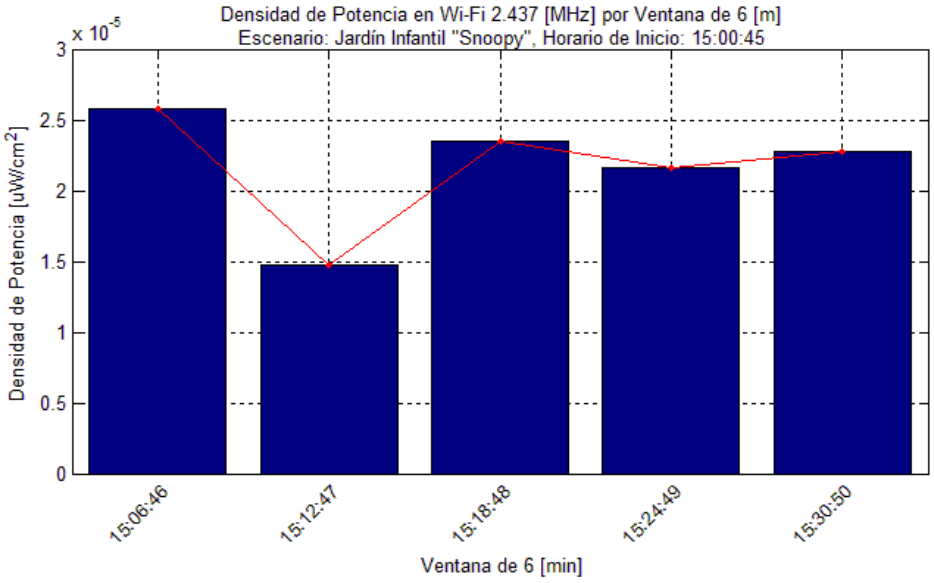


Figura 7.24: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

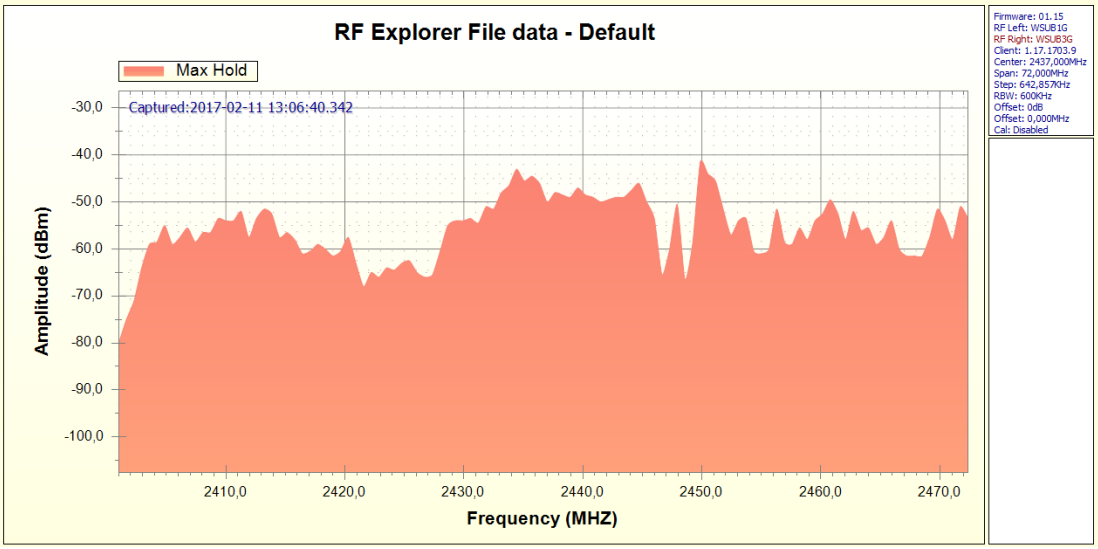


Figura 7.25: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

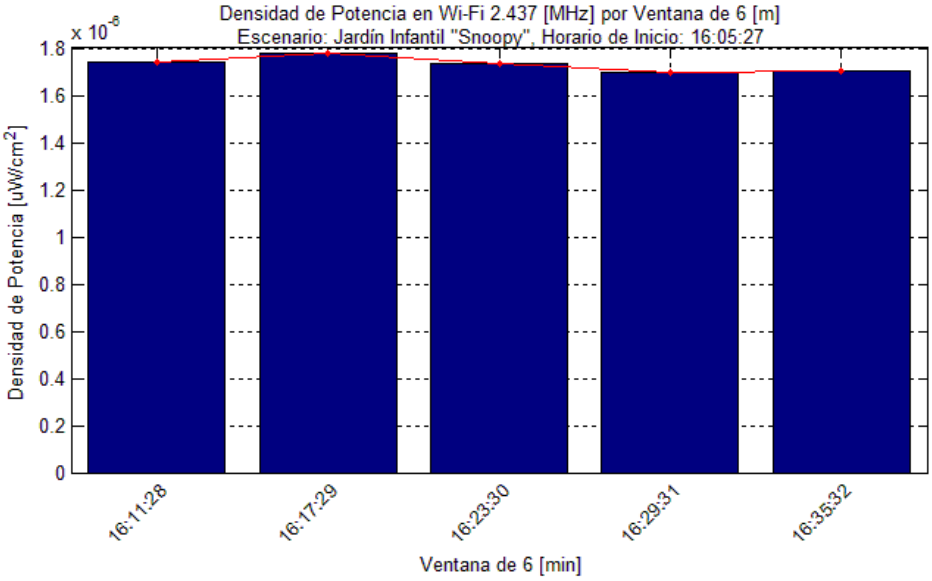


Figura 7.26: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

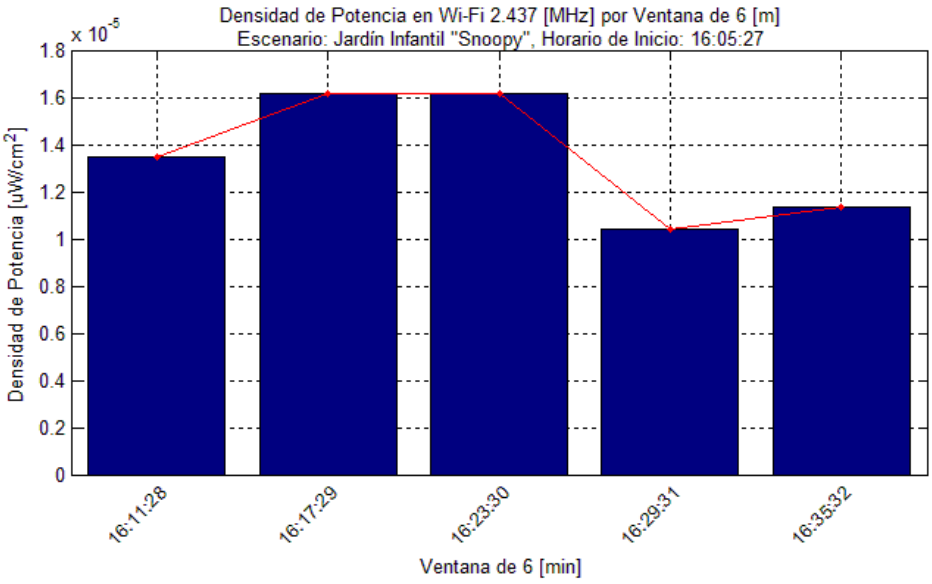


Figura 7.27: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

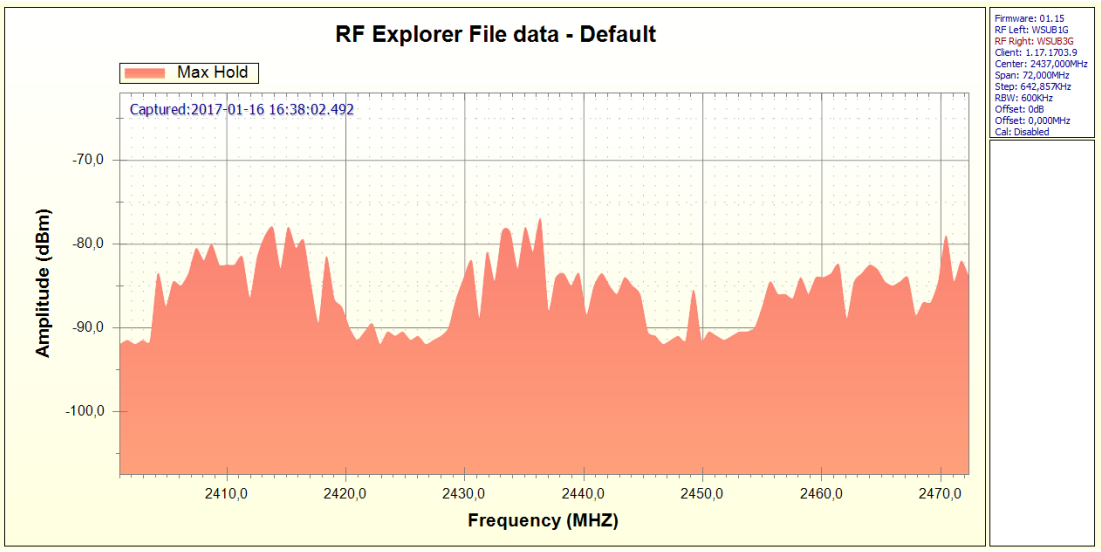


Figura 7.28: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows"

C.4. Hospital “Carlos Van Buren”

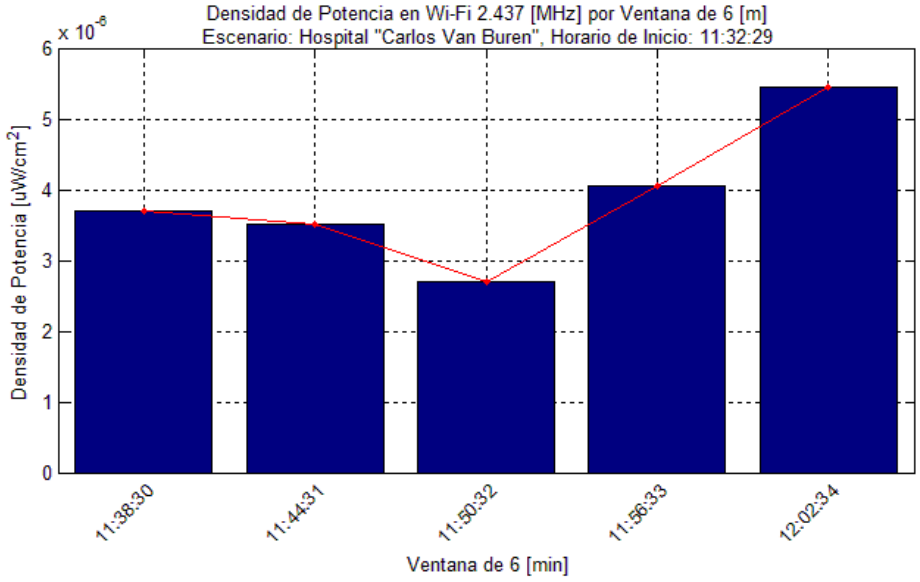


Figura 7.29: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

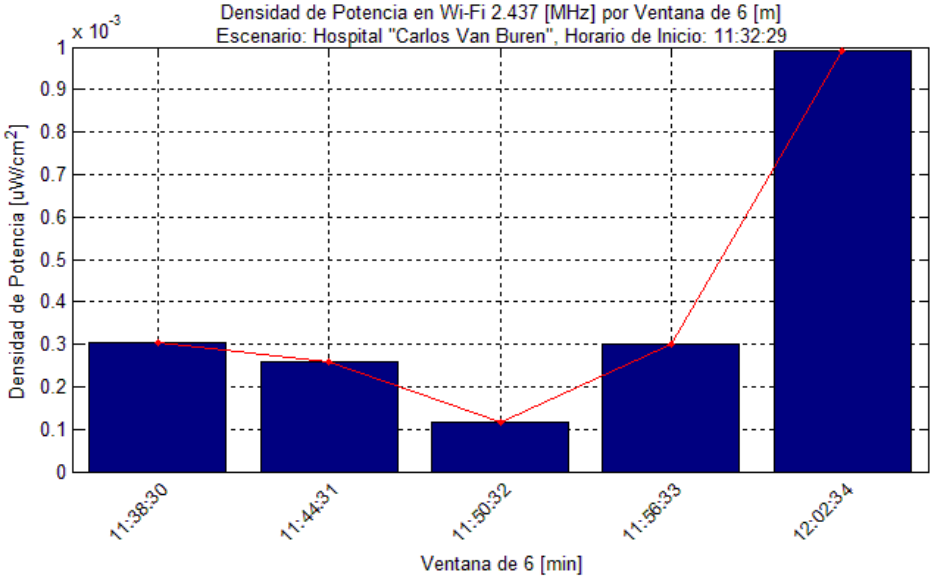


Figura 7.30: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

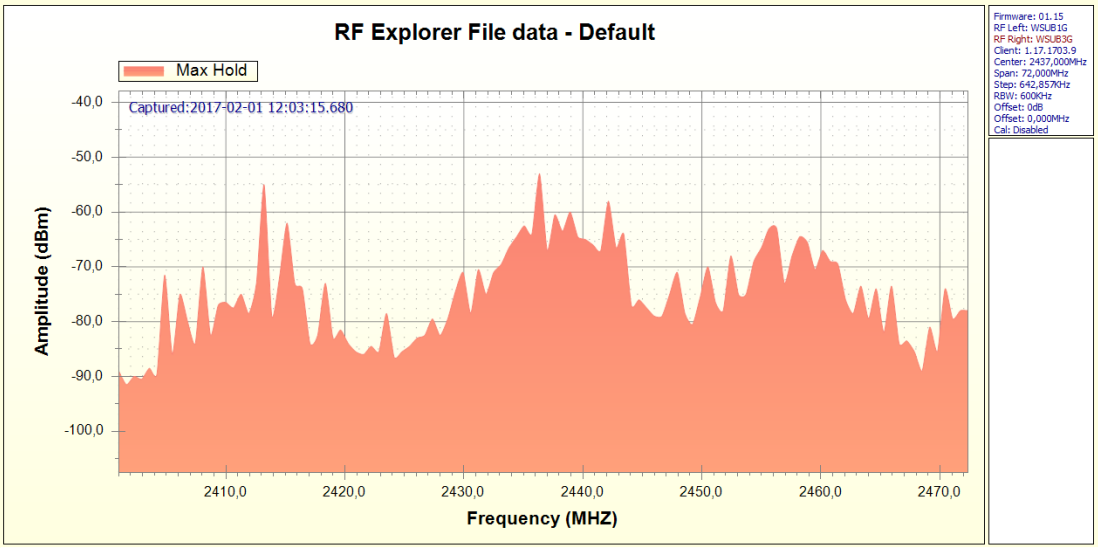


Figura 7.31: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

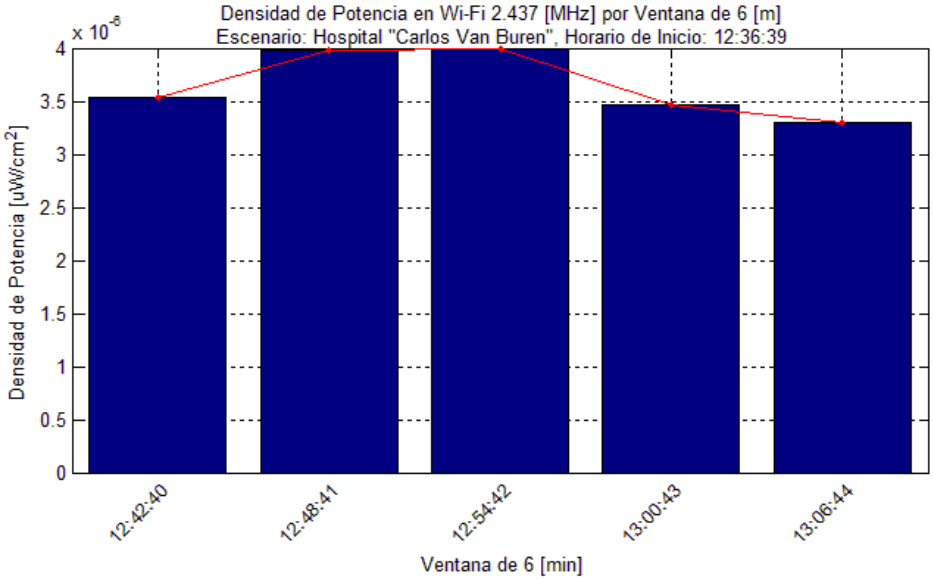


Figura 7.32: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

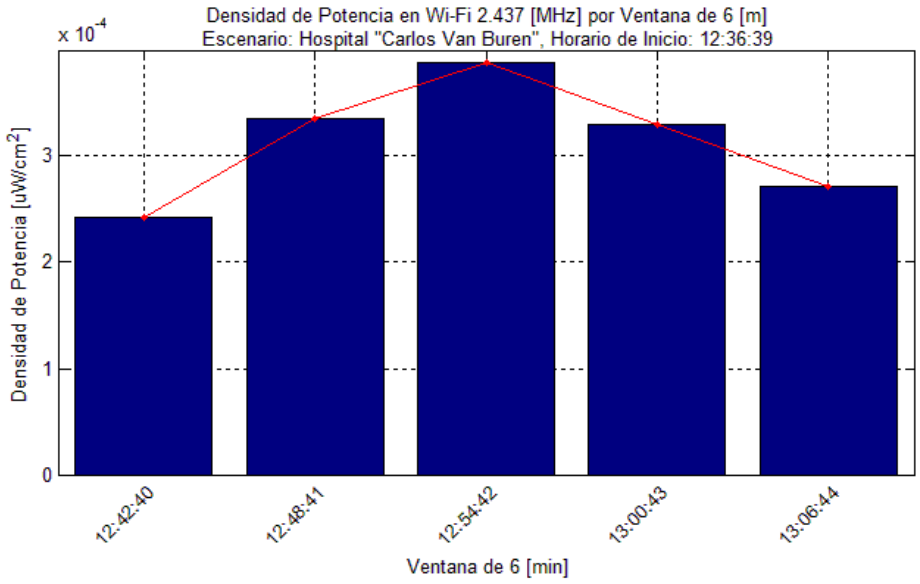


Figura 7.33: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

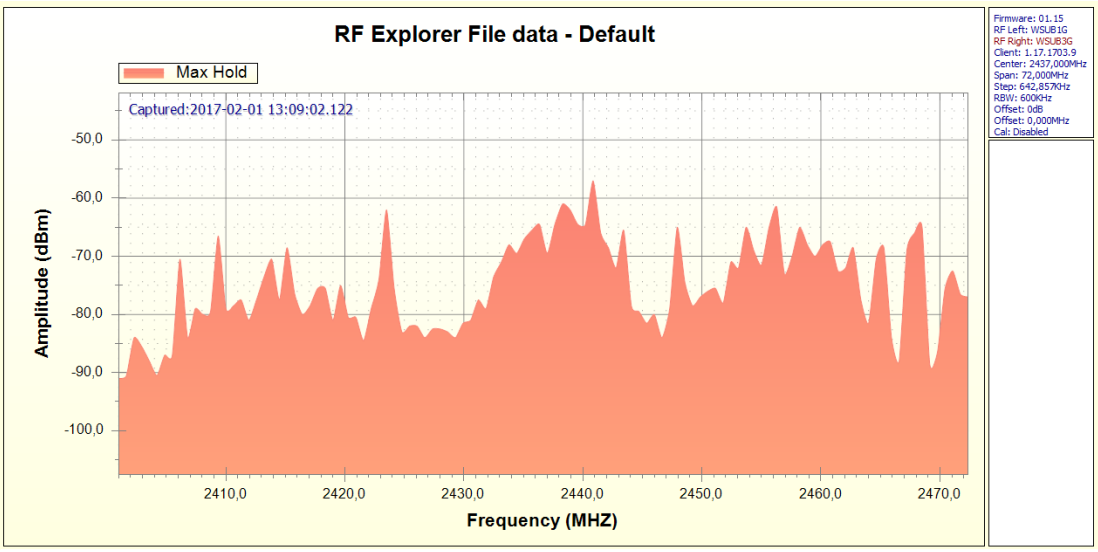


Figura 7.34: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

C.5. Clínica “Ciudad del Mar”

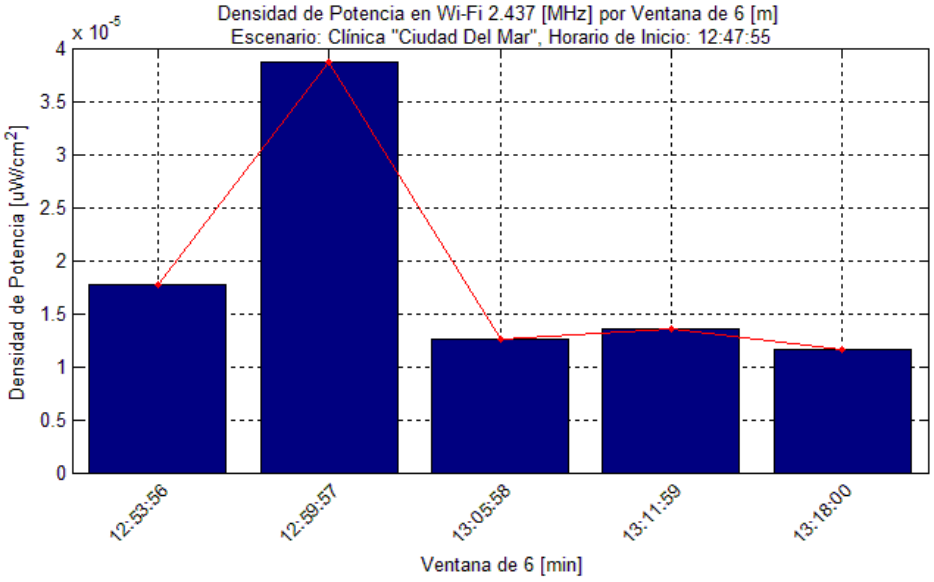


Figura 7.35: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

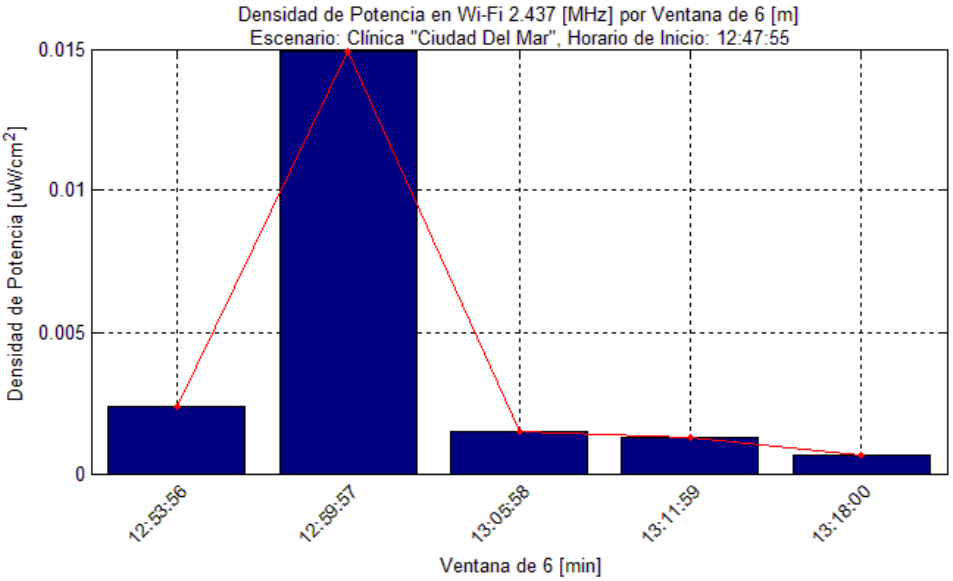


Figura 7.36: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

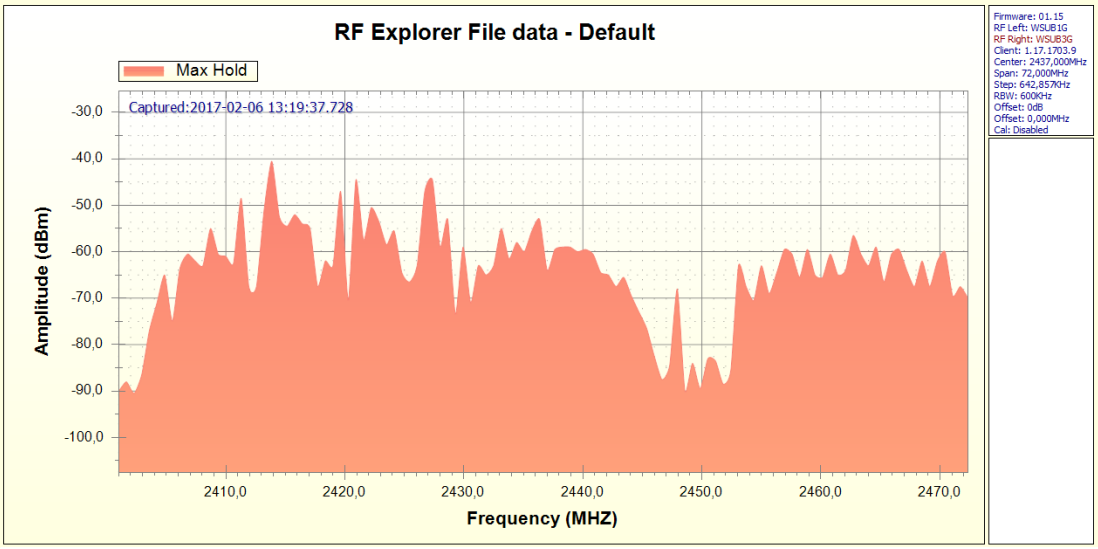


Figura 7.37: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

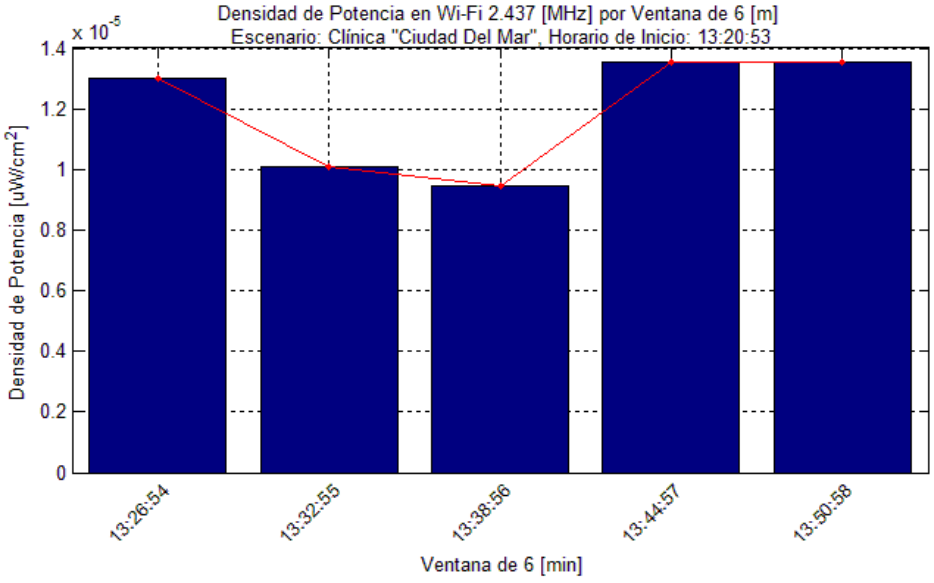


Figura 7.38: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

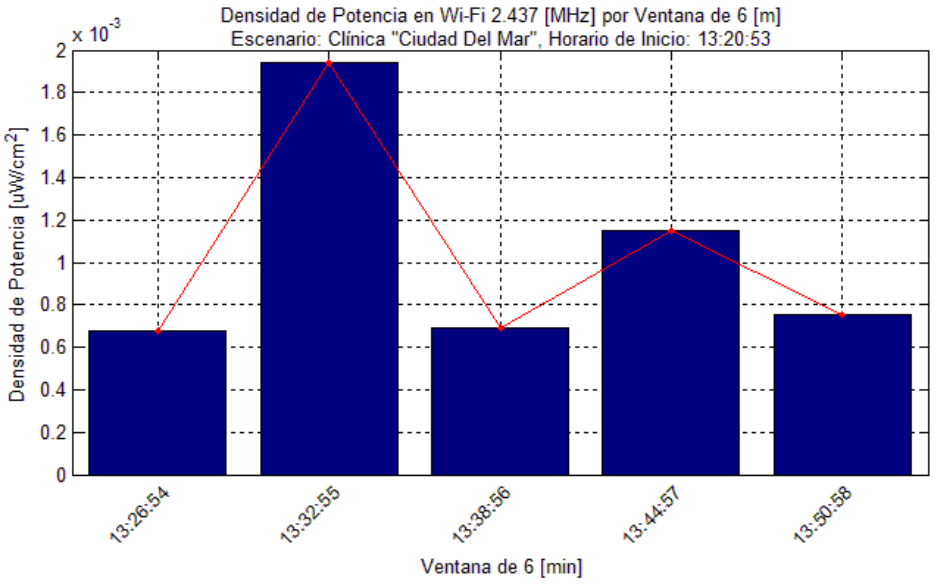


Figura 7.39: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

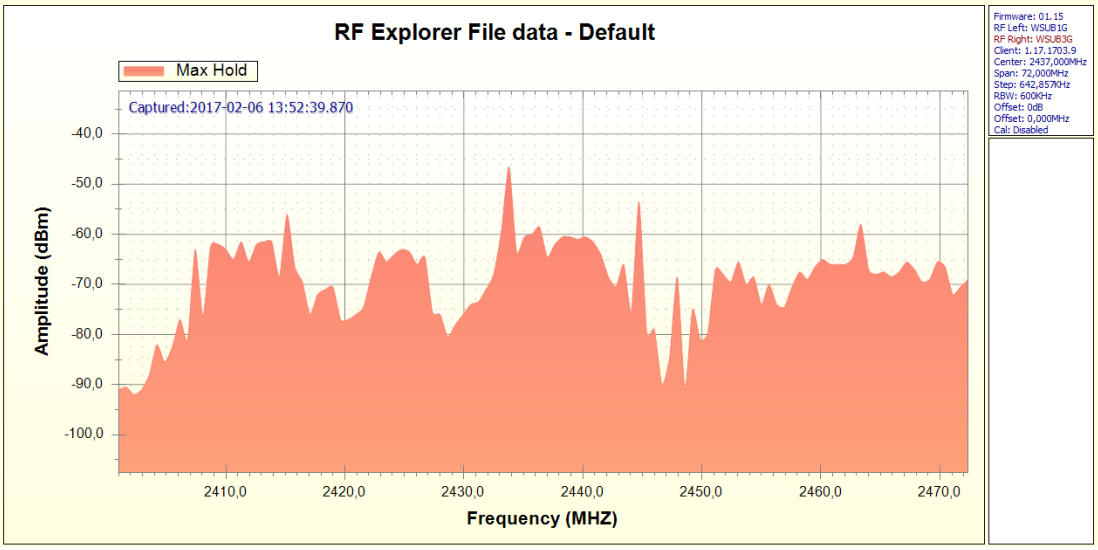


Figura 7.40: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

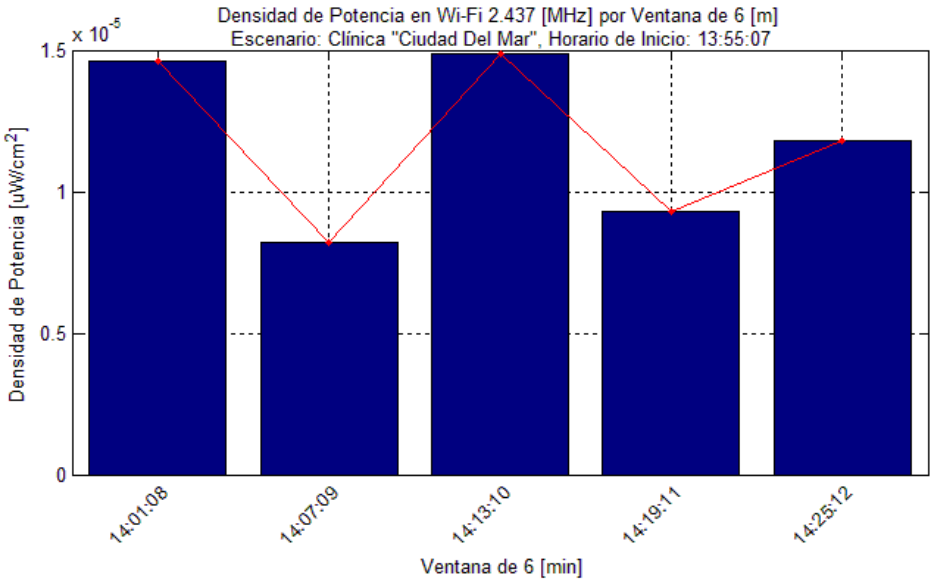


Figura 7.41: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

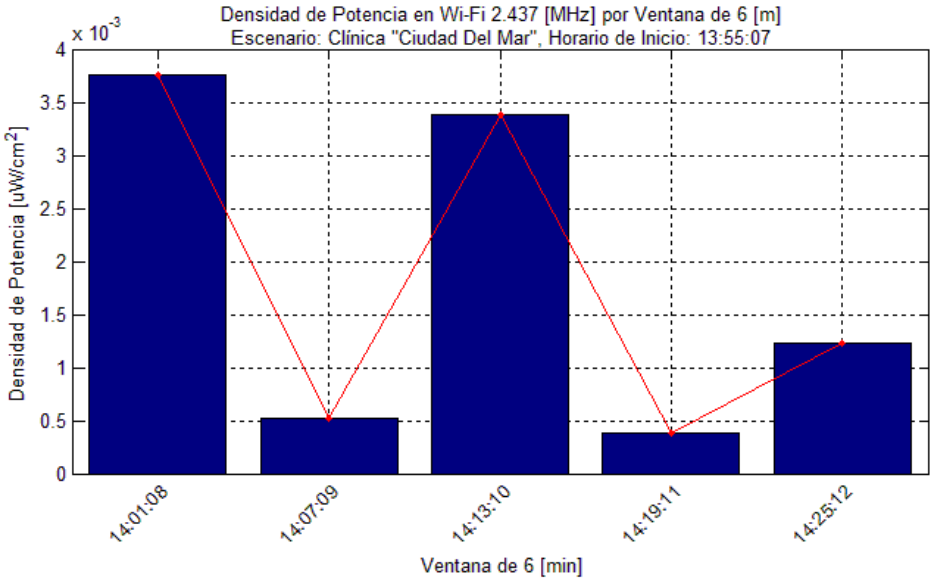


Figura 7.42: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

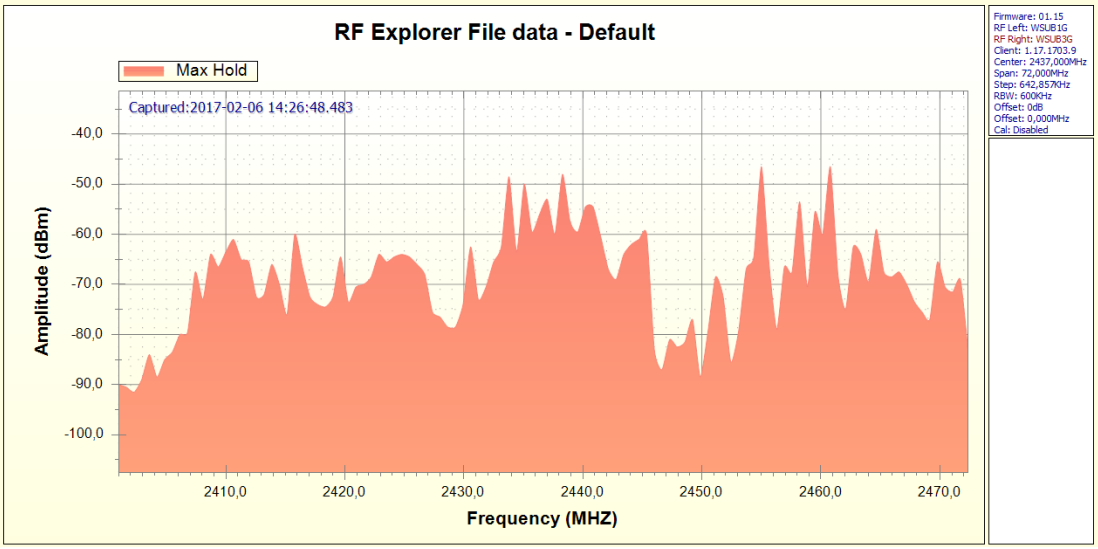


Figura 7.43: Cuarta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

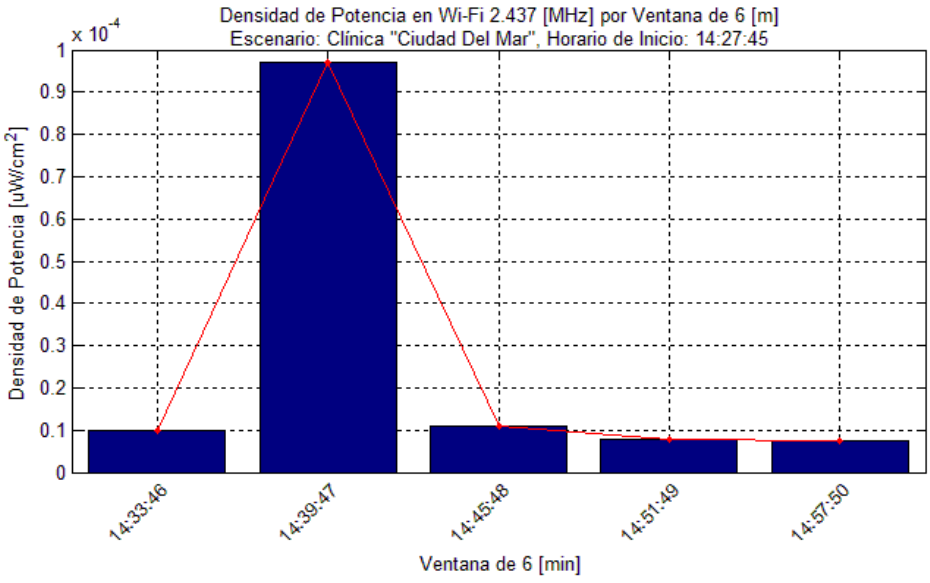


Figura 7.44: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

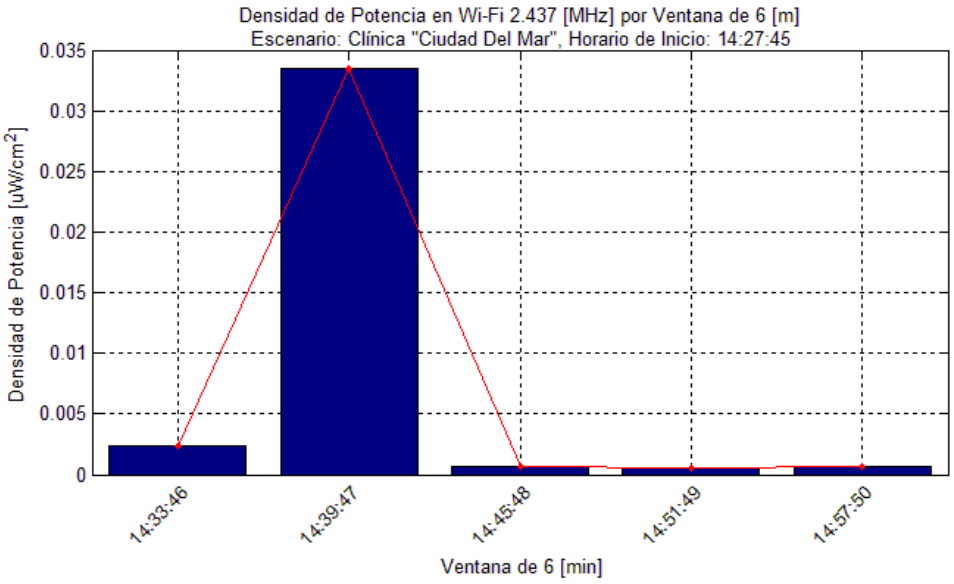


Figura 7.45: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

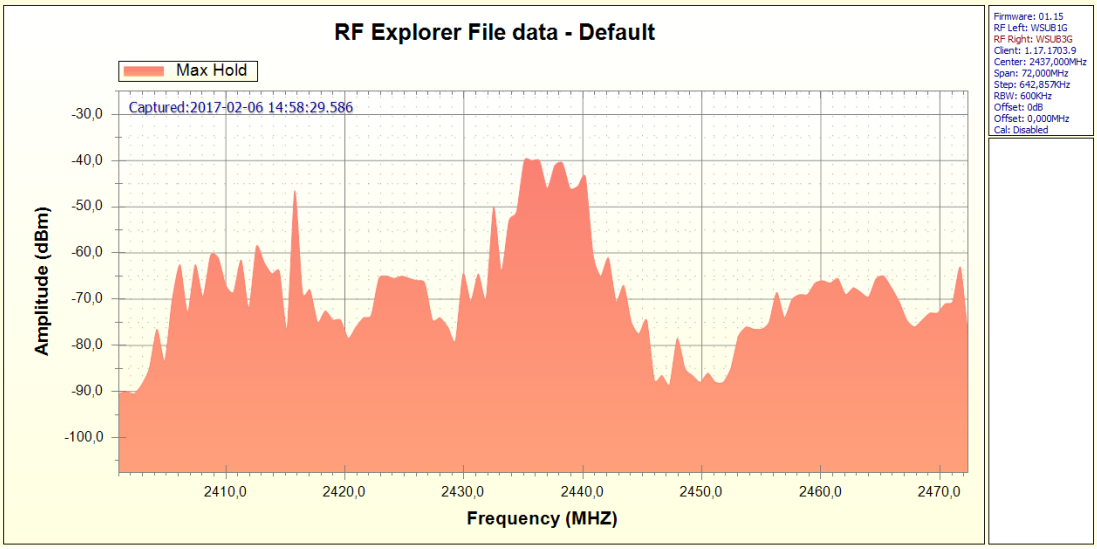


Figura 7.46: Quinta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

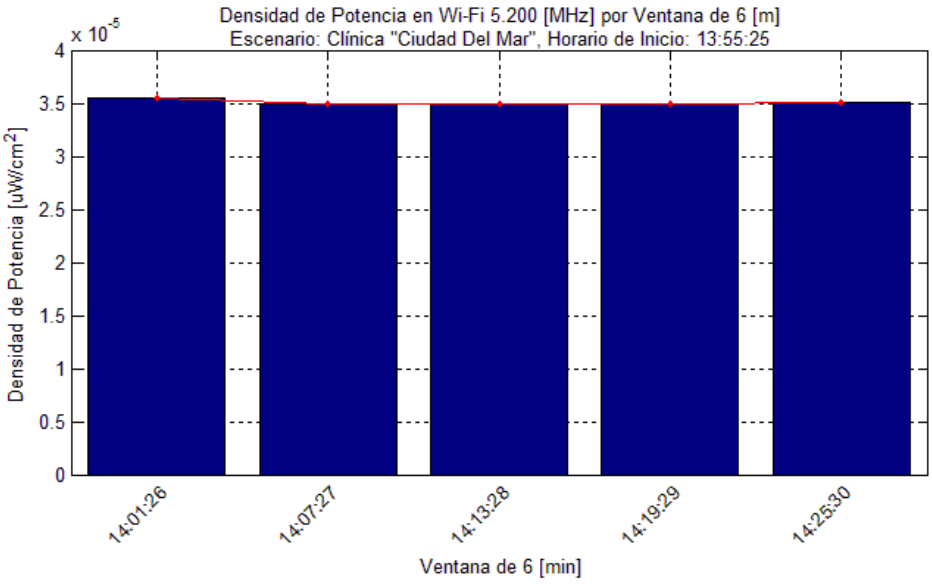


Figura 7.47: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

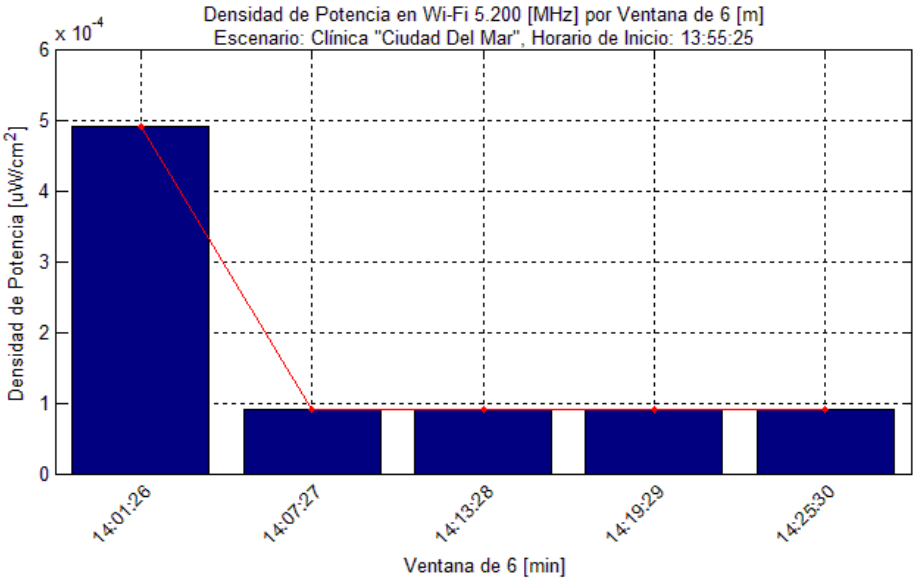


Figura 7.48: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

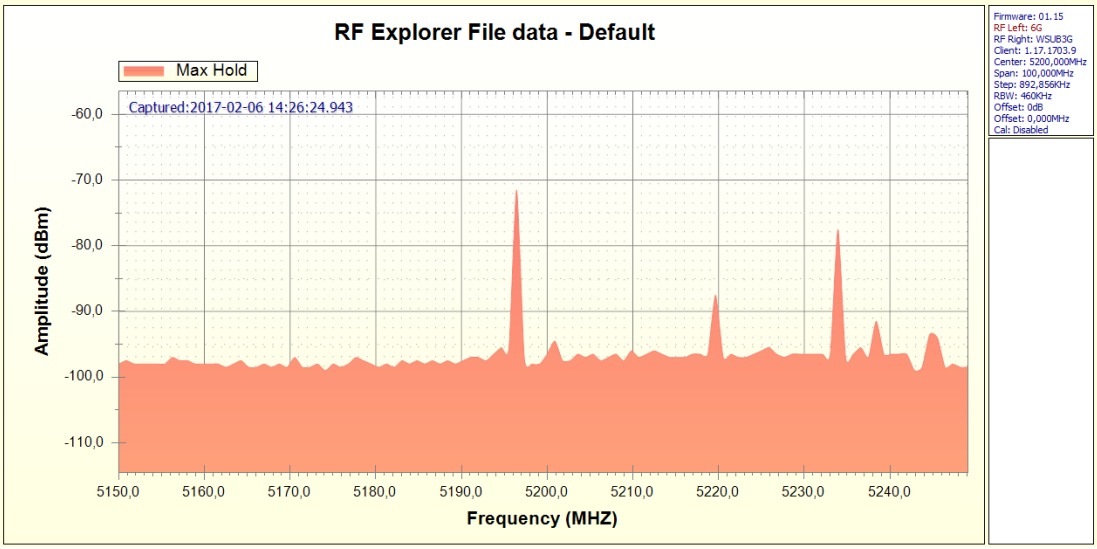


Figura 7.49: Segunda medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

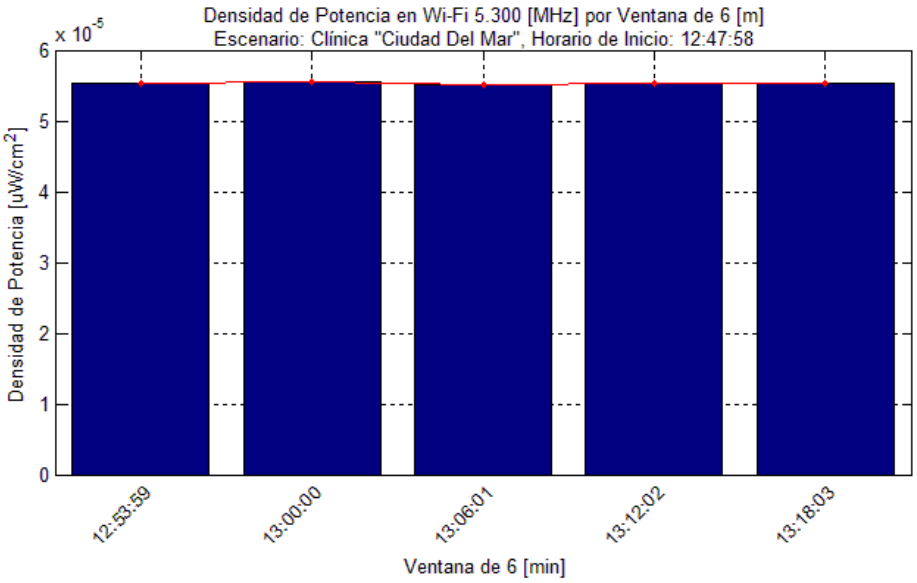


Figura 7.50: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

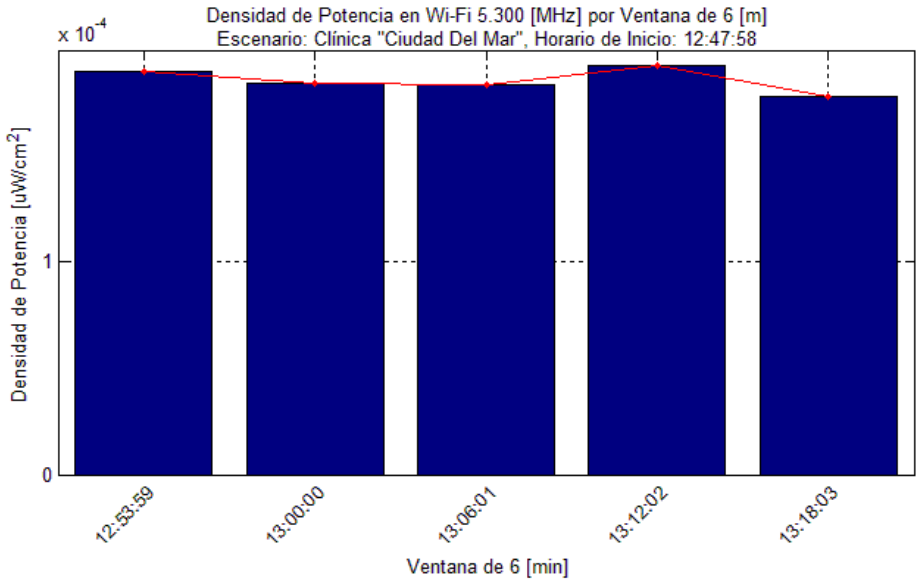


Figura 7.51: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

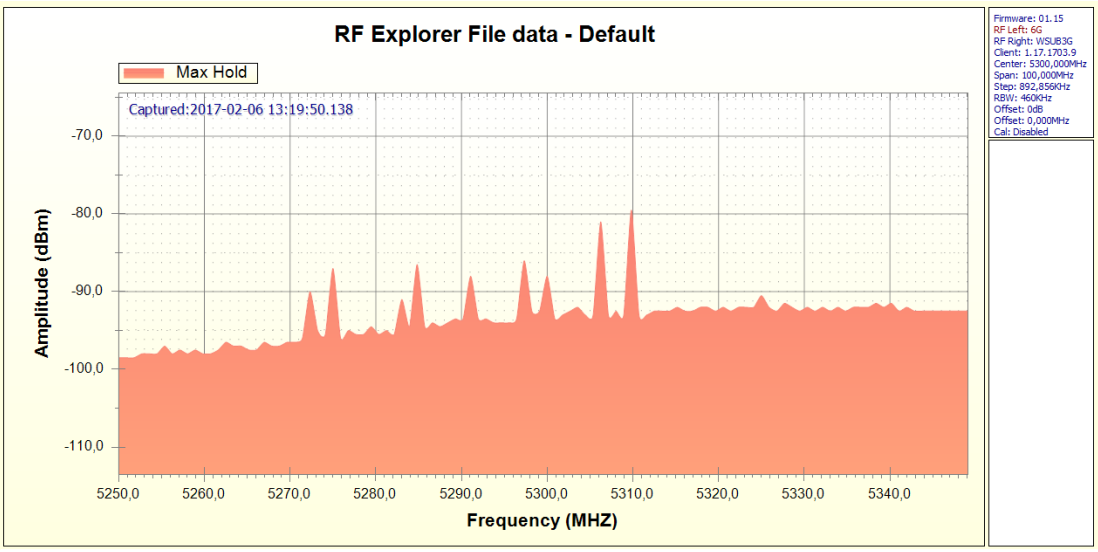


Figura 7.52: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

C.6. Centro Comercial “Mall Marina”

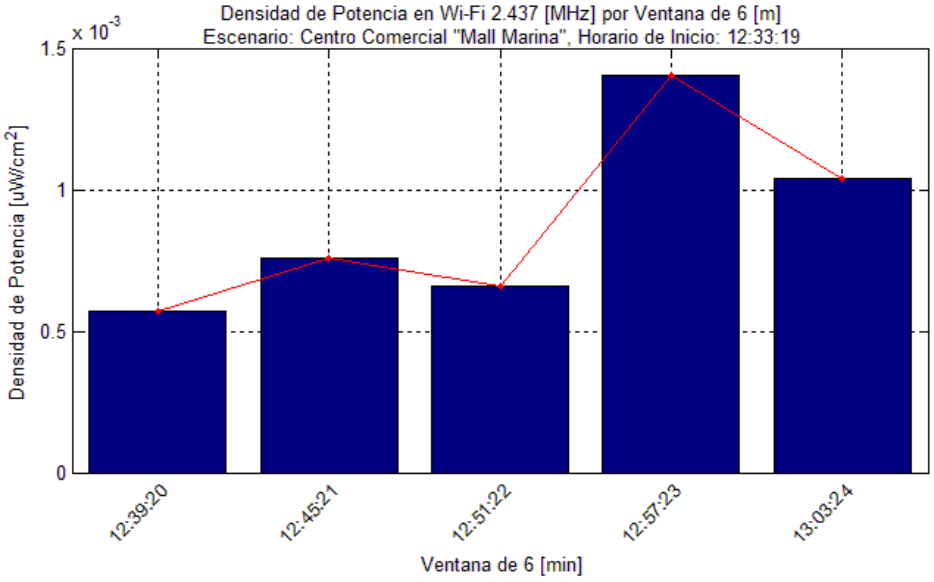


Figura 7.53: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

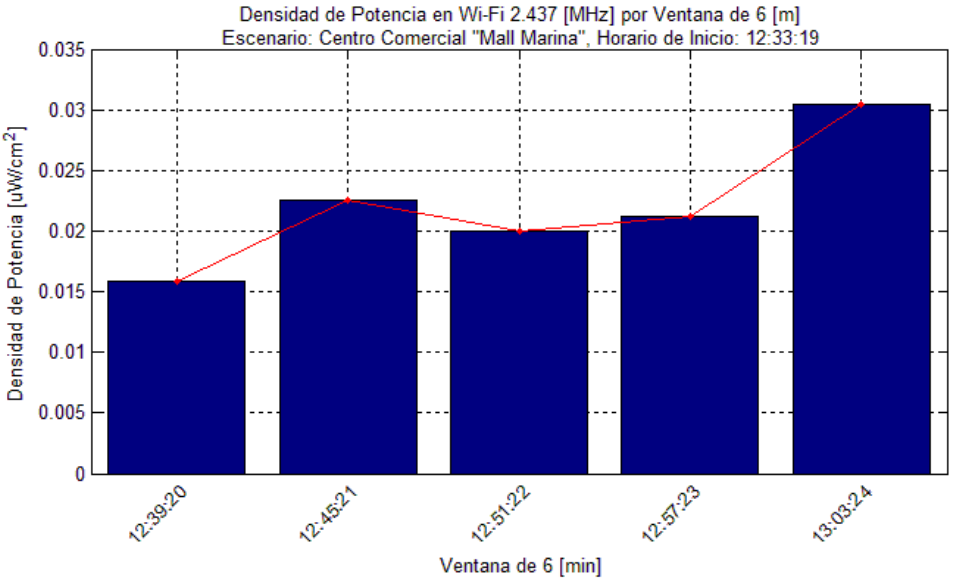


Figura 7.54: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

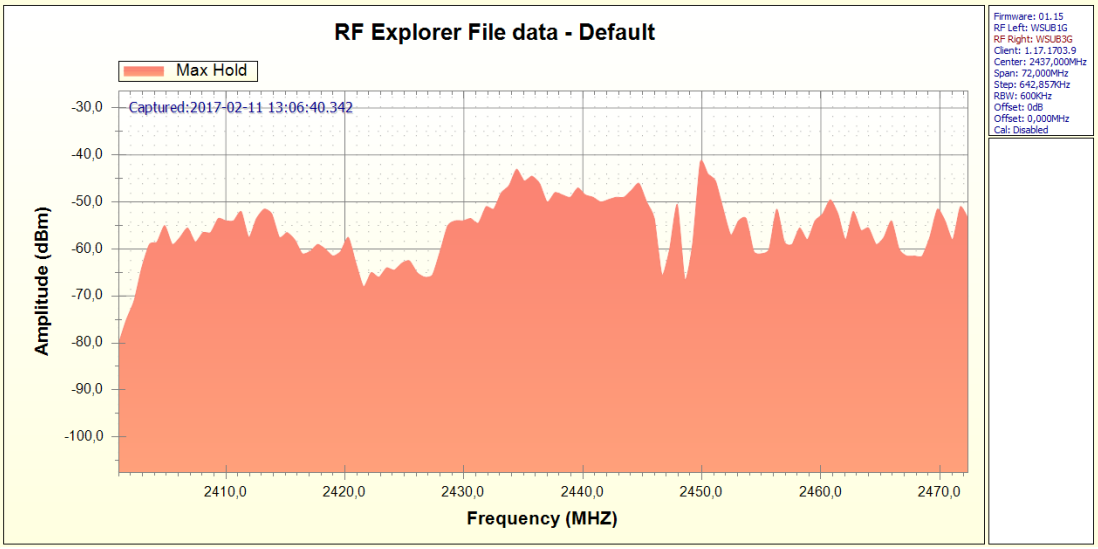


Figura 7.55: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

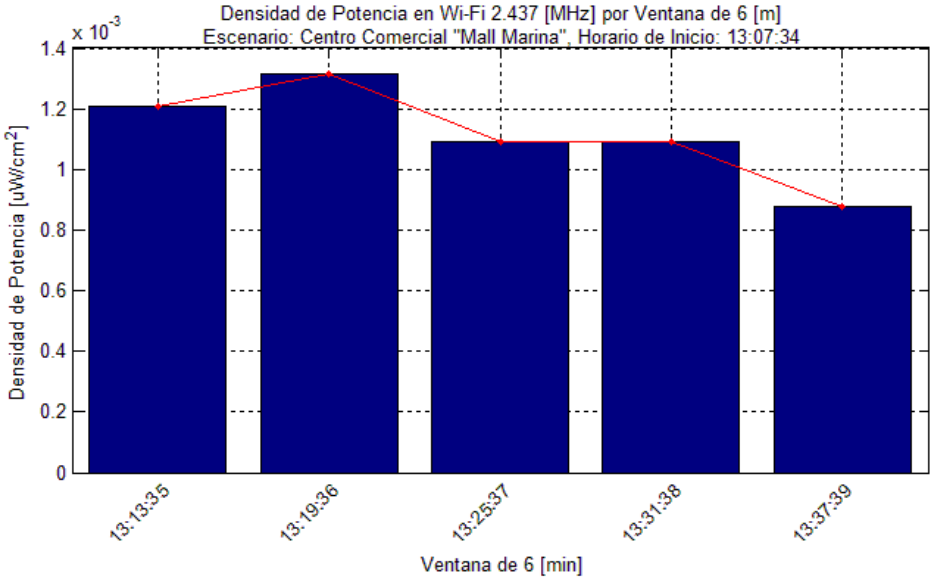


Figura 7.56: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

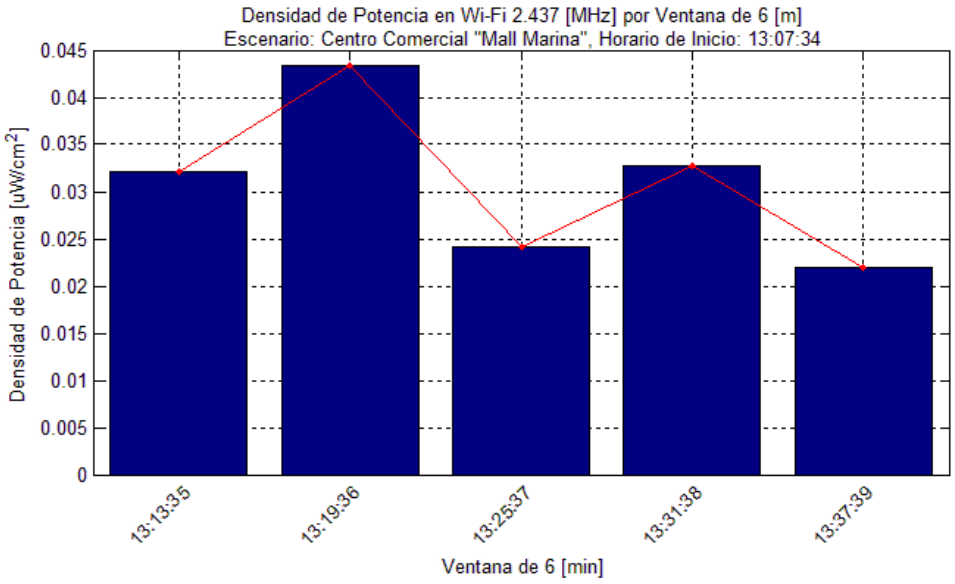


Figura 7.57: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

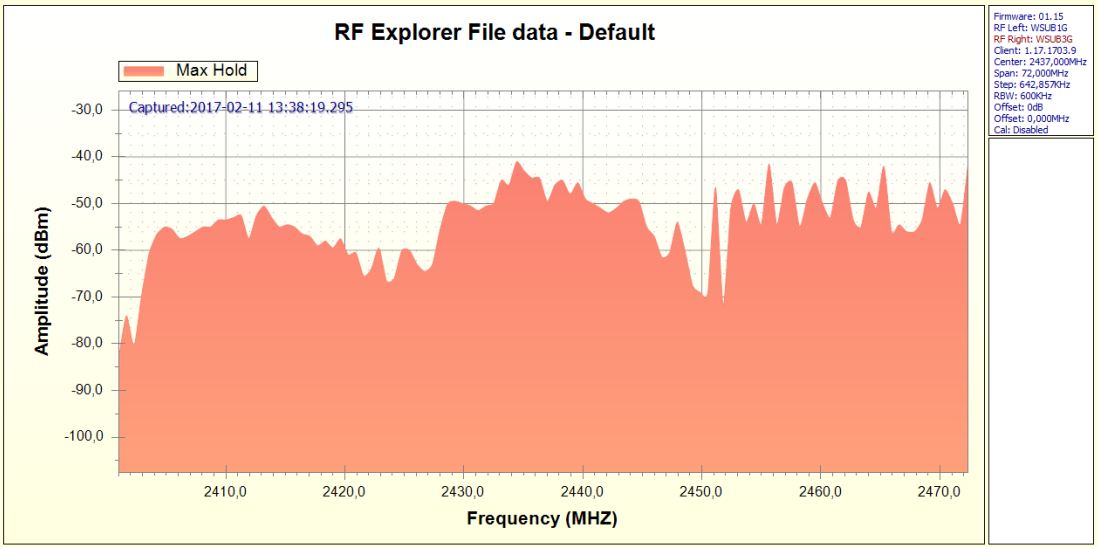


Figura 7.58: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

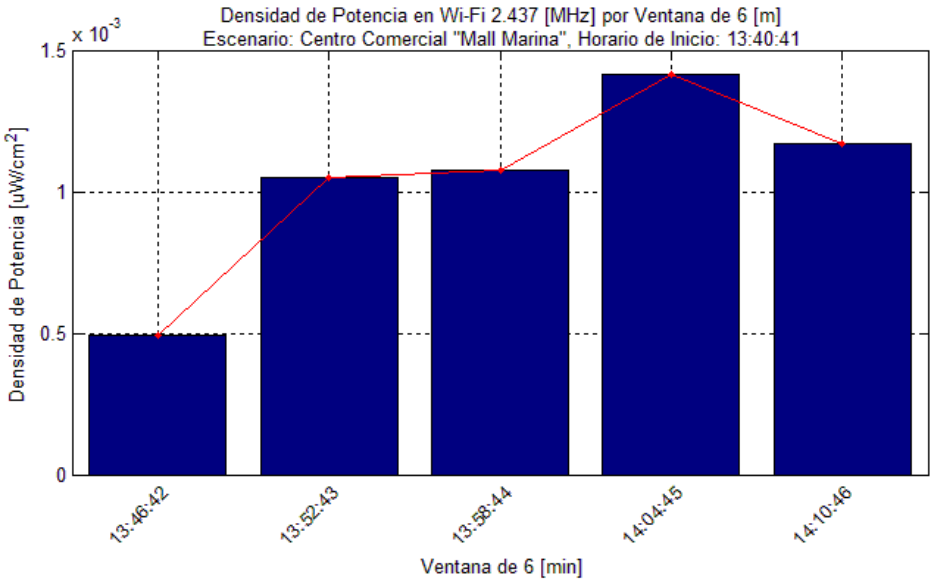


Figura 7.59: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

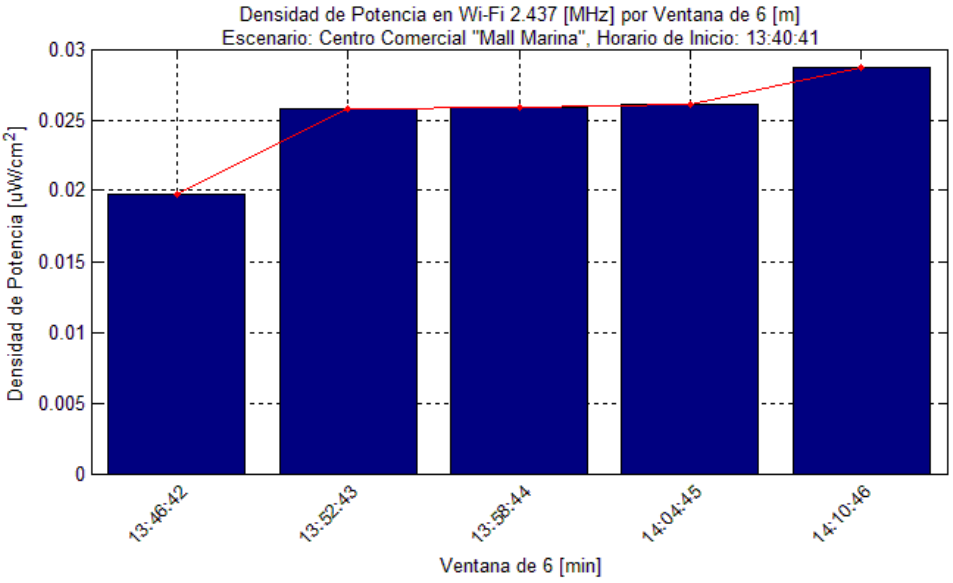


Figura 7.60: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

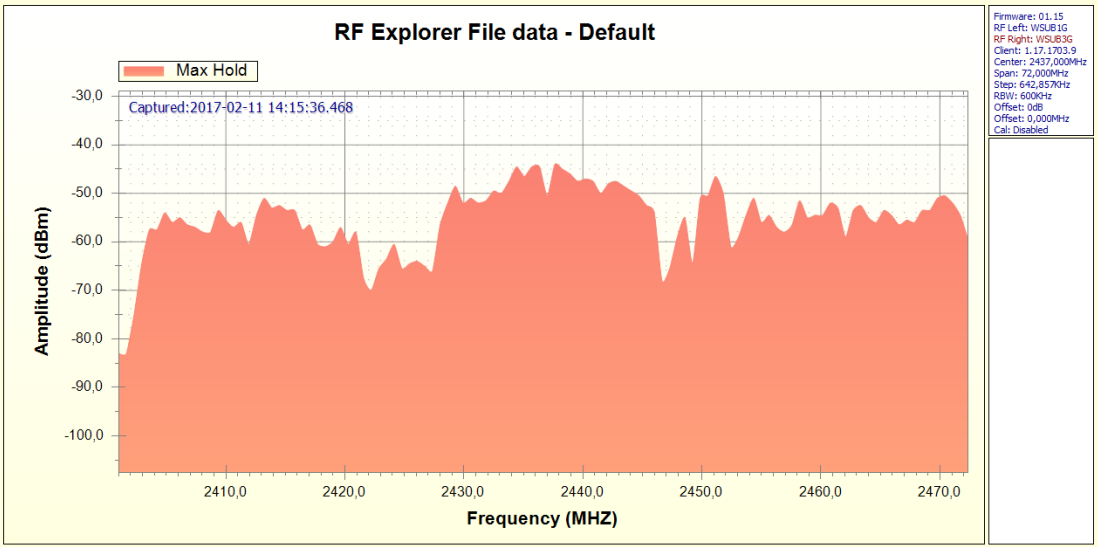


Figura 7.61: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

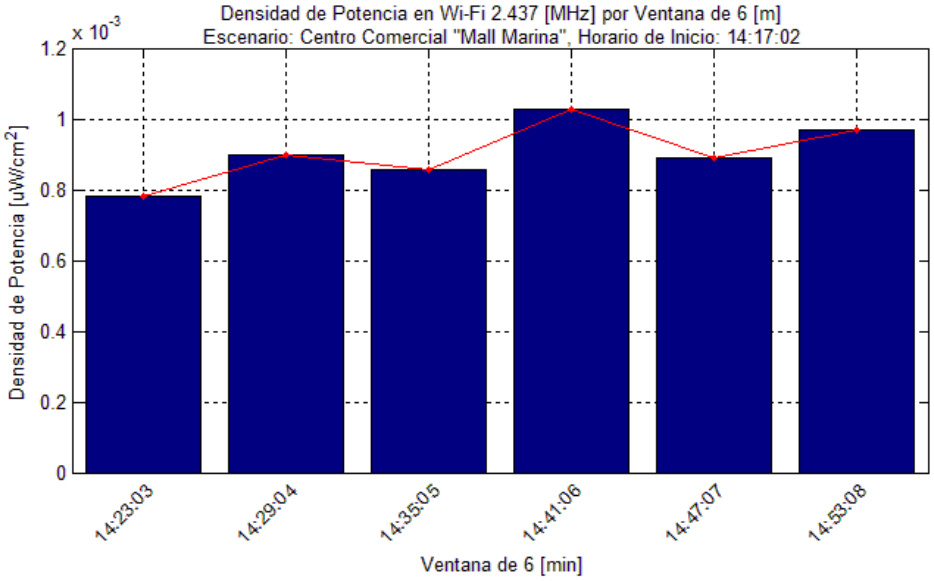


Figura 7.62: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

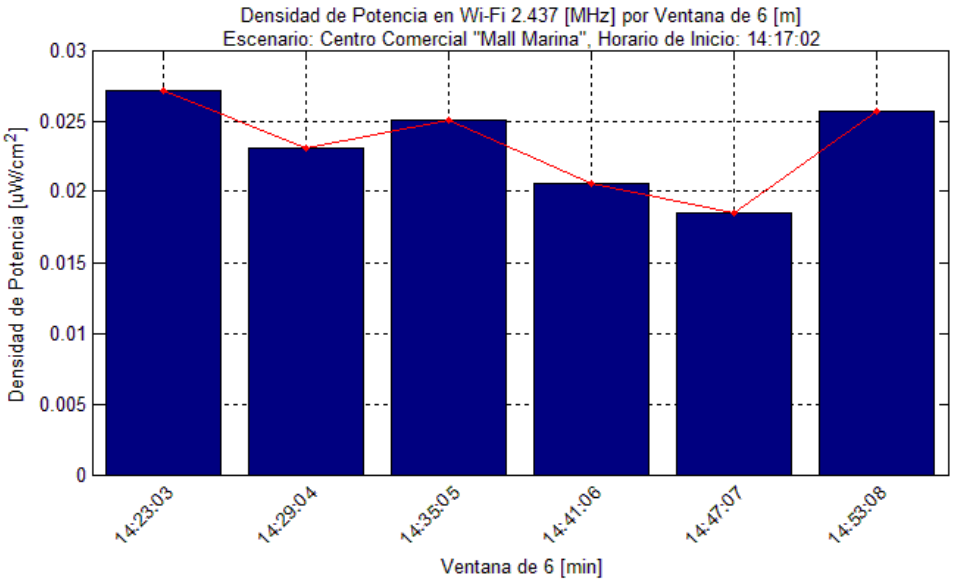


Figura 7.63: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

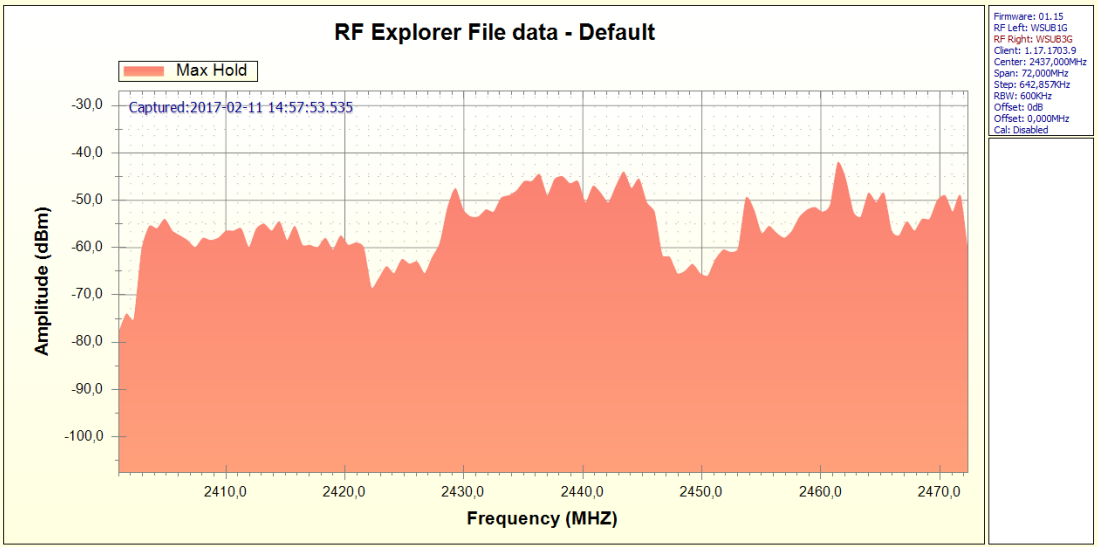


Figura 7.64: Cuarta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

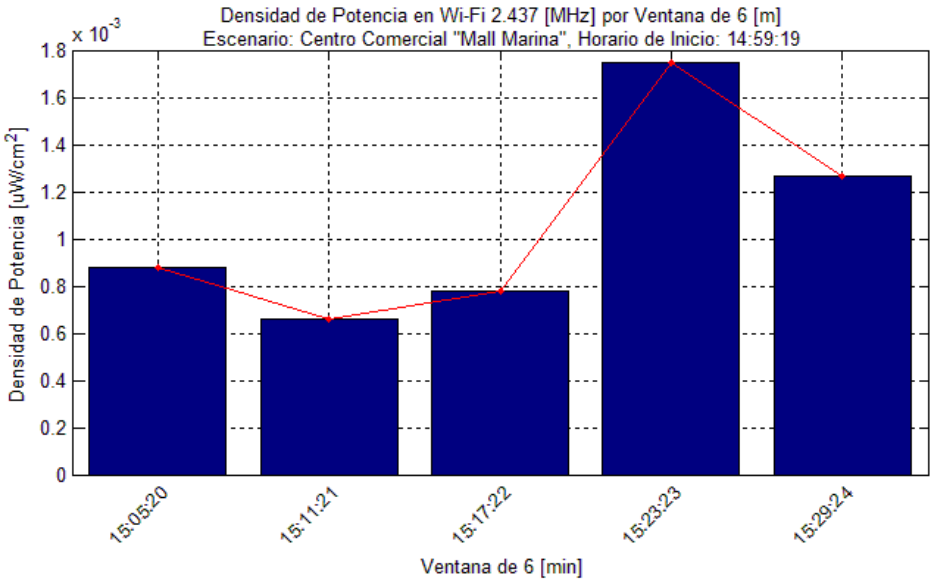


Figura 7.65: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

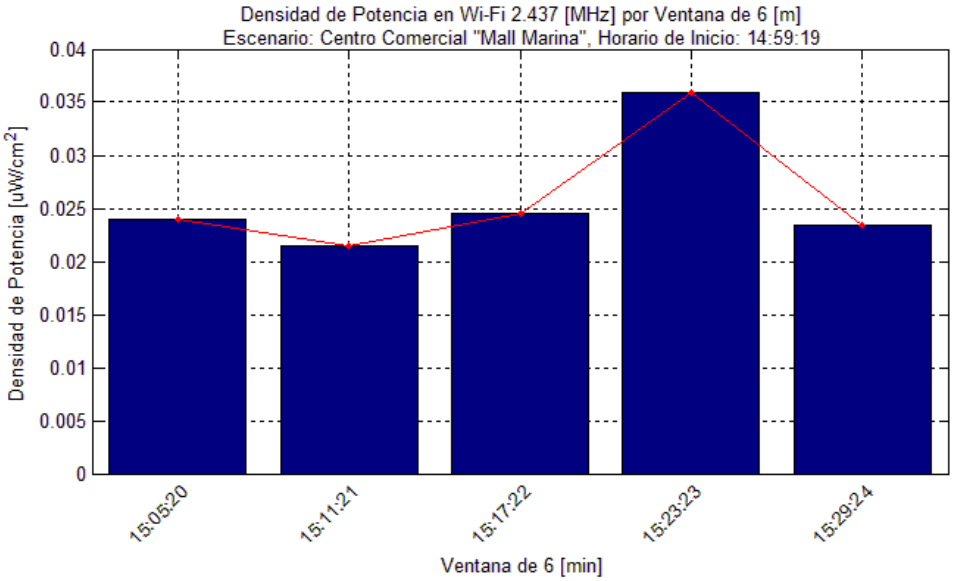


Figura 7.66: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

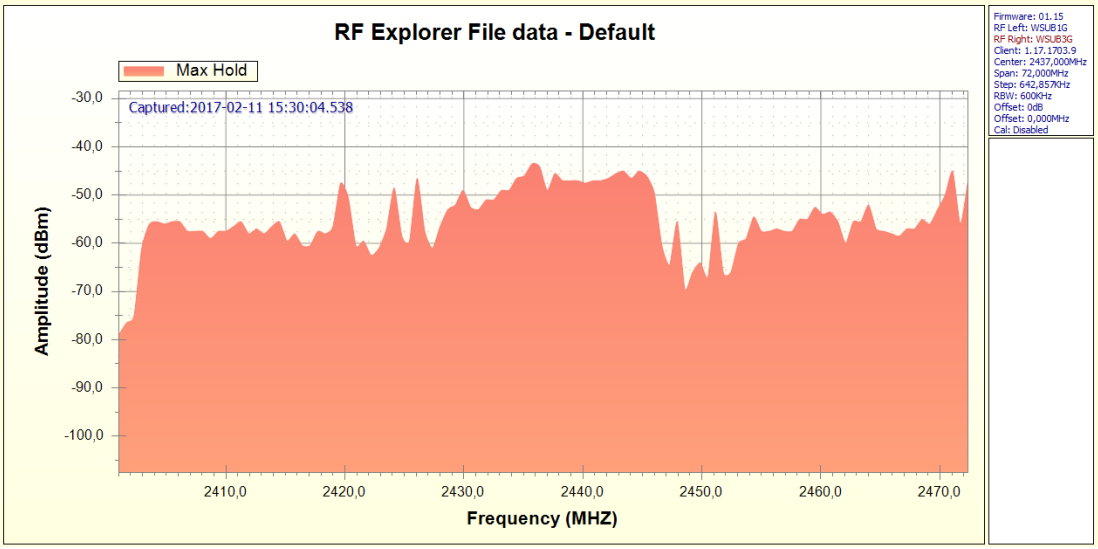


Figura 7.67: Quinta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

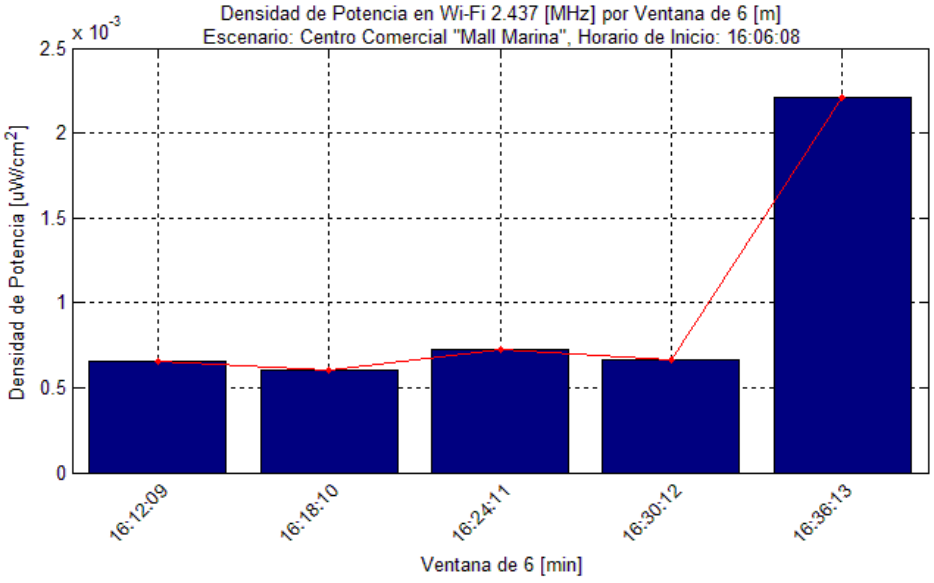


Figura 7.68: Séptima medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

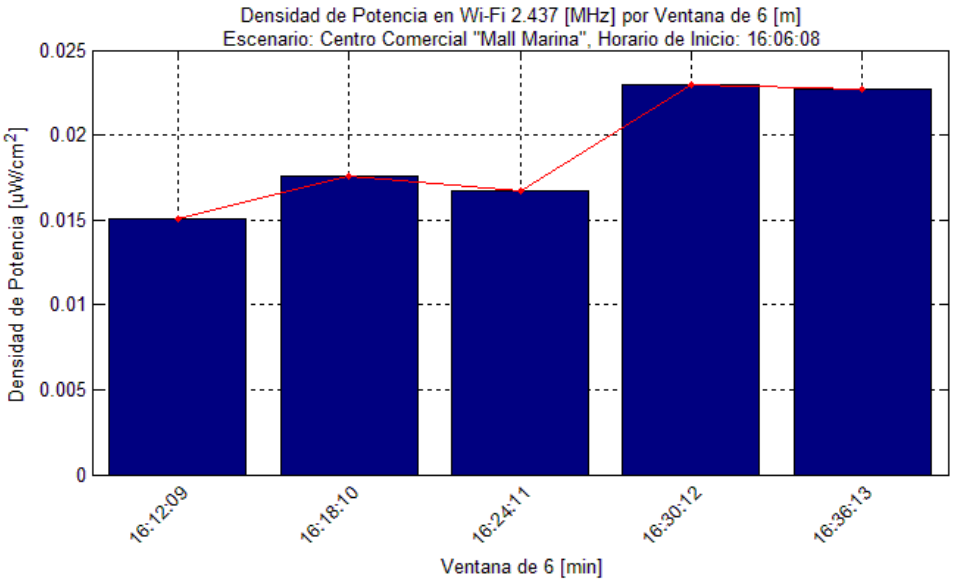


Figura 7.69: Séptima medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

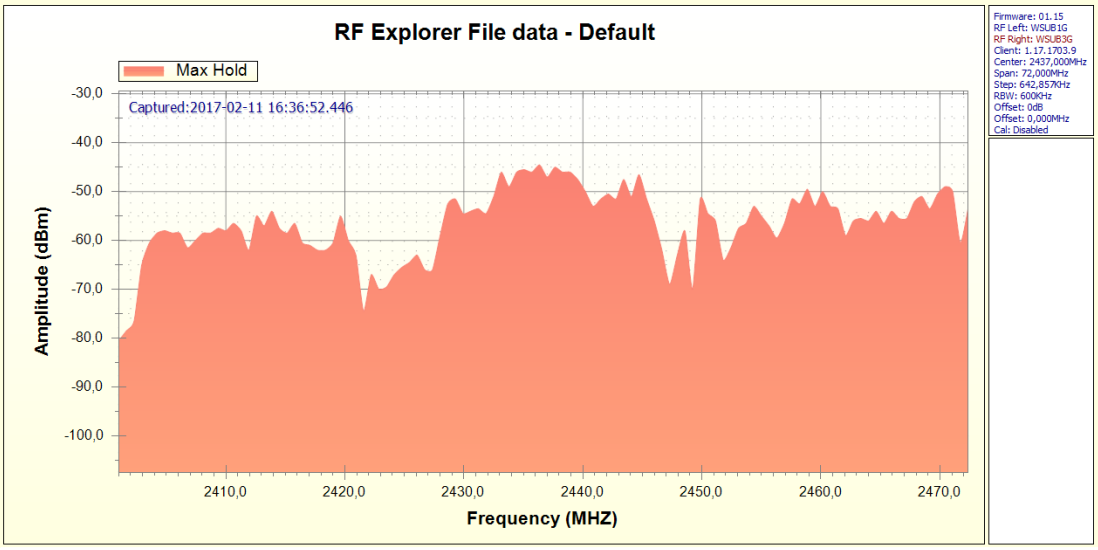


Figura 7.70: Séptima medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

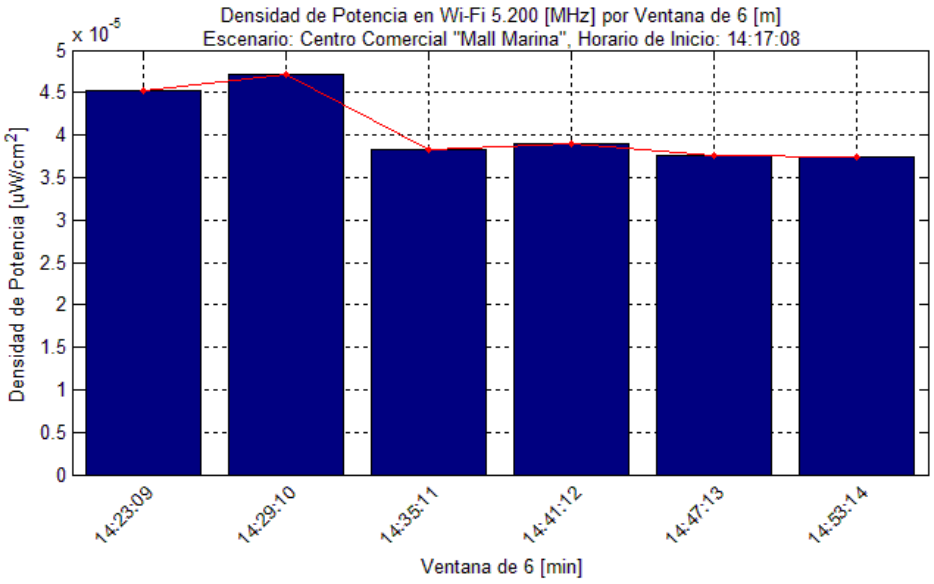


Figura 7.71: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

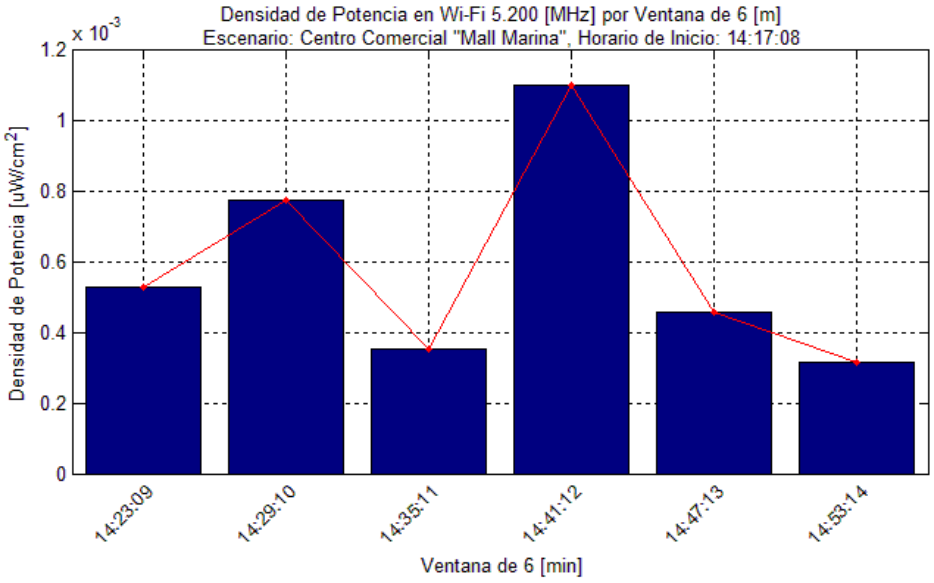


Figura 7.72: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

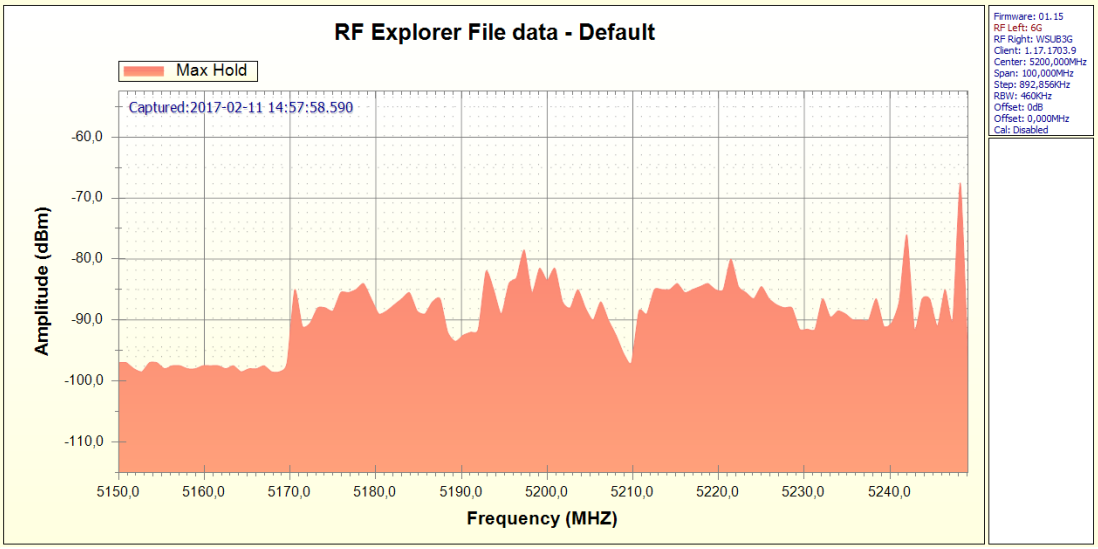


Figura 7.73: Segunda medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

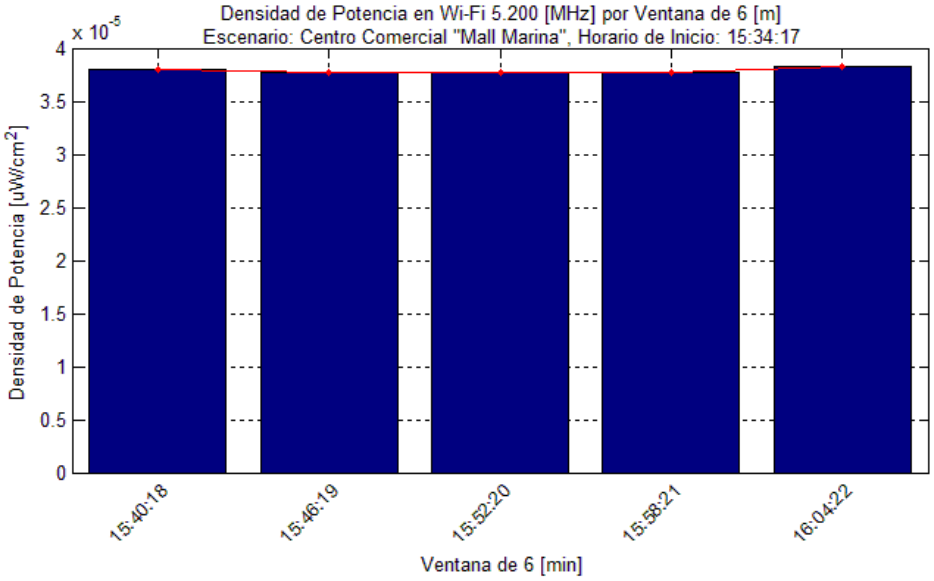


Figura 7.74: Tercera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

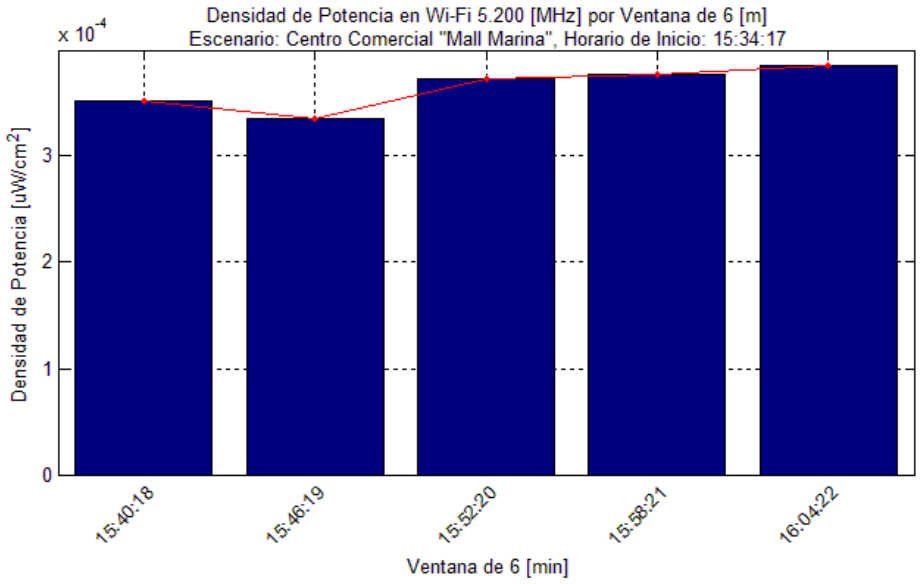


Figura 7.75: Tercera medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

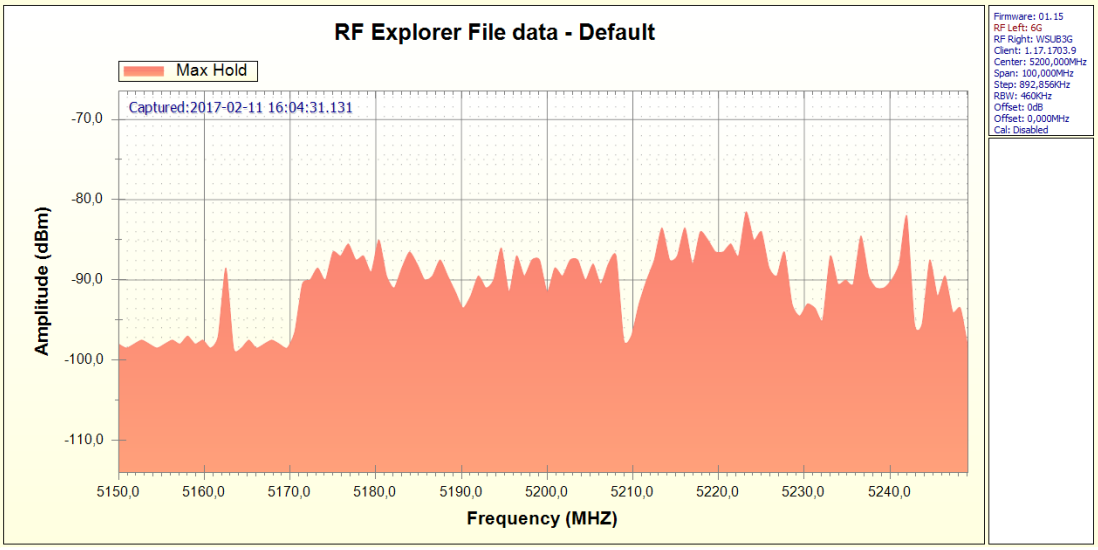


Figura 7.76: Tercera medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

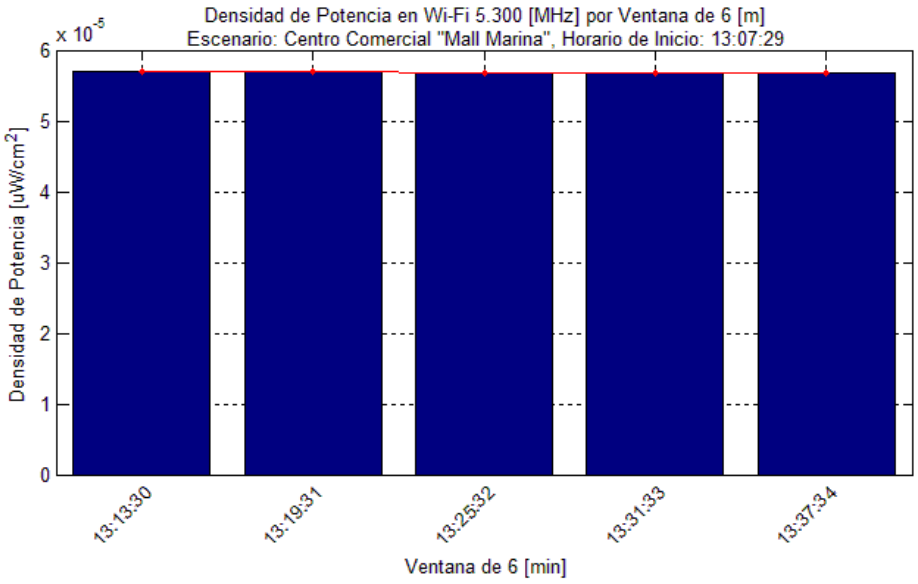


Figura 7.77: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

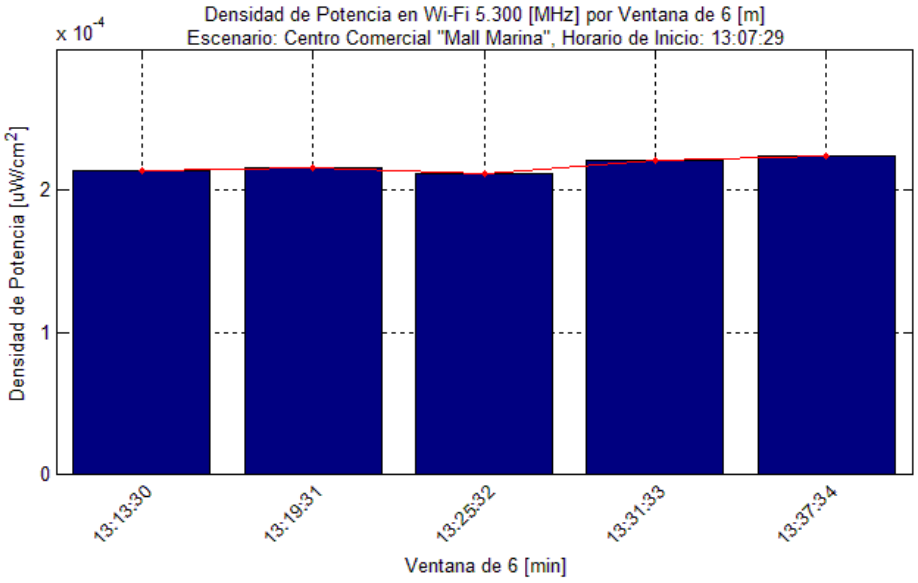


Figura 7.78: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

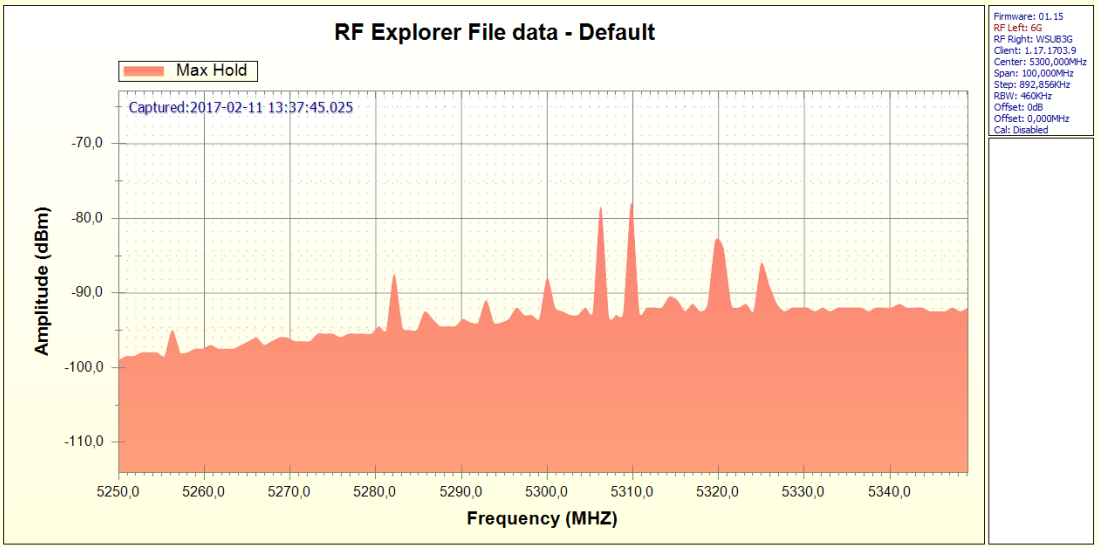


Figura 7.79: Primera medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

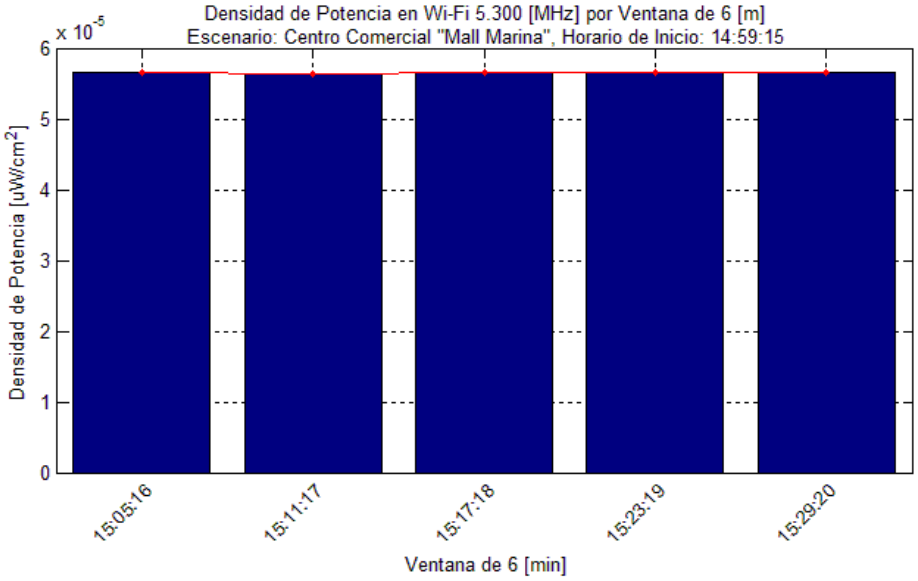


Figura 7.80: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

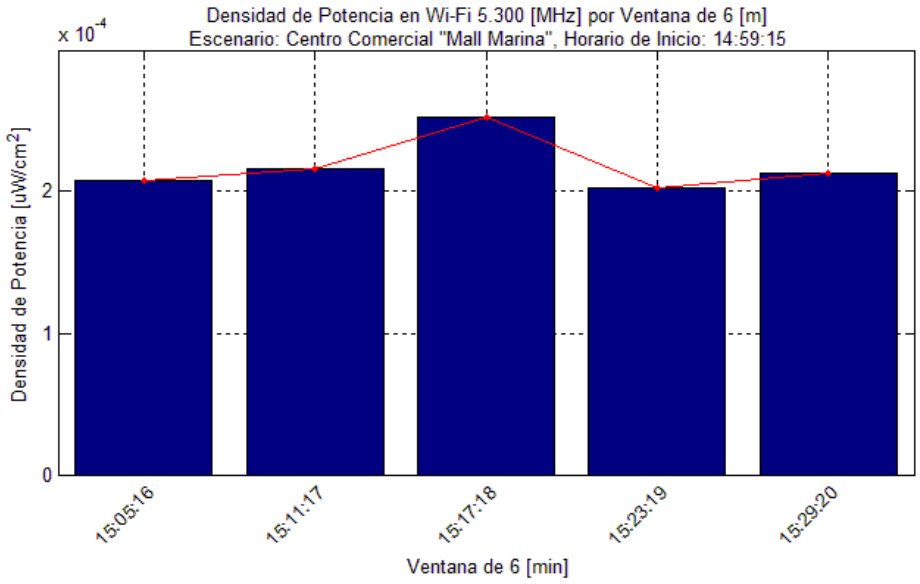


Figura 7.81: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

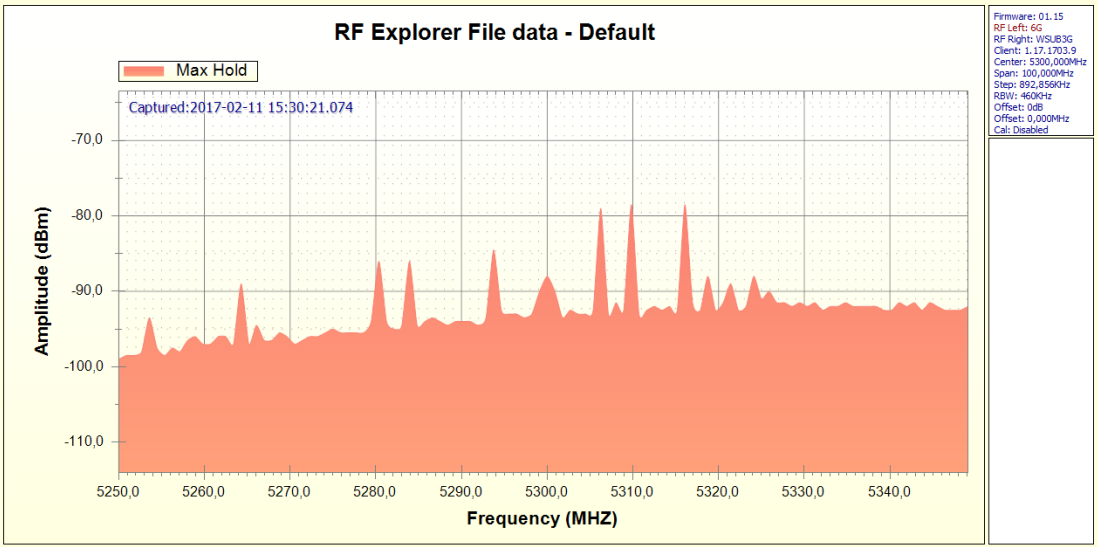


Figura 7.82: Segunda medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software “RF Explorer for Windows"

C.7. Edificio “Torre Coraceros”

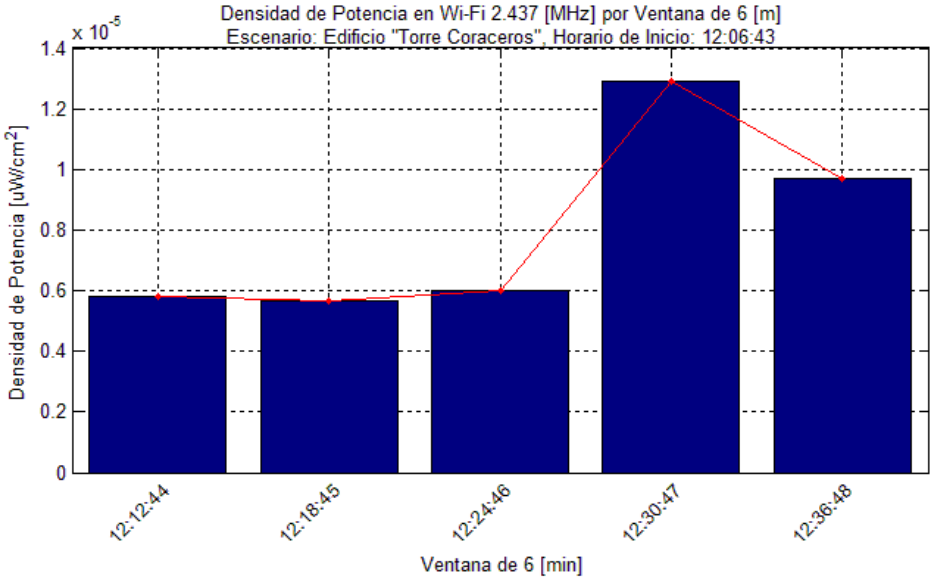


Figura 7.83: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

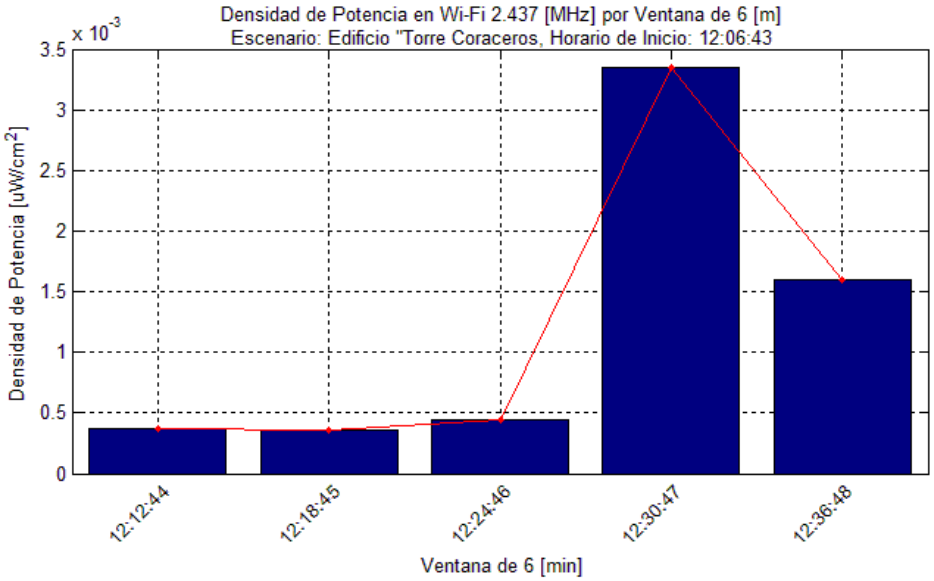


Figura 7.84: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

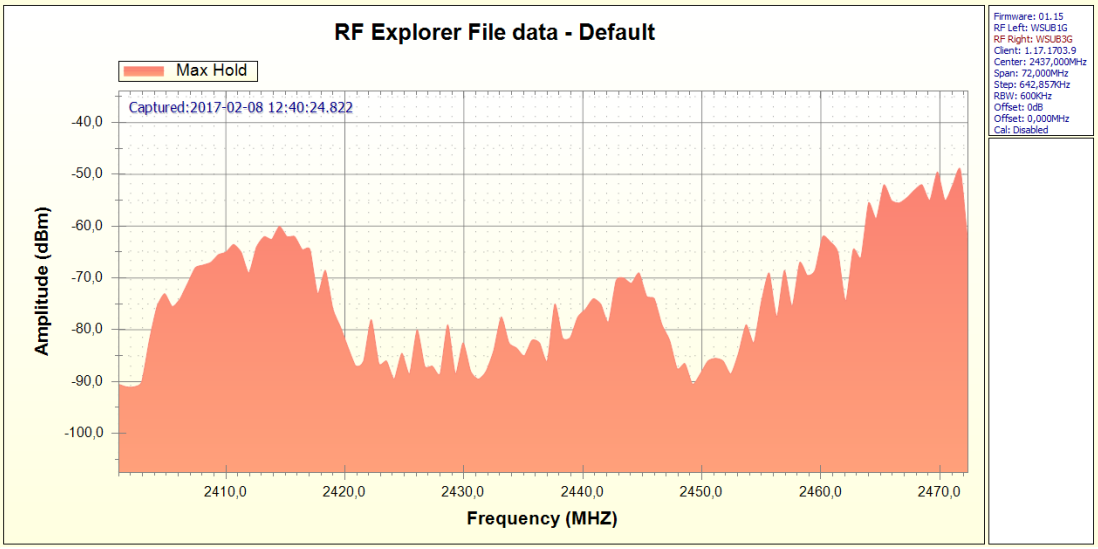


Figura 7.85: Primera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

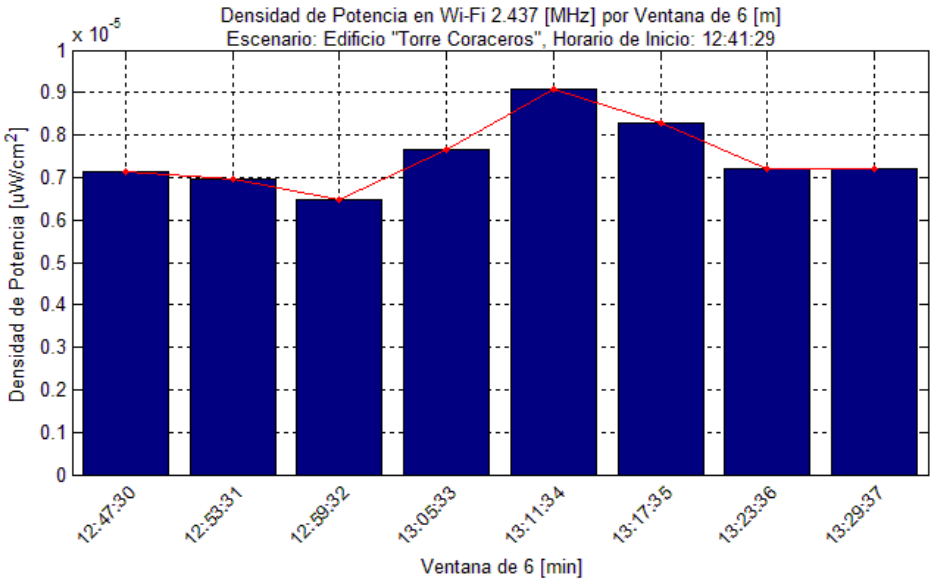


Figura 7.86: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

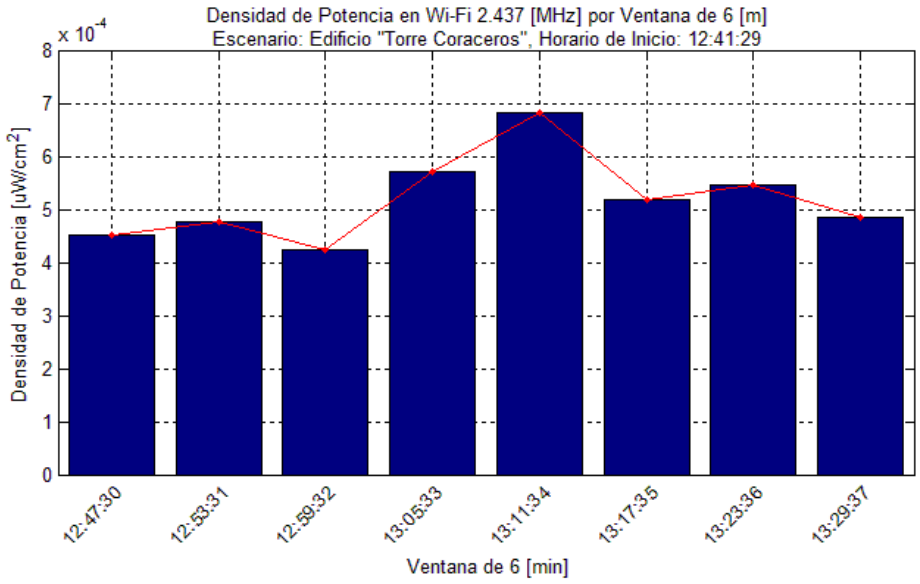


Figura 7.87: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

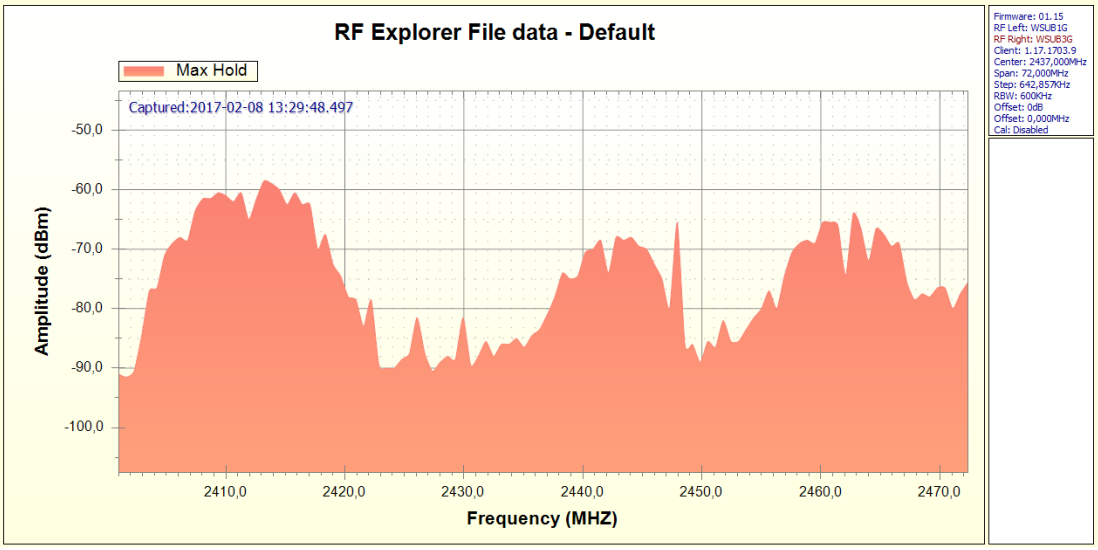


Figura 7.88: Segunda medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

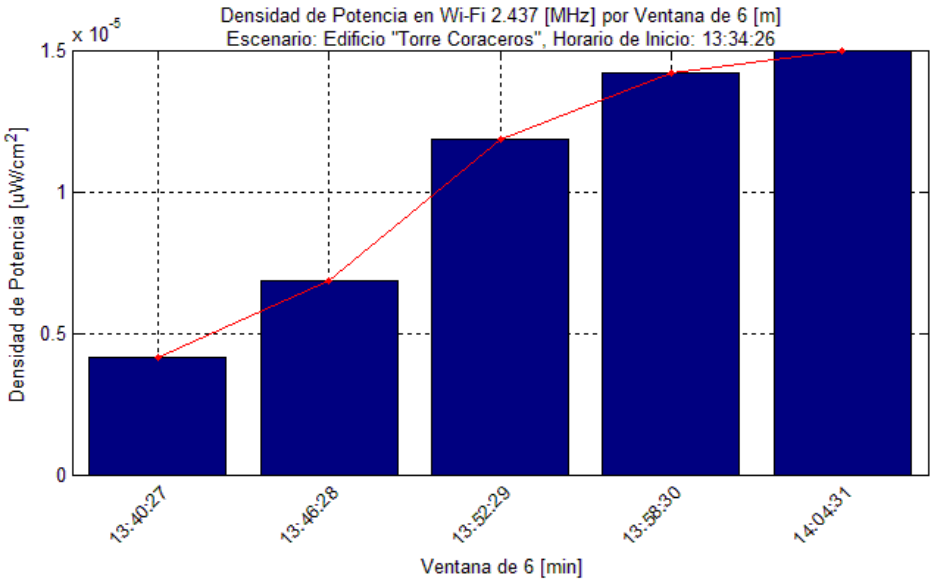


Figura 7.89: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

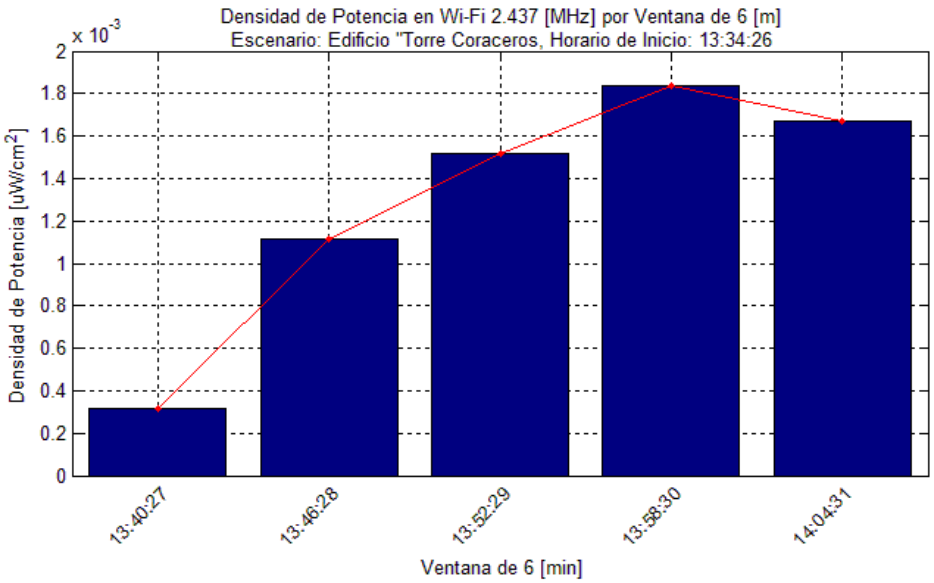


Figura 7.90: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

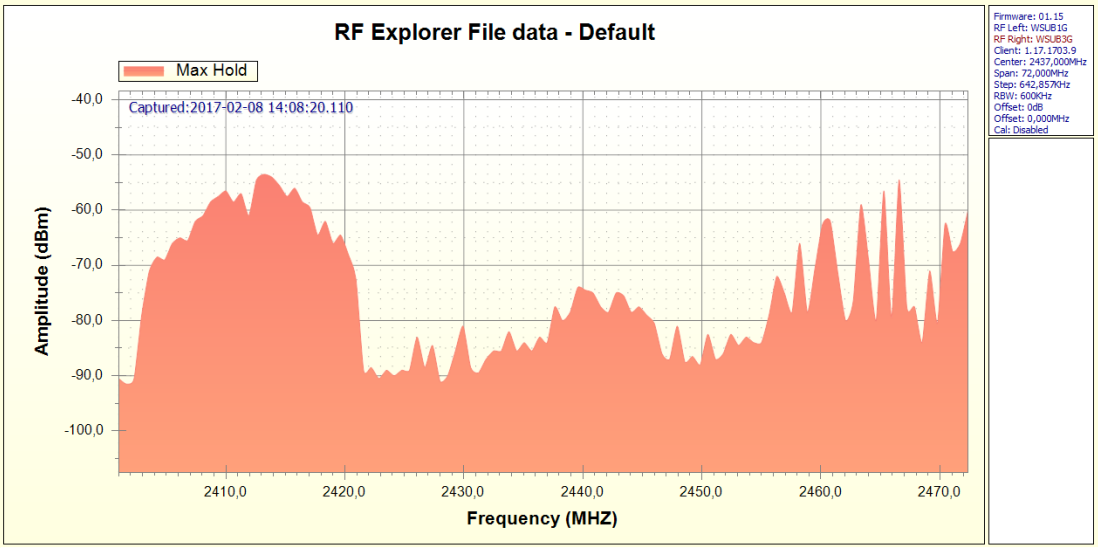


Figura 7.91: Tercera medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

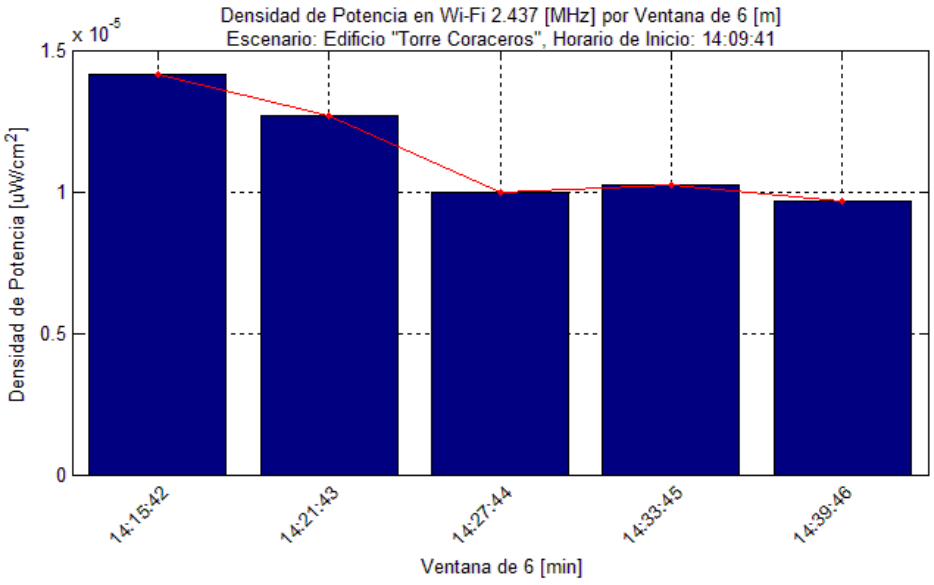


Figura 7.92: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Promedio

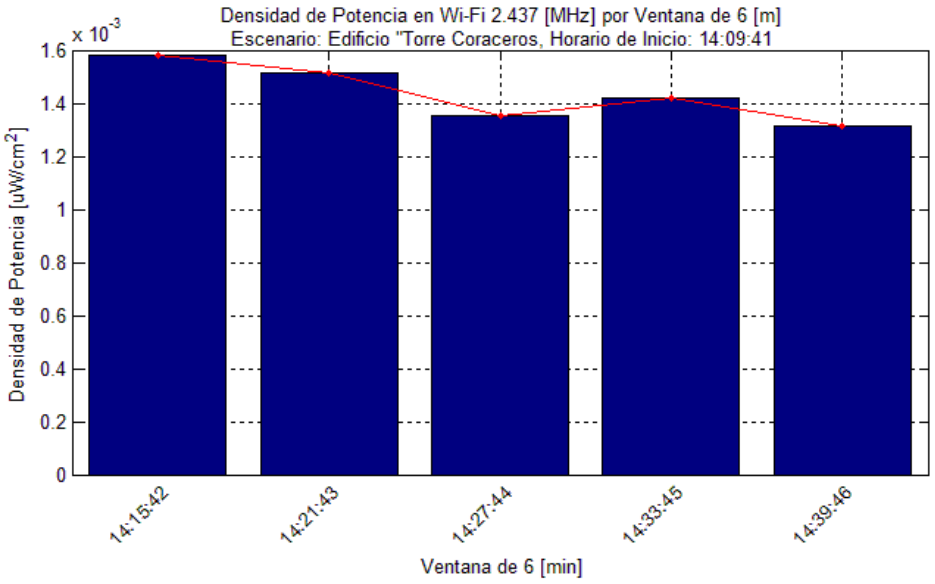


Figura 7.93: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Función: Máximo

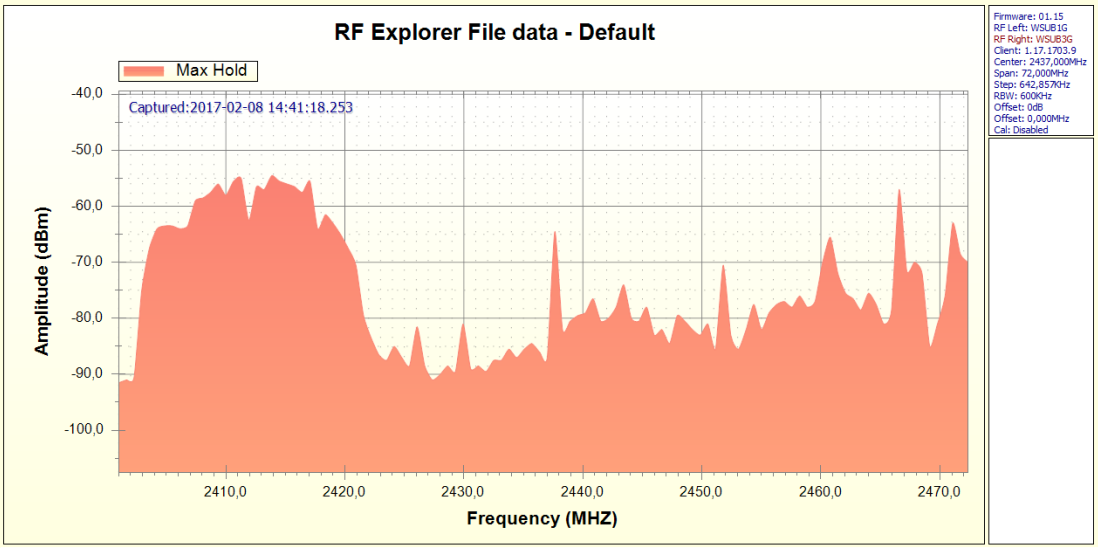


Figura 7.94: Cuarta medición banda 2.437 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

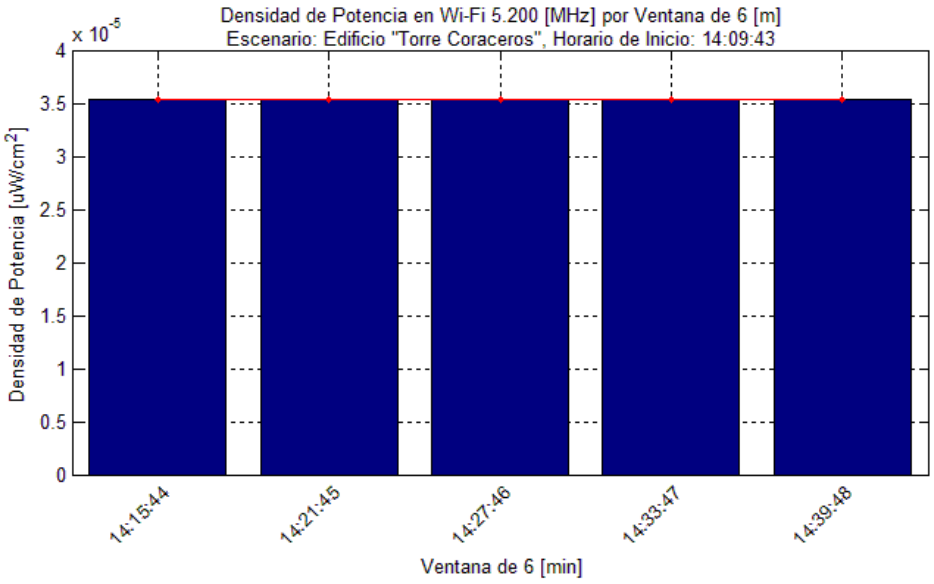


Figura 7.95: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Promedio

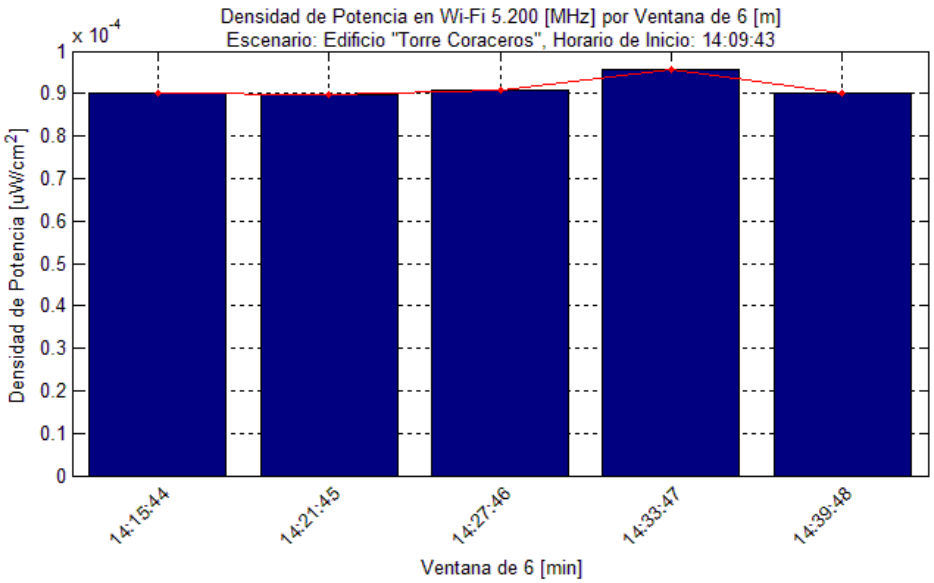


Figura 7.96: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Función: Máximo

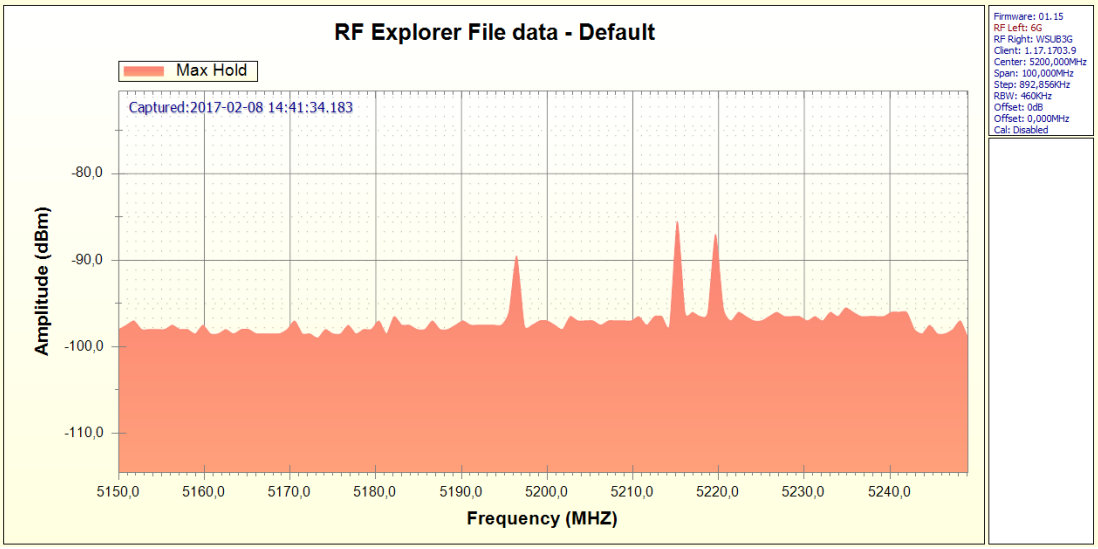


Figura 7.97: Segunda medición banda 5.200 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

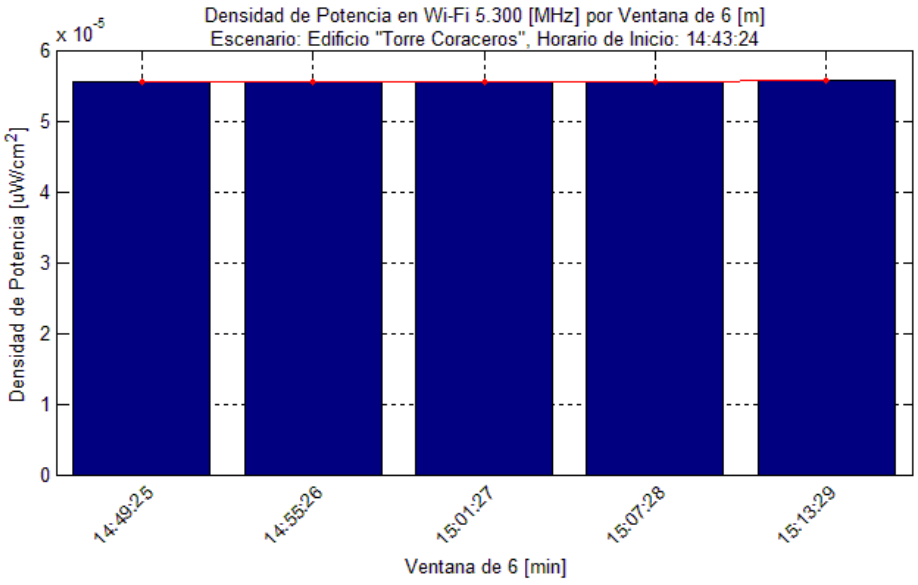


Figura 7.98: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Promedio

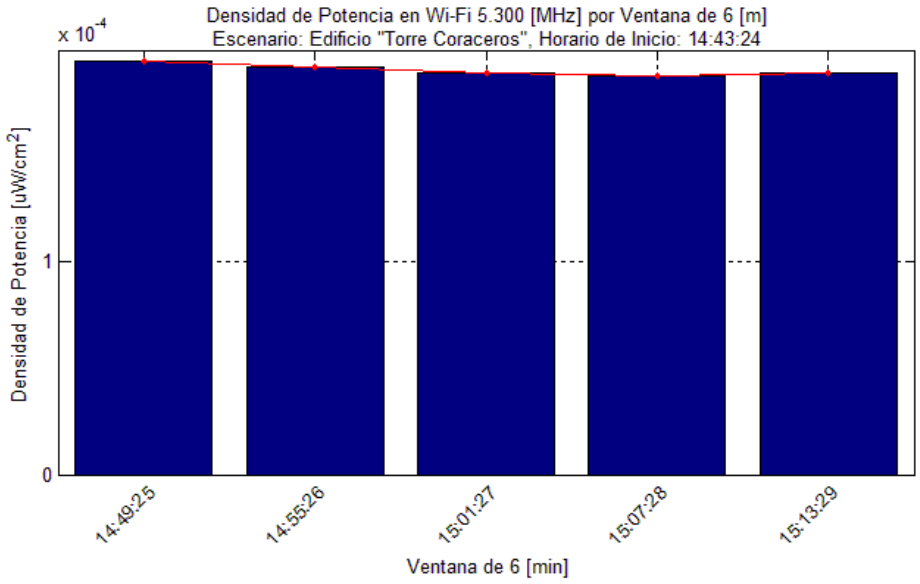


Figura 7.99: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Función: Máximo

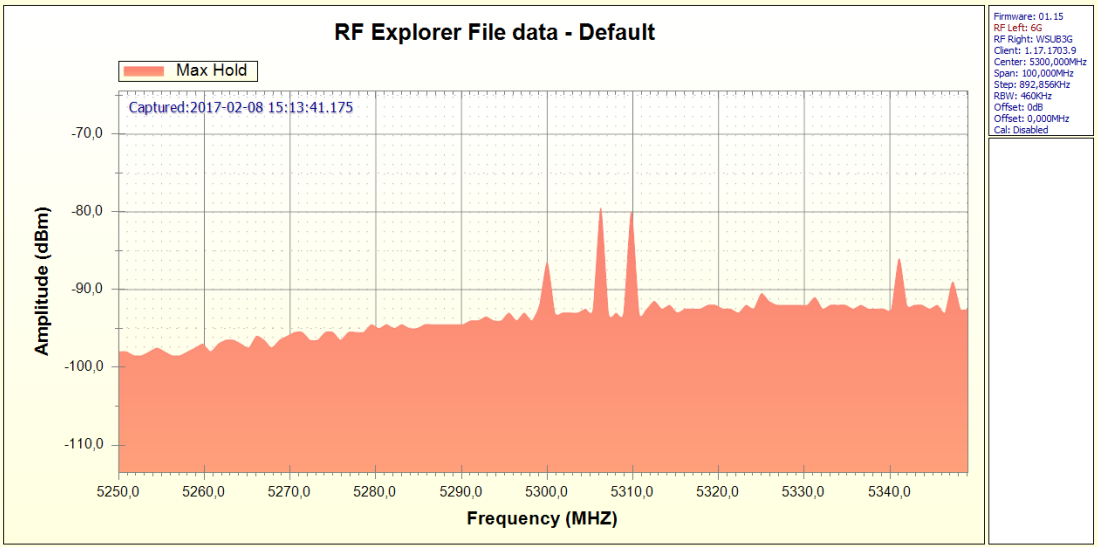


Figura 7.100: Segunda medición banda 5.300 [MHz] trazado Max Hold, por software "RF Explorer for Windows"

Anexo D – Valores_dBm_XXXX.m, siendo XXXX = 2437, 5200, 5250, 5300 o 5775

```
%Parametros y Formulas:
RBW=600; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=72000; %Span [KHz] (2.401 [GHz] - 2.473 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=-0.12; %Correccion por validacion [dB] (no cuenta para piso de
ruido). Compensación por la medicion de la antena en camara anecoica
(Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_37_29_WIFI2,4_7.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv)

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])+Comp2;
```

```
end

save('B_2400_7.mat','B','-mat') %Ir cambiando el nombre o sino se
sobreescribe
```

```
%Parametros y Formulas:
RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-1: 5.150 - 5.250 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=9.37; %Correccion por validacion [dB] (no cuenta para piso de
ruido). Compensación por la medicion de la antena en camara anecoica
(Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_05_32_WIFI5,2_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv)

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
```

```
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])+Comp2;
end

save('B_5200_3.mat','B','-mat') %Ir cambiando el nombre o sino se
sobreescribe
```

```
%Parametros y Formulas:
RBW=650; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=200000; %Span [KHz] (U-NII-1: 5.150 - 5.250 [GHz] + U-NII-2:
5.250 - 5.350 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=10.46; %Correccion por validacion [dB] (no cuenta para piso de
ruido). Compensación por la medicion de la antena en camara anecoica
(Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_01_09_15_18_46_WIFI5,25_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv)

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])-Comp1+Comp2;
end
```

```
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])+Comp2;
end

save('B_5250_3.mat','B','-mat') %Ir cambiando el nombre o sino se
sobreescribe
```

```
%Parametros y Formulas:
RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-2: 5.250 - 5.350 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=7.39; %Correccion por validacion [dB] (no cuenta para piso de
ruido). Compensación por la medicion de la antena en camara anecoica
(Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_16_40_04_WIFI5,3_3.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv)

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])-Comp1+Comp2;
```

```
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])+Comp2;
end

save('B_5300_3.mat','B','-mat') %Ir cambiando el nombre o sino se
sobreescribe
```

```
%Parametros y Formulas:
RBW=460; %Ancho de Banda de Resolucion [KHz]
Span=100000; %Span [KHz] (U-NII-3: 5.725 - 5.825 [GHz])
Step=Span/112; %112 mediciones en un barrido de frecuencia [KHz]
Comp1=10*log10(RBW/Step); %Correccion teorica de lectura [dB]
Comp2=15.31; %Correccion por validacion [dB] (no cuenta para piso de
ruido). Compensación por la medicion de la antena en camara anecoica
(Proceso de Validacion).

%-------------------------------------------------------------------
-----%

%Lectura de archivo .csv a Matlab:
filename =
'RFExplorer_MultipleSweepData_2017_02_11_14_16_18_WIFI5,775_1.csv';
%Nombre de archivo .csv (debemos estar ubicado en la carpeta donde
contiene el archivo .csv)

fid = fopen(filename); %Apertura de archivo
FR = fread(fid); %Lectura del archivo completo

FCH = char(FR)';%Convierte a un arreglo de caracteres

lineData = transpose(regexp(FCH,'\n','split')); %Se crea un arreglo
de tipo 'cell' con un elemento por cada linea del archivo
lineData2 = regexp(lineData,'\t','split'); %Se reorganiza para que
pueda ser leido debidamente

for i=1:(size(lineData2,1)-6) %Se traspasa de un arreglo de arreglos
de tipo 'cell' a solo un arreglo de tipo 'cell'
    for j=1:size(lineData2{6,1},2)
        AC(i,j)=lineData2{i+5,1}(1,j); % Empieza desde la linea 6 de
lineData2
    end
end

A = str2double(strrep(cellstr(AC),',','.')); %Permite reemplazar los
valores numericos decimales - en un principio separados por comas -
separados por un punto

if (RBW<Step) || (RBW>Step) %Correccion teorica y por validacion y
traspaso a otra matriz
```

```
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])-Comp1+Comp2;
end
if RBW==Step %Traspaso a otra matriz en caso de no necesitar
correcion teorica
    B(:,:)=A([2:end],[5:end])+Comp2;
end

save('B_5775_1.mat','B','-mat') %Ir cambiando el nombre o sino se
sobreescribe
```

Anexo E – Histograma_CDF.m

```
load('B_2400_1.mat') %Matriz de todas las muestras de todas las
frecuencias (proporcionado por 'Valores_dBm_XXXX.m', XXXX= 2437,
5200, 5250, 5300 o 5775)

p1=reshape(B.',1,[])'; %B es la matriz de valores capturados [dBm]
Minp1=min(p1)
Maxp1=max(p1)
Avepi=sum(sum(p1,1),2)/(size(B,1)*size(B,2))
Samplesp1=size(p1,1)

M_2437=90; %90 por defecto (corregir segun hayan rangos con
frecuencia 0)
M_5200=60; %60 por defecto (corregir segun hayan rangos con
frecuencia 0)
M_5250=92; %93 por defecto (corregir segun hayan rangos con
frecuencia 0)
M_5300=70; %70 por defecto (corregir segun hayan rangos con
frecuencia 0)
M_5775=70; %70 por defecto (corregir segun hayan rangos con
frecuencia 0)
M=M_2437; %maximo: size(p1,1)
xp1=linspace(Minp1,Maxp1,M); %range of bins
histp1=histc(p1(:),xp1); %count for each bin

cdf=cumsum(histp1); %CDF (unconventional, of P(X>=a) kind)
% denom=hist(p1,M)';
pcdf=cdf/max(cdf); %Antes estaba: pcdf=cdf/max(hist(p1)); Creo
haberlo arreglado
pcdf(1,1)=0; %Para que en el grafico comience desde 0

for i=1:M
    if pcdf(i,1)<=0.25
        val25=pcdf(i,1);
        rng25=xp1(1,i);
    end
    if ( pcdf(i,1)>0.25 ) && ( pcdf(i,1)<=0.50 )
        val50=pcdf(i,1);
        rng50=xp1(1,i);
    end
    if ( pcdf(i,1)>0.50 ) && ( pcdf(i,1)<=0.75 )
        val75=pcdf(i,1);
        rng75=xp1(1,i);
    end
    if ( pcdf(i,1)>0.75 ) && ( pcdf(i,1)<=0.95 )
        val95=pcdf(i,1);
        rng95=xp1(1,i);
    end
end

fig=figure(1);
set(fig, 'Position', [400 250 700 400])
```

```
[ax, h1, h2] = plotyy(xp1, histp1, xp1, pcdf, 'bar', 'plot');
set(h1, 'FaceColor', [0.3, 0.3, 0.3]); %Change the bar colors to
light gray
set(h2, 'LineWidth', 2); %Change the thickness of the line
grid on
grid minor
title('N° de Muestras y Función de Distribución Acumulada vs
Potencia');

axes(ax(1));
ylabel('N° de Muestras [-]');
xlabel('Potencia [dBm]');

axes(ax(2));
ylabel('Probabilidad [-]')

saveas(fig,'CDF_HIST_2400_1.bmp')
```

Anexo F – CDF_PisoDeRuido_dBm.m

```
load('B_5775.mat') %Matriz de todas las muestras de todas las
frecuencias (proporcionado por 'Valores_dBm_XXXX.m', XXXX= 2437,
5200, 5250, 5300 o 5775)

Comp_2437=-0.12;
Comp_5200=9.37;
Comp_5250=10.46;
Comp_5300=7.39;
Comp_5775=15.31;

Comp2=Comp_5775; %Correccion por validacion, dependiendo de la banda
de frecuencia de interes [dB]
B(:,:)=B(:,:)-Comp2; %En piso de ruido no cuenta esta correccion, por
esto se elimina

p1=reshape(B.',1,[])'; %B es la matriz de valores capturados [dBm]
Minp1=min(p1)
Maxp1=max(p1)
Avepi=sum(sum(p1,1),2)/(size(B,1)*size(B,2))
M_2437=36;
M_5200=30;
M_5250=43;
M_5300=38;
M_5775=25;
M=M_5775; %maximo: size(p1,1)
xp1=linspace(Minp1,Maxp1,M); %range of bins
histp1=histc(p1(:),xp1); %count for each bin

cdf=cumsum(histp1); %CDF (unconventional, of P(X>=a) kind)
% denom=hist(p1,M)';
pcdf=cdf/max(cdf); %Antes estaba: pcdf=cdf/max(hist(p1)); Creo
haberlo arreglado
pcdf(1,1)=0; %Para que en el grafico comience desde 0

[ax, h1, h2] = plotyy(xp1, histp1, xp1, pcdf, 'bar', 'plot');
set(h1, 'FaceColor', [0.3, 0.3, 0.3]); %Change the bar colors to
light gray
set(h2, 'LineWidth', 2); %Change the thickness of the line
grid on
grid minor
title({'Piso de Ruido representado por Histograma y';'Función de
Distribución Acumulada en la banda de 5.775 [MHz]'});

axes(ax(1));
ylabel('N° de Muestras [-]');
xlabel('Potencia [dBm]');

axes(ax(2));
ylabel('Probabilidad [-]')
```

Anexo G – CDF_PDF_Reg_Pol.m

```
load('B_2400_1.mat') %Matriz de todas las muestras de todas las
frecuencias (proporcionado por 'Valores_dBm_XXXX.m', XXXX= 2437,
5200, 5250, 5300 o 5775)

%Parametros y Formulas:
% c=299792458; %Velocidad de la luz [m/s]
% f=2437*10^6; %Frecuencia Central Wi-Fi [Hz]. 2,400 [MHz]: 2437;
5,200 [MHz]: 5200; 5,250 [MHz]: 5250; 5,300 [MHz]: 5300; 5,775 [MHz]:
5775; *10^6
%
% G_dBi=2; %Ganancia de antena [dBi]. 2,4 - Whip 2.4G: 2; 5,X - Ruber
Duck 5.8G: 1.5;
% G_V=10^(G_dBi/10); %Ganancia antena [veces]
%
% A_ef=((c^2)/(4*pi))*(G_V/(f^2)); %Area efectiva para canal [m^2]

% P=-97.22; %Piso de ruido [dBm] segun 'CDF_PisoDeRuido_dBm', para
Wi-Fi Banda 2.4 [GHz]
% Piso de ruido del equipo (DANL) para utilizar modulo 3G y 6G: -105
[dBm]
% Piso de ruido del equipo en la practica, midiendo con carga de 50
[Ohm] conectada:
% 2,437 [MHz]: min=-102.20; max=-85.20; ave=-97.22;
% 5,200 [MHz]: min=-105.62; max=-90.62; ave=-97.95;
% 5,250 [MHz]: min=-102.11; max=-81.61; ave=-93.08;
% 5,300 [MHz]: min=-106.12; max=-87.62; ave=-96.57;
% 5,775 [MHz]: min=-94.12; max=-82.12; ave=-87.80;

% P=((10.^(P/10))/1000)*(100/A_ef); %Seteo de piso de ruido [uW/cm^2]
% B=((10.^(B/10))/1000)*(100/A_ef);
p1=reshape(B.',1,[])';
% j=1;
% for i=1:size(p1,1) %Elimina el piso de ruido
%     if p1(i,1)>P
%         p2(j,1)=round(p1(i,1)*1e10)/1e10; %Redondea a 4 decimales
los [dBm] o [uW/cm^2], segun lo que se quiere
%         j=j+1;
%     end
% end

p2=p1; %Sin piso de ruido
Minp2=min(p2);
Maxp2=max(p2);
n=87; %Numero de rangos
xp2=linspace(Minp2,Maxp2,n); %range of bins
histp2=histc(p2(:),xp2); %count for each bin

probp2=histp2/sum(histp2); %PDF (probability distribution function)

cdf=cumsum(histp2); %CDF (unconventional, of P(X>=a) kind)
```

```
pcdf=cdf/max(cdf);
pcdf(1,1)=0; %Para que el grafico comience desde 0

subplot(2,1,1);
plot(xp2,pcdf);
hold on

M=18; %Modificando segun mejor aproximacion visual
Poli=polyfit(xp2',pcdf,M); %Regresion polinomial (polyfit ocupa la
tecnica de minimos cuadrados)
j=0;
yfit=0;
for i=1:M+1
    yfit=Poli(i)*xp2.^(M-j)+yfit;
    j=j+1;
end
plot(xp2,yfit,'r-.');

subplot(2,1,2);
plot(xp2,probp2);
hold on

MN=15; %Modificando segun mejor aproximacion visual
Poli3=polyfit(xp2',probp2,MN);
j=0;
yfit4=0;
for i=1:MN+1
    yfit4=Poli3(i)*xp2.^(MN-j)+yfit4;
    j=j+1;
end
plot(xp2,yfit4,'r-.');

[r2_pcdf rmse_pcdf]=rsquare(pcdf',yfit) %rsquare es un codigo
descargado desde matlab para extraer el coeficiente de determinacion
(r^2) y ademas entrega el error cuadratico medio (root mean square
error)
% [r2_pdf rmse_pdf]=rsquare(yfit2,yfit3) %r^2 debe estar mas cercano
a 1 para una mejor correlacion y rmse debe ser lo mas cercano a 0
para una menor desviacion en los datos que se comparan (punto a punto
de cada funcion)
[r2_pdf rmse_pdf]=rsquare(probp2',yfit4)
```

Anexo H – Graficos restantes de Análisis de Resultados

H.1. Paradero 5

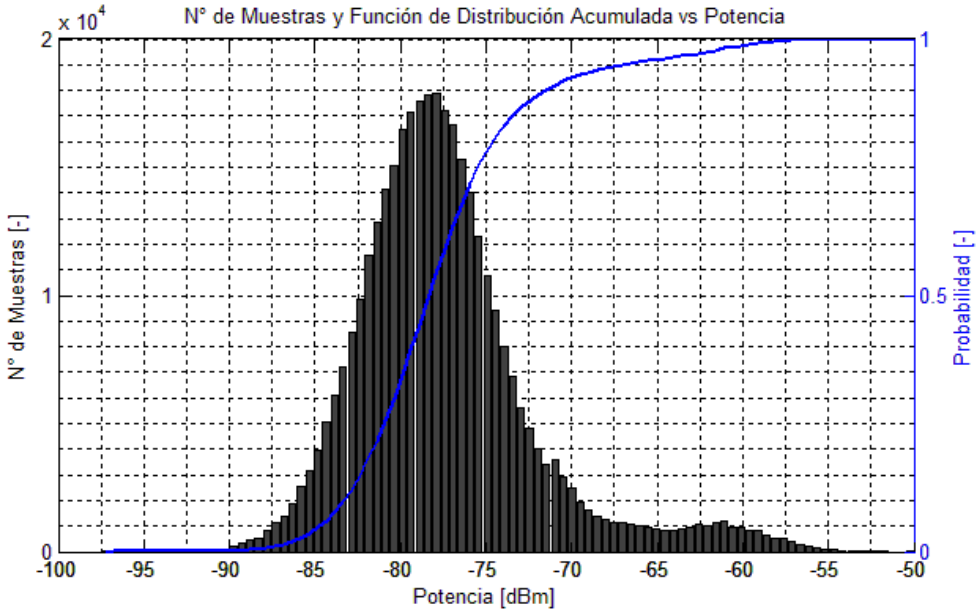


Figura 7.101: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

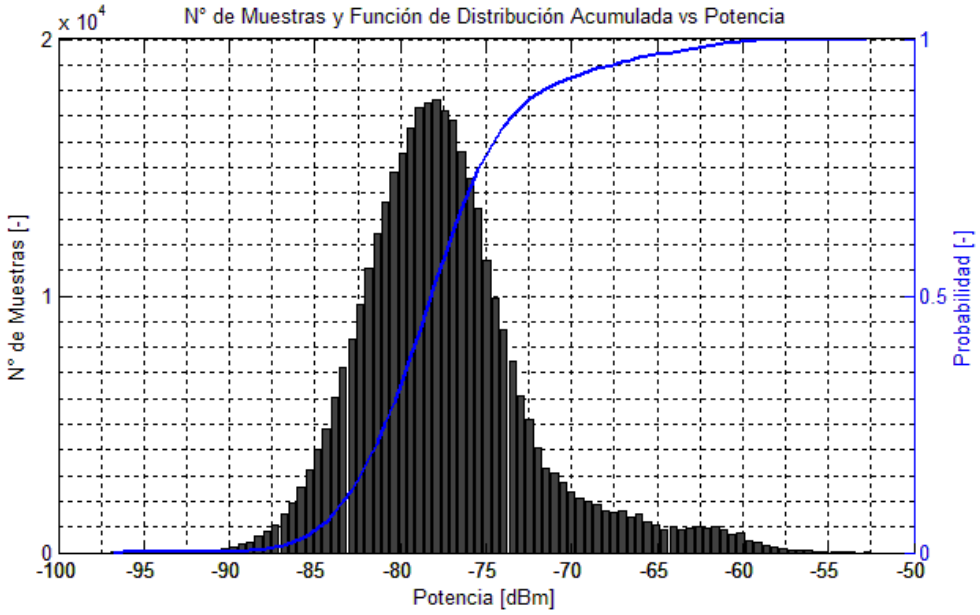


Figura 7.102: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

H.2. Jardín Infantil "Aprendemos Jugando"

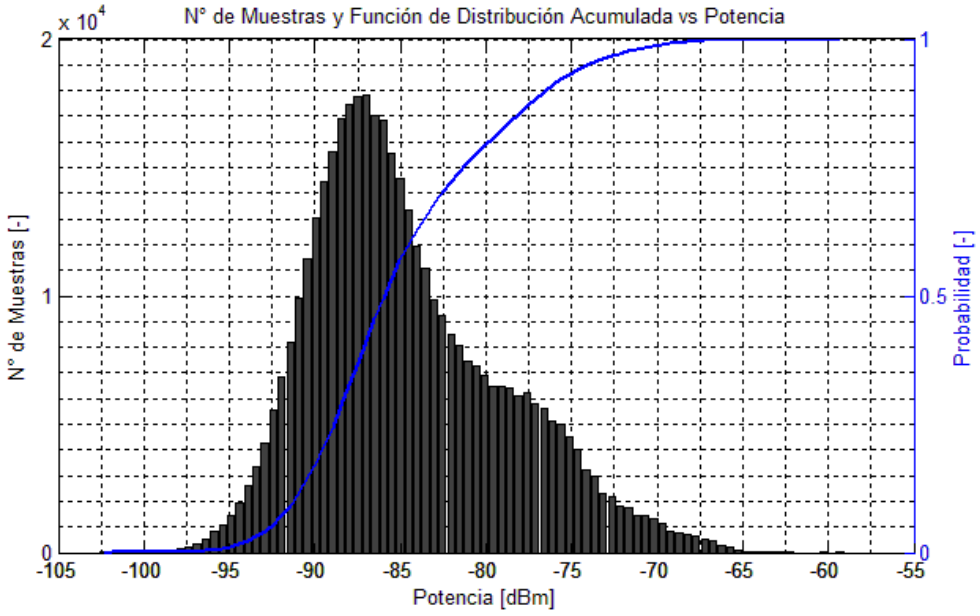


Figura 7.103: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

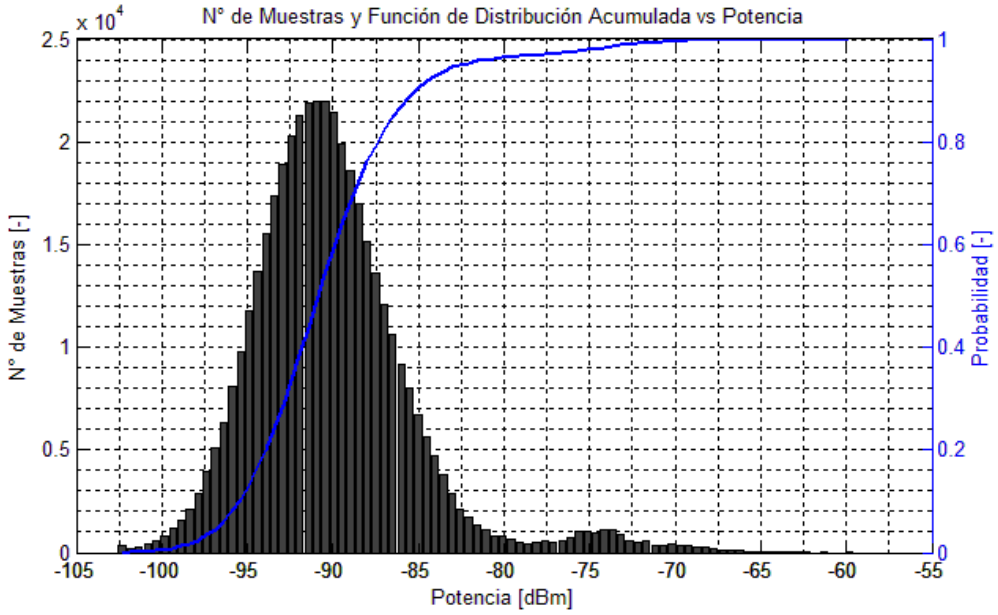


Figura 7.104: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

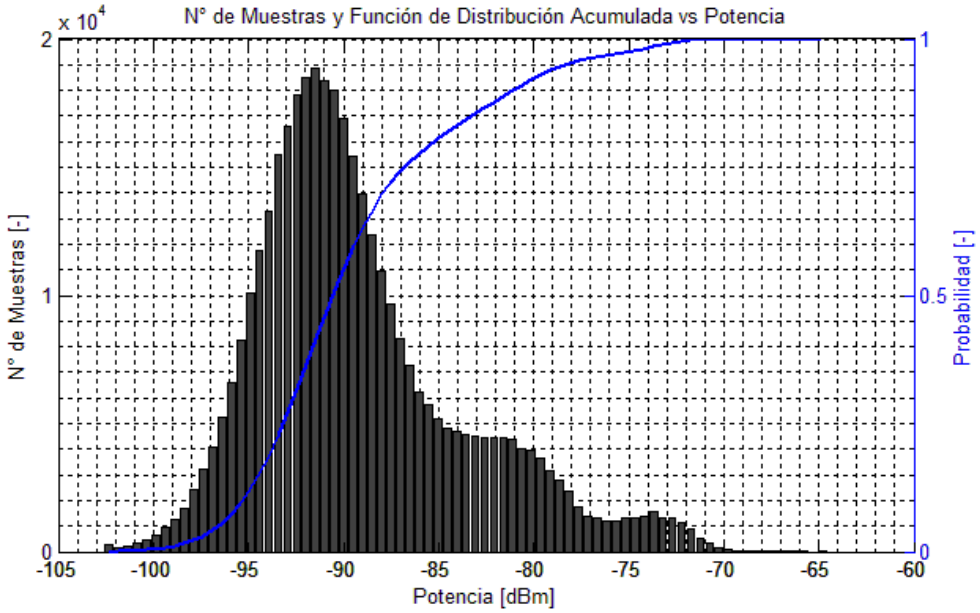


Figura 7.105: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

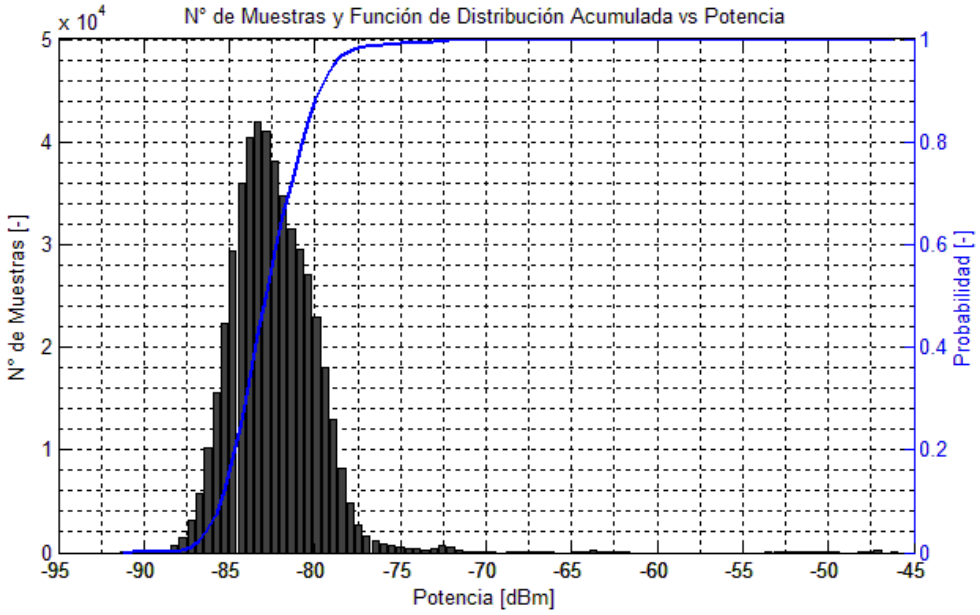


Figura 7.106: Segunda medición banda 5.250 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

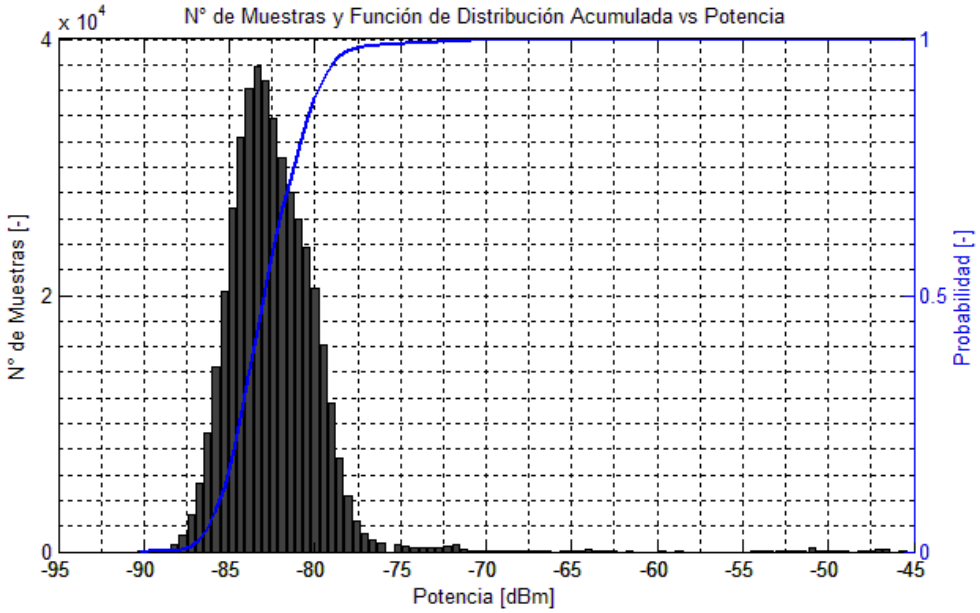


Figura 7.107: Tercera medición banda 5.250 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

H.3. Jardín Infantil “Snoopy”

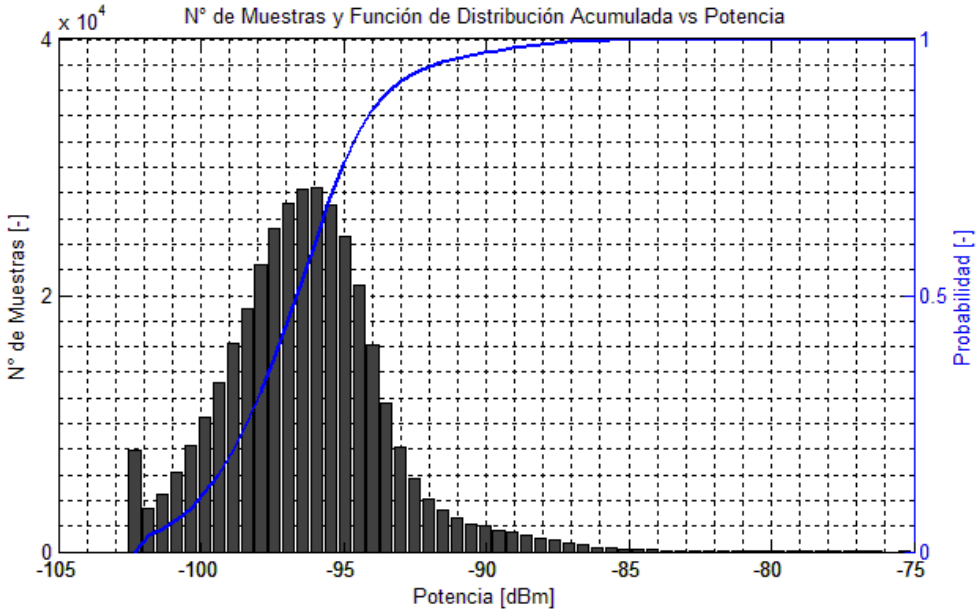


Figura 7.108: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

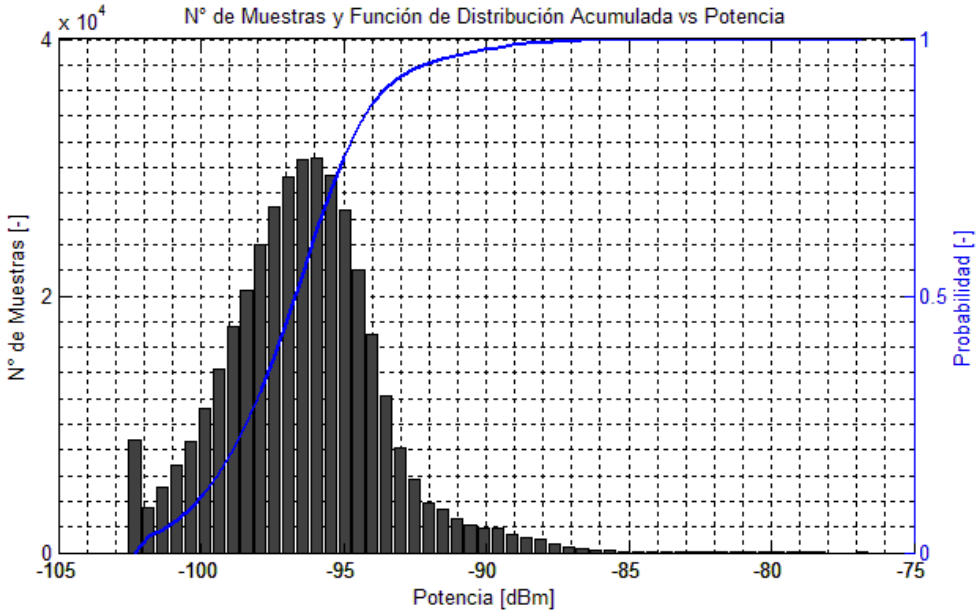


Figura 7.109: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

H.4. Hospital “Carlos Van Buren”

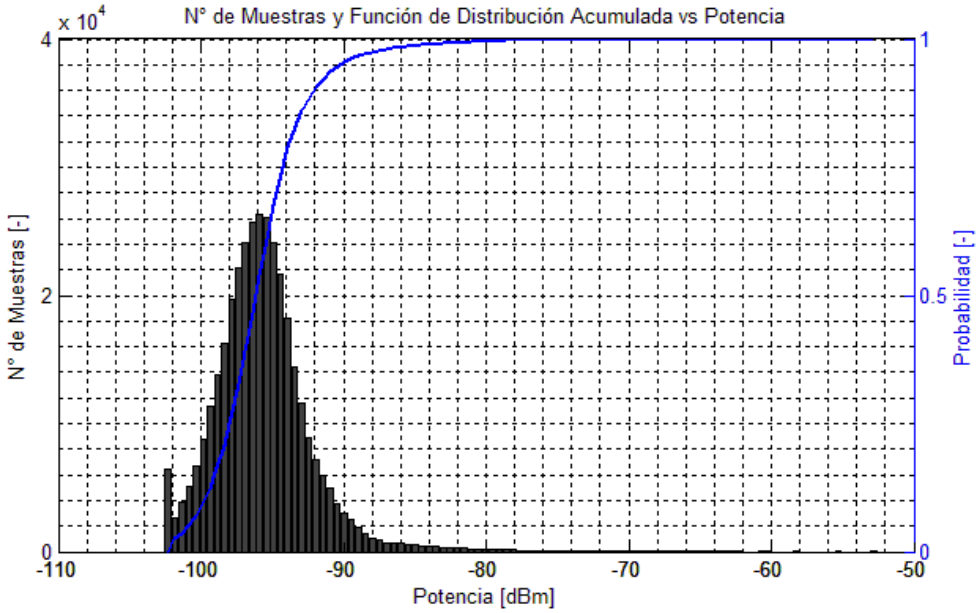


Figura 7.110: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

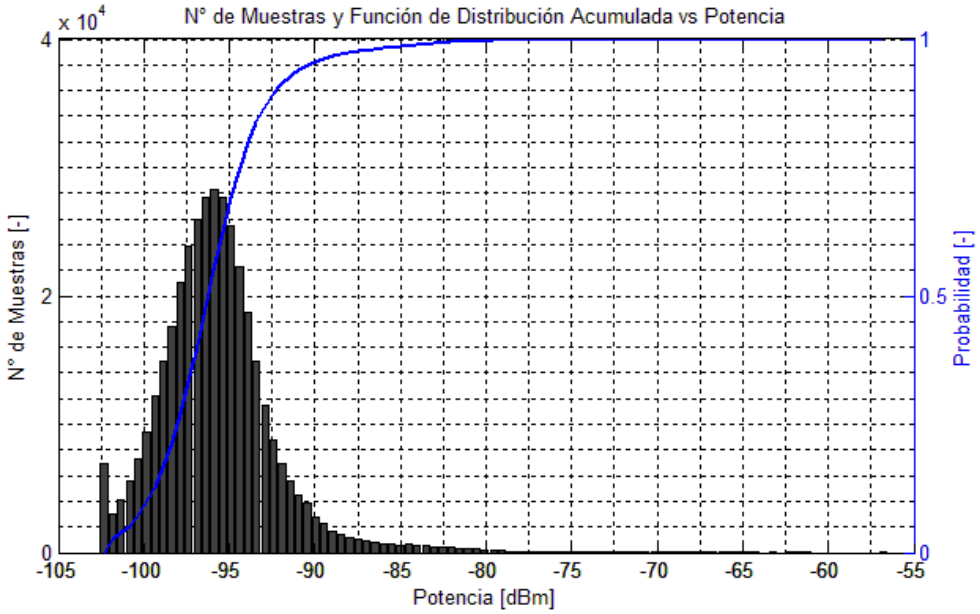


Figura 7.111: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

H.5. Clínica “Ciudad del Mar”

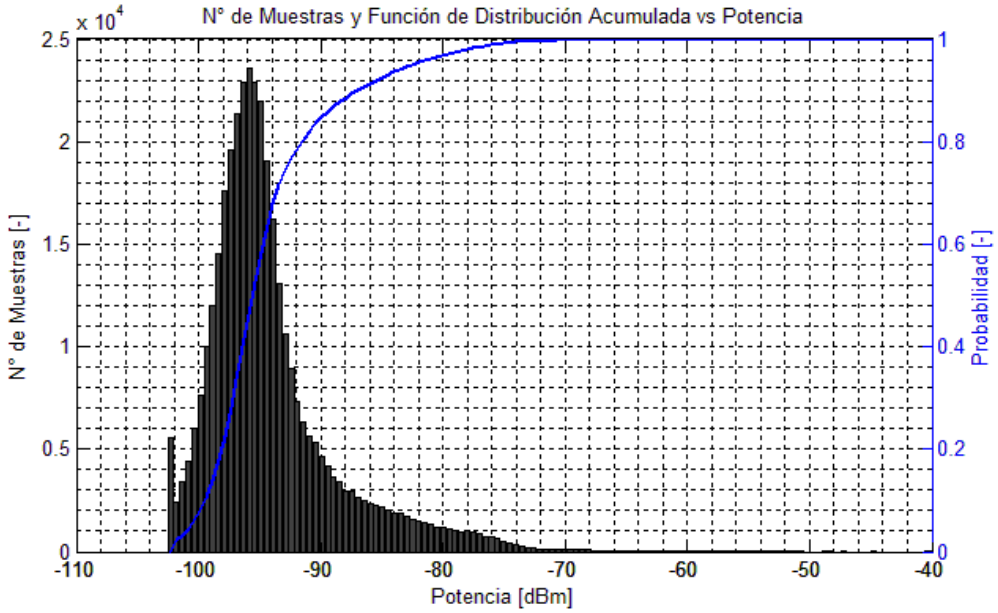


Figura 7.112: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

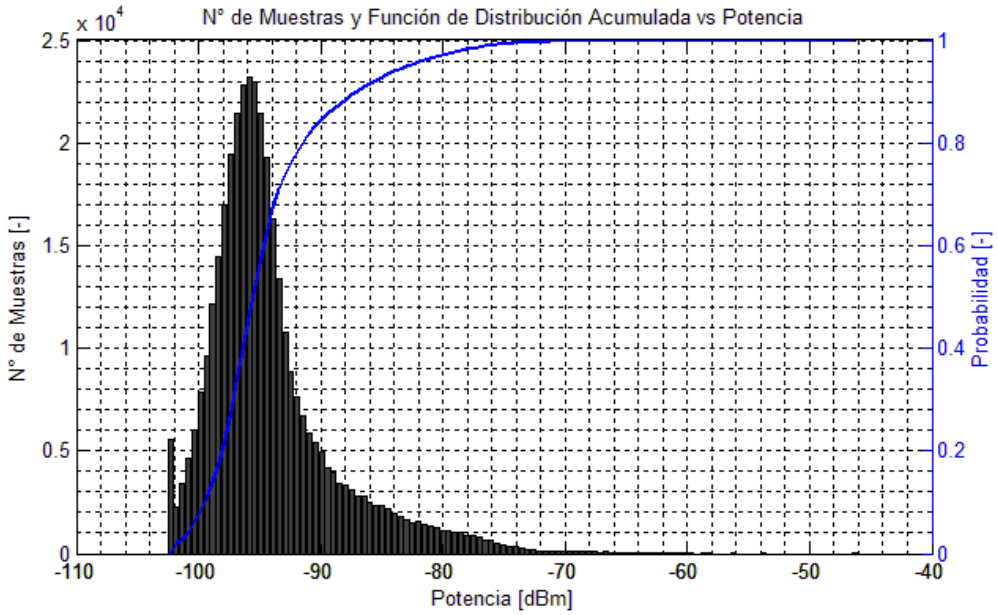


Figura 7.113: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

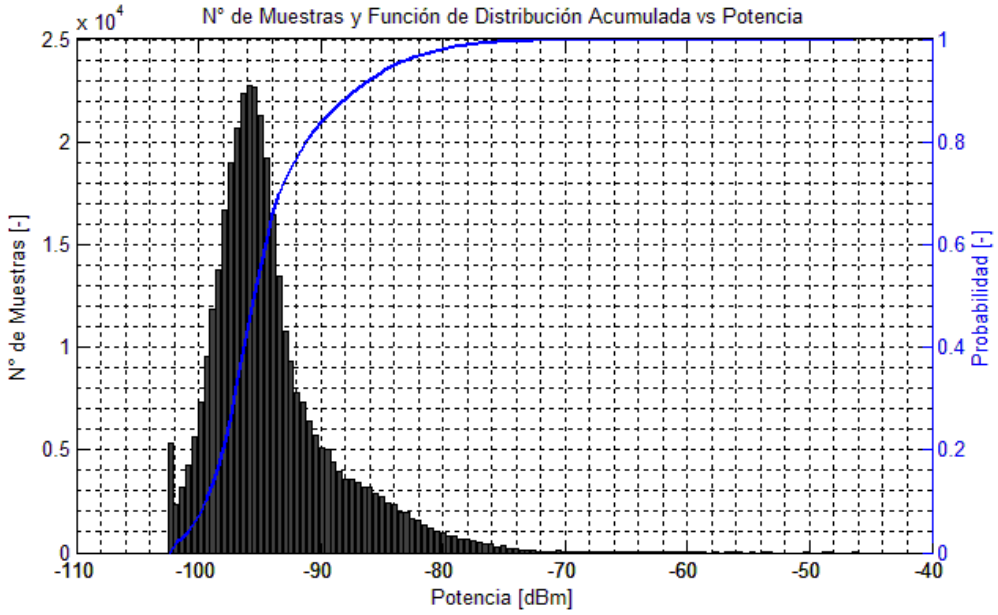


Figura 7.114: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

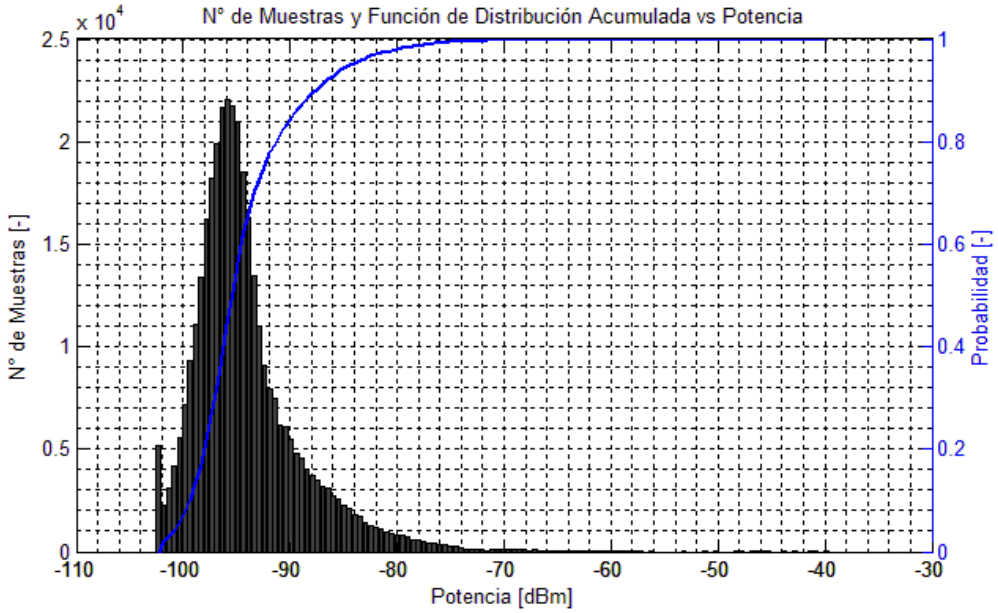


Figura 7.115: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

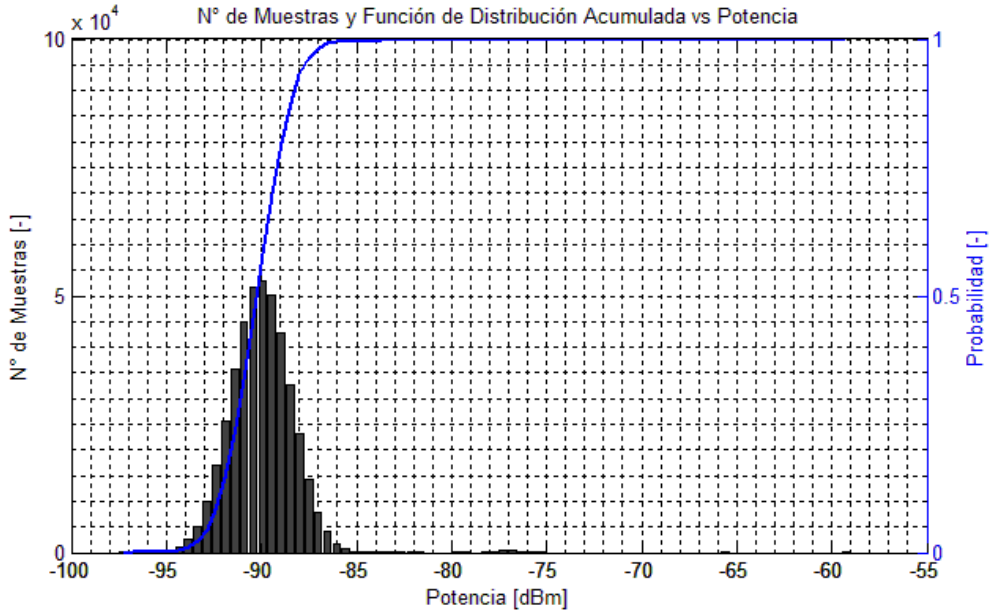


Figura 7.116: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

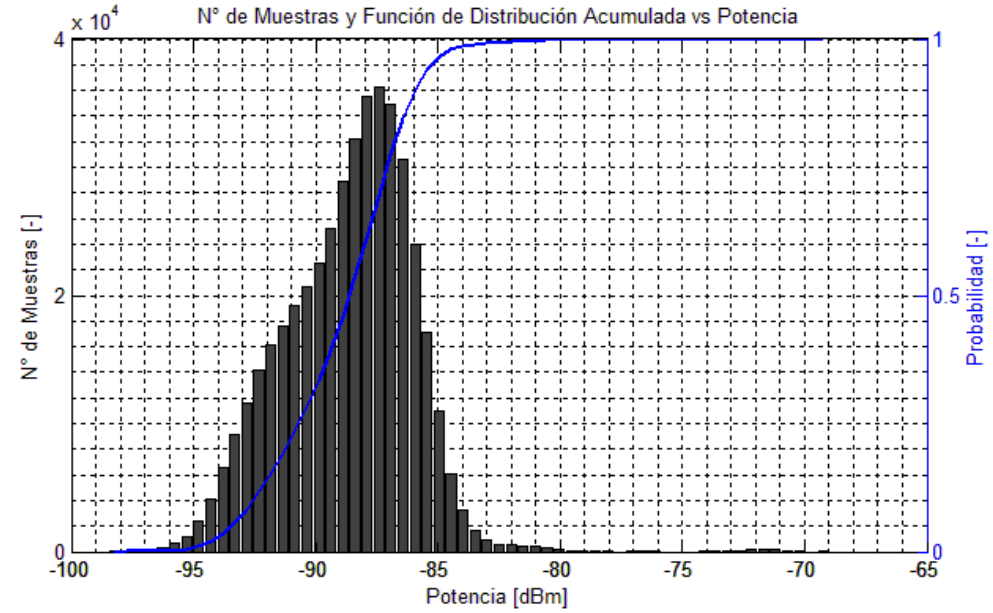


Figura 7.117: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

H.6. Centro Comercial “Mall Marina”

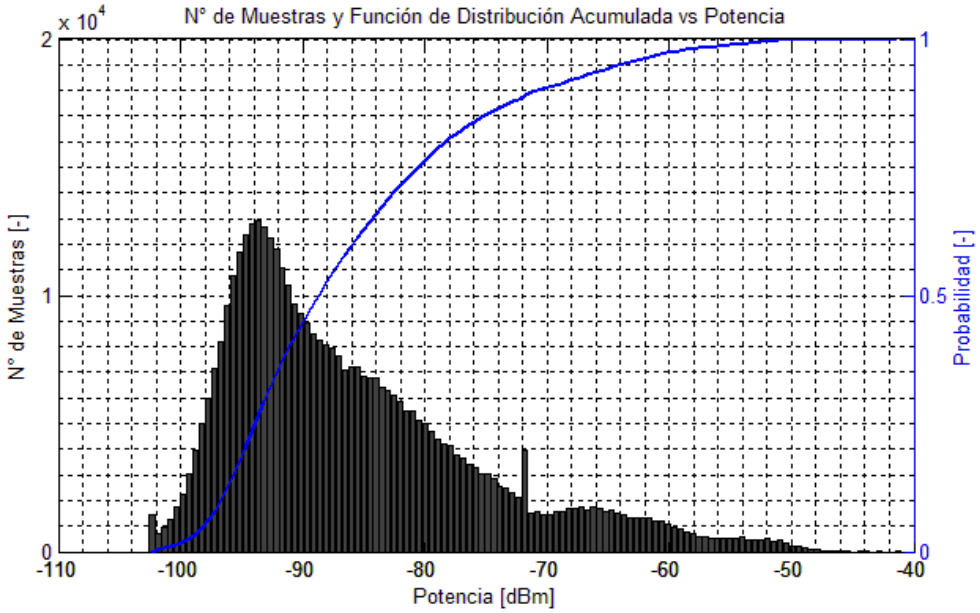


Figura 7.118: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

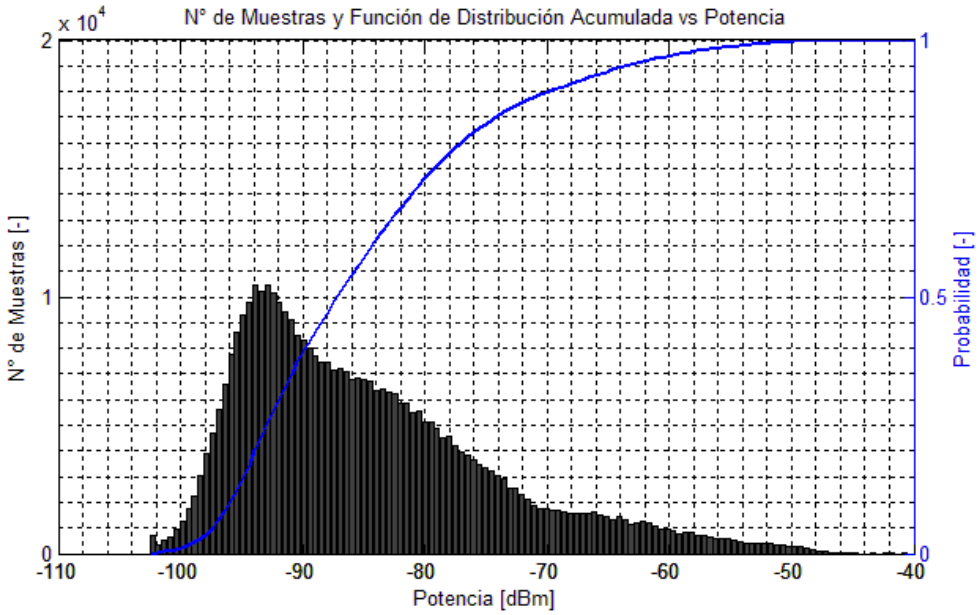


Figura 7.119: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

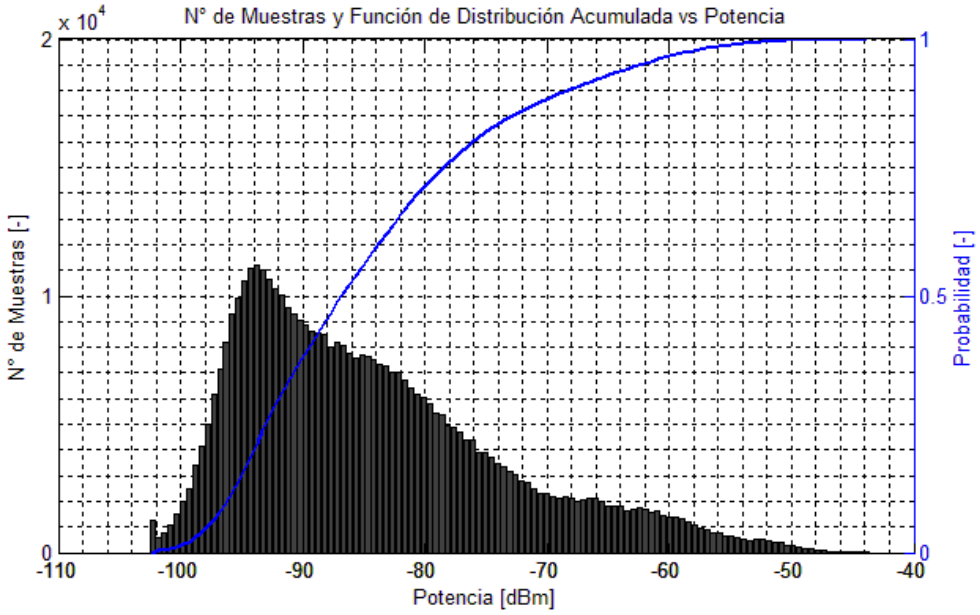


Figura 7.120: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

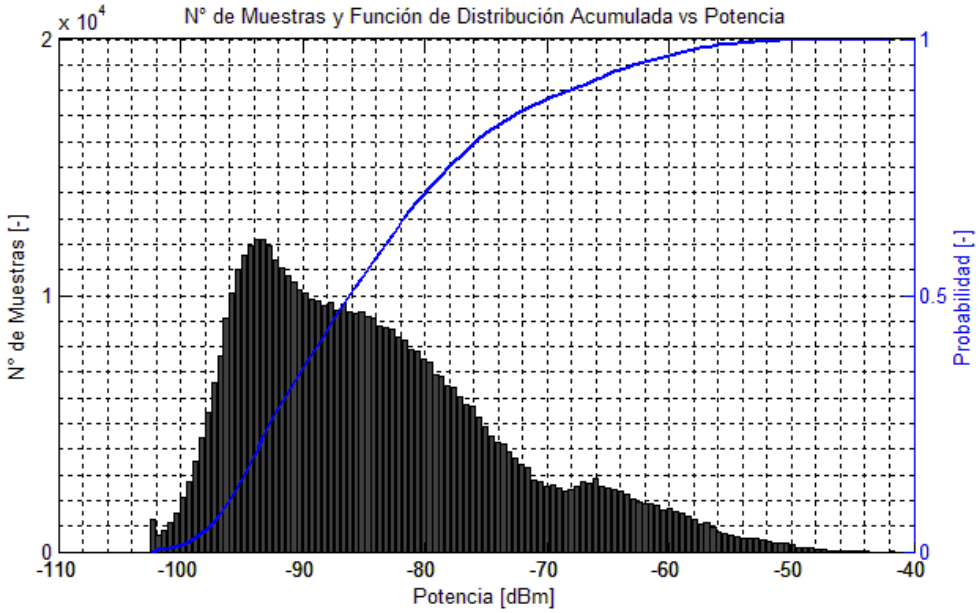


Figura 7.121: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

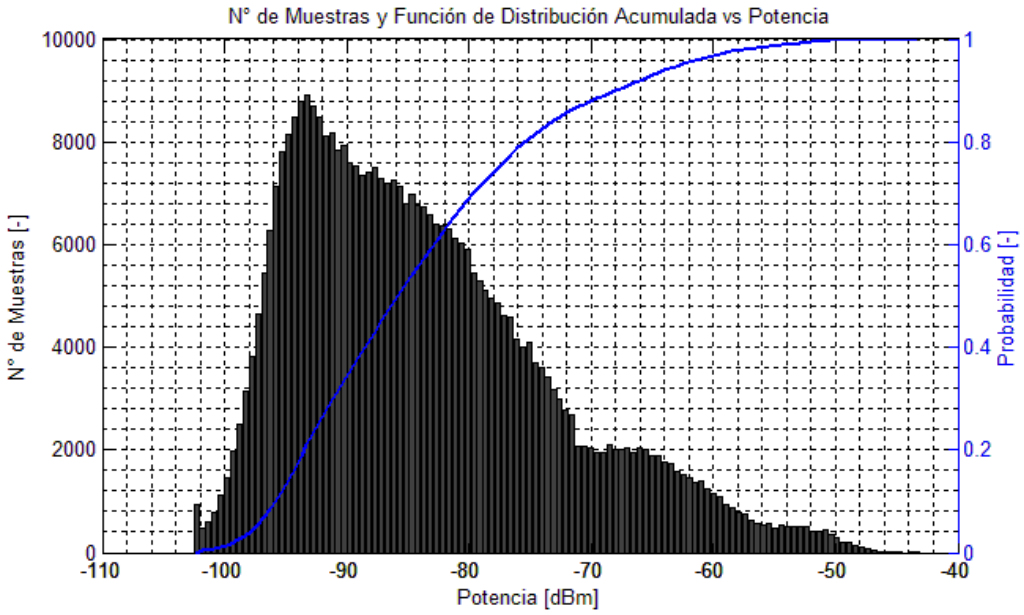


Figura 7.122: Quinta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

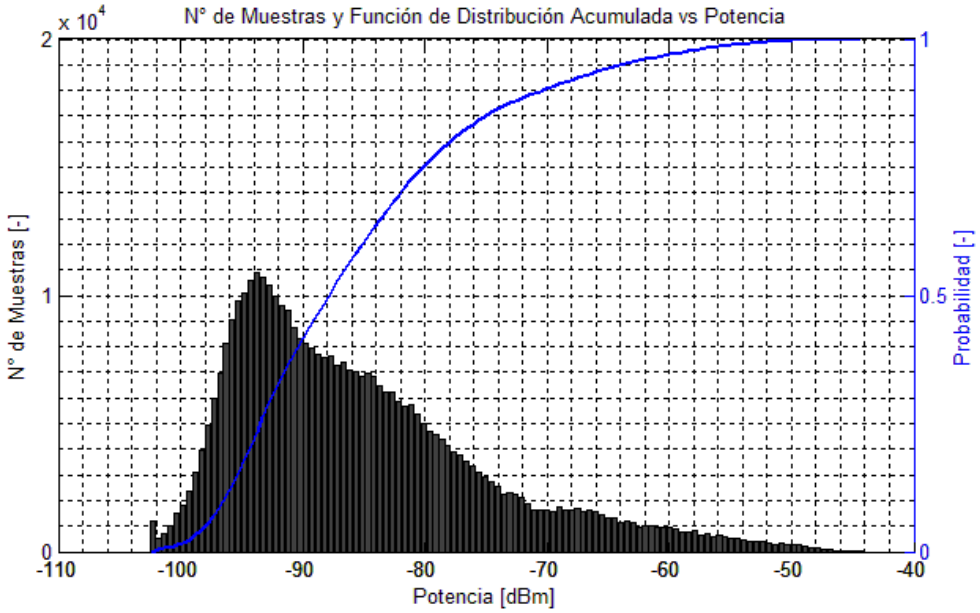


Figura 7.123: Séptima medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

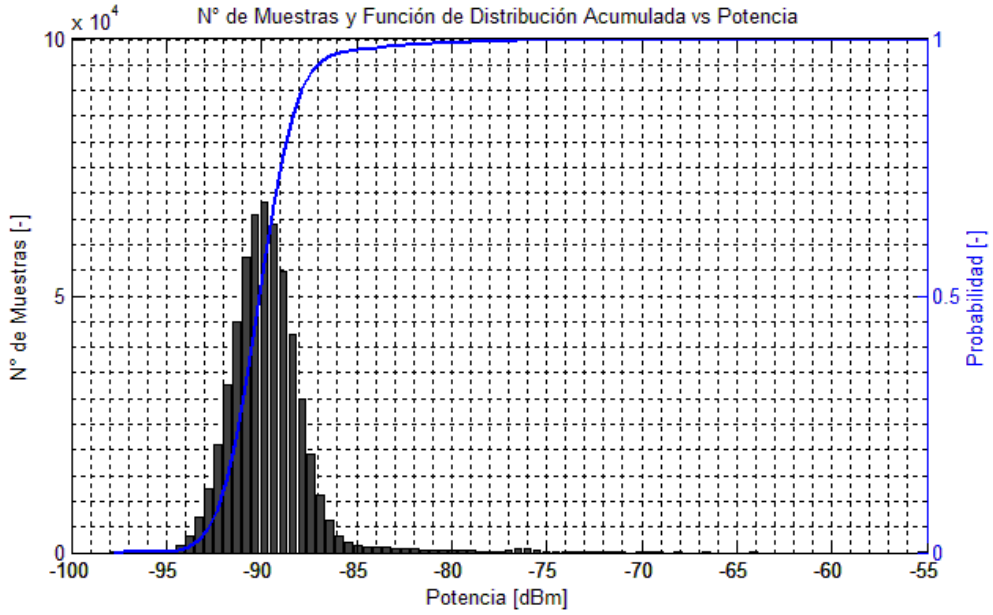


Figura 7.124: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

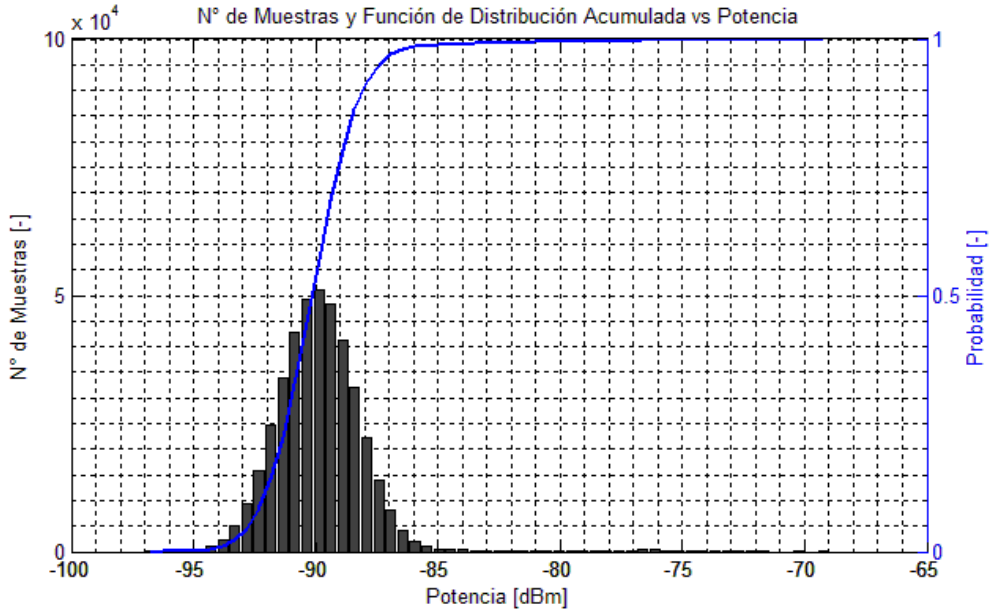


Figura 7.125: Tercera medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

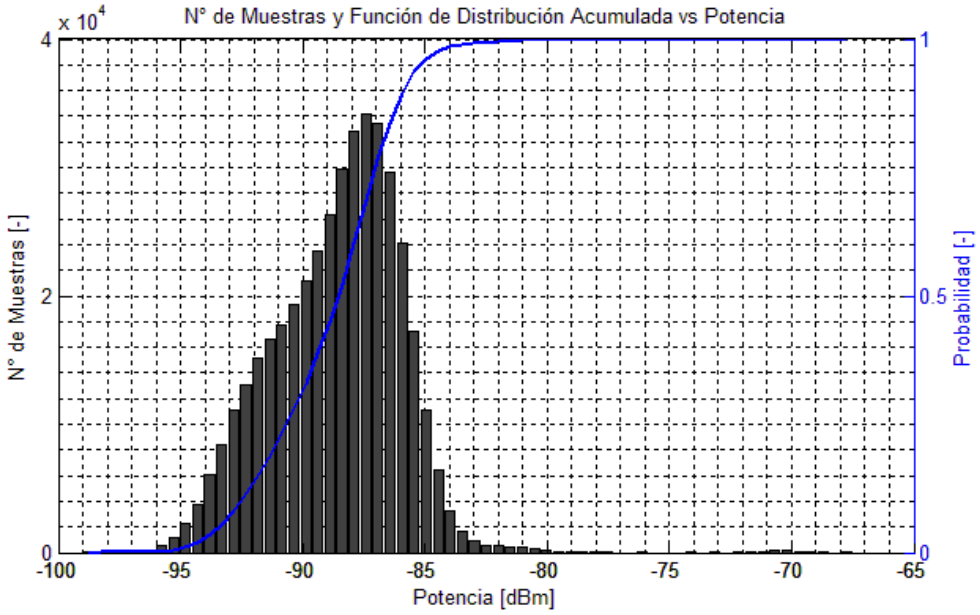


Figura 7.126: Primera medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

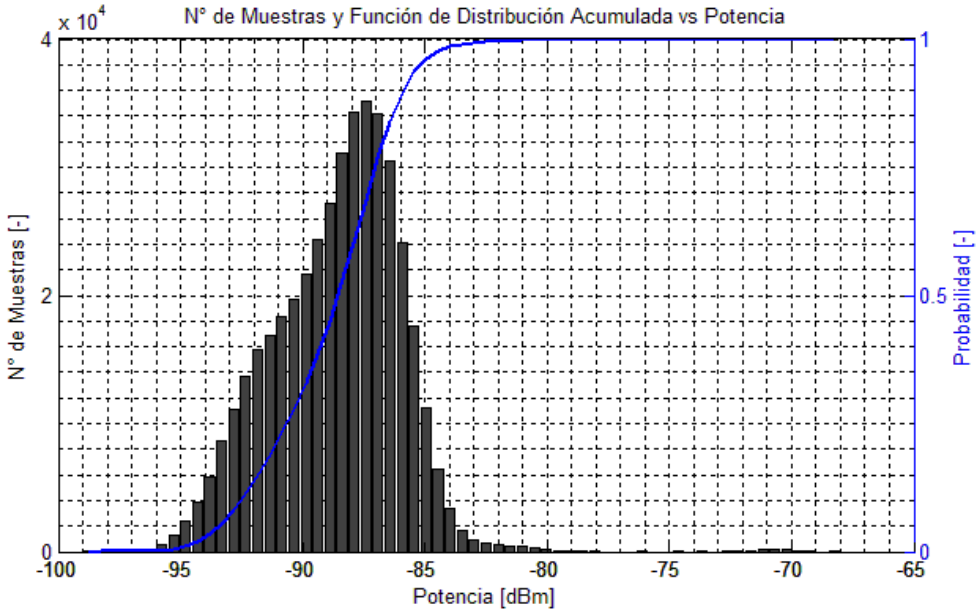


Figura 7.127: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

H.7. Edificio “Torre Coraceros”

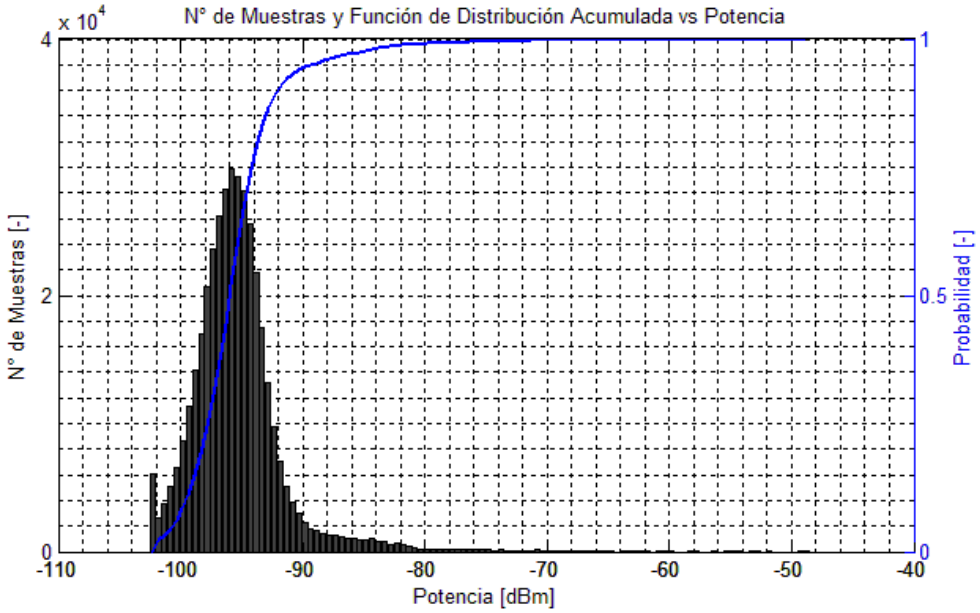


Figura 7.128: Primera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

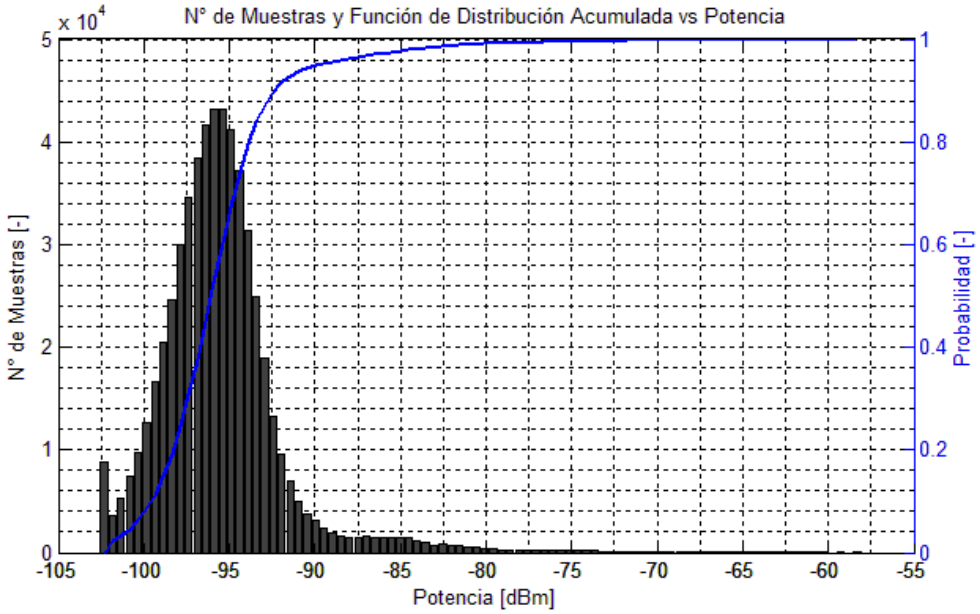


Figura 7.129: Segunda medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

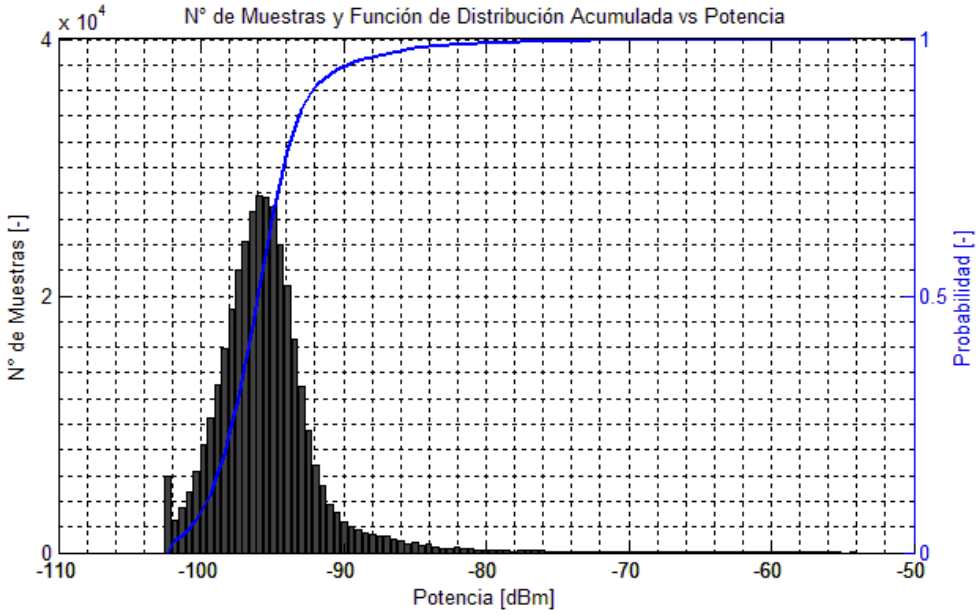


Figura 7.130: Tercera medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

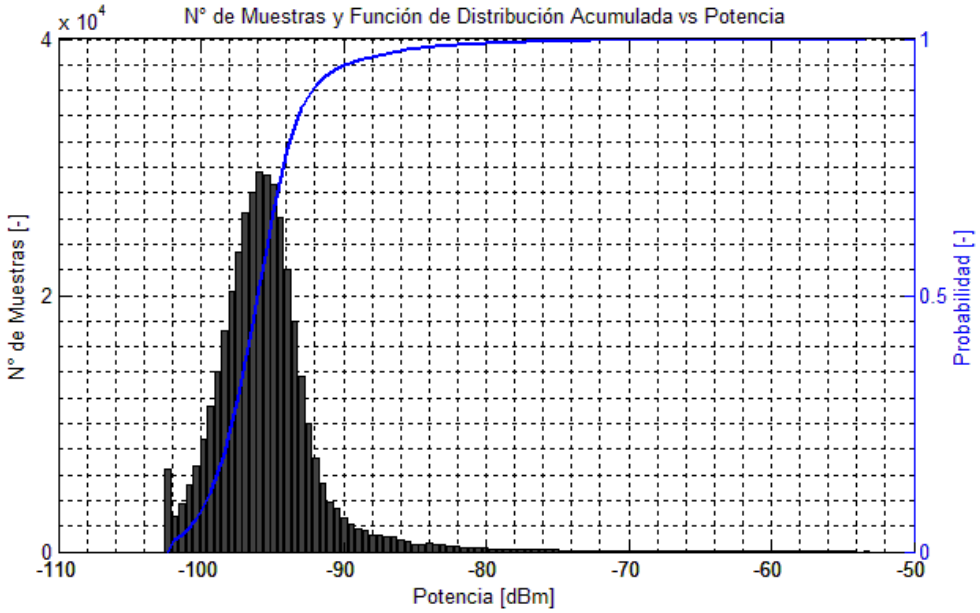


Figura 7.131: Cuarta medición banda 2.437 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

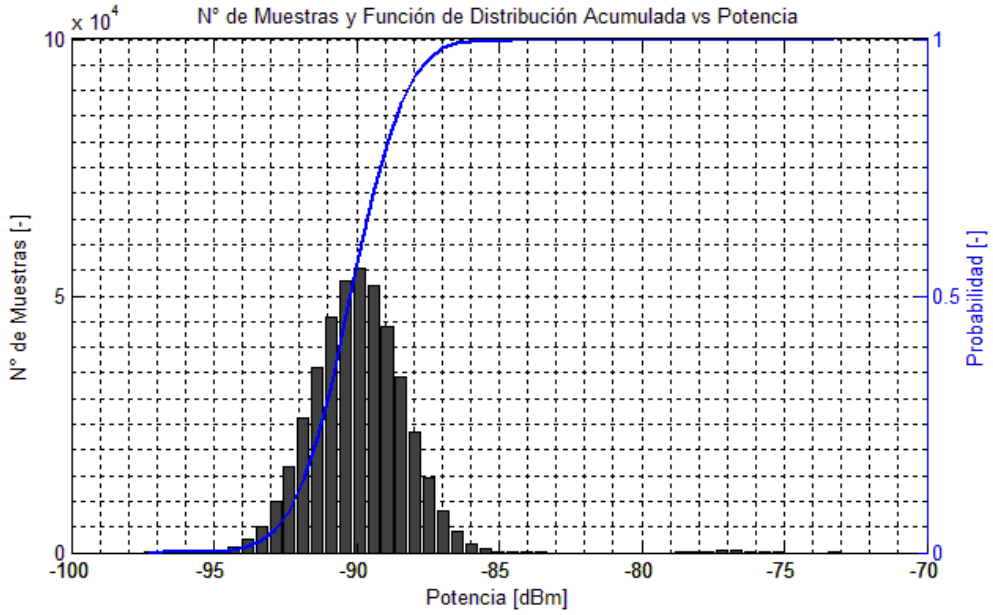


Figura 7.132: Segunda medición banda 5.200 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

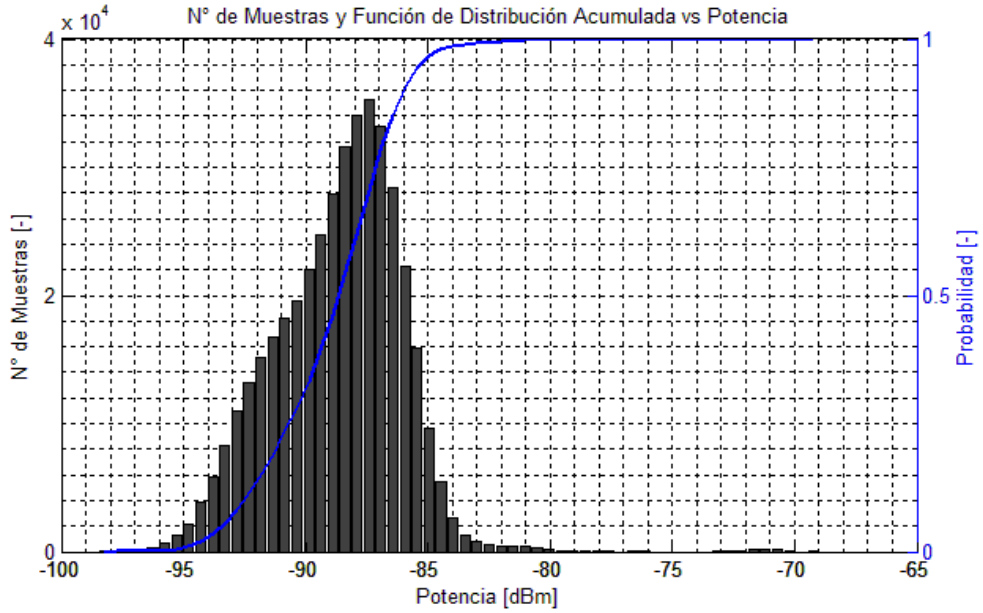
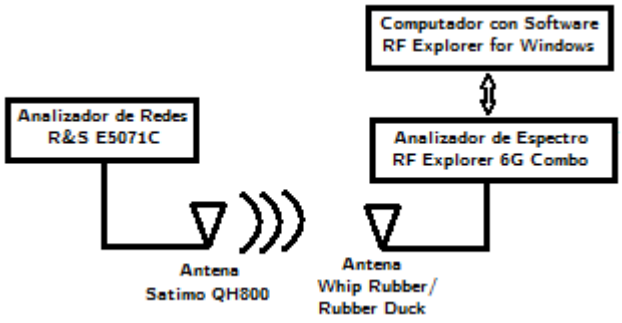
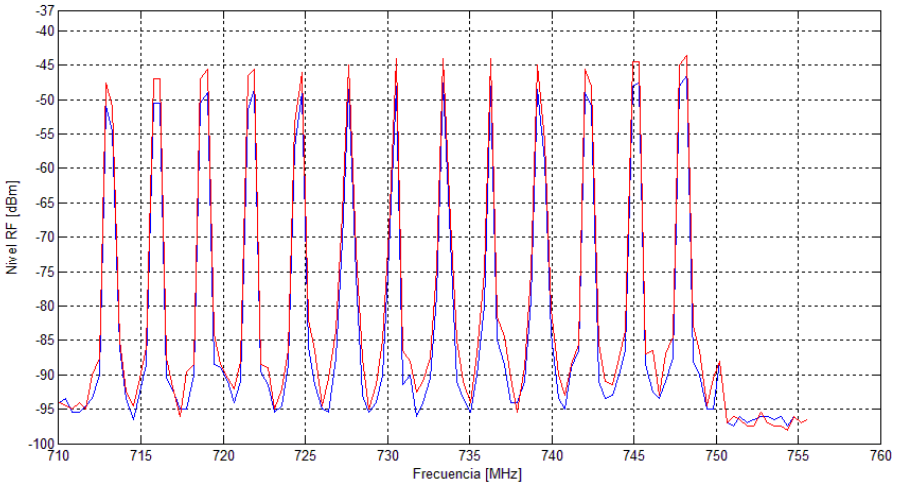


Figura 7.133: Segunda medición banda 5.300 [MHz]. Histograma y Función de Densidad Acumulada

Anexo I – Validación de Mediciones de bandas de radiofrecuencias 2G a 4G y Wi-Fi de RF Explorer 6G Combo

Título:	**Validación de Mediciones de bandas de radiofrecuencias 2G a 4G y Wi-Fi de RF Explorer 6G Combo**
Fecha y hora	4 de julio de 2018 (9:00am – 5:00pm) y 11 de julio de 2018 (10:00am – 1:00pm)
Lugar	Cámara Anecoide B407
Personal	Francisco Pizarro (PUCV); Enzo Rivera (Mem UTFSM)
Responsable	Enzo Rivera
Instrumental utilizado	Analizador de Redes : Agilent Technologies E5071C Analizador de Espectro: Rohde & Schwarz FSP7 y RF Explorer 6G Combo Antenas: Satimo QH800, Rubber Duck 5.8GHz y Whip Rubber 2.4GHz
Breve descripción Experimento	Se configura el analizador de redes AT E5071C como generador de señal de manera que genere secuencialmente señales de amplitud constante en 13 frecuencias en cada una de las bandas expresadas en la Tabla 2, por separadas. Utilizando el analizador de espectro R&S se asegura que se inyecta 0 [dBm] a la antena Sátimo para cada una de las bandas de interés. Se registran los valores obtenidos por el analizador de espectro RF Explorer, por medio de las antenas Whip Rubber (Bandas 1-11) y Rubber Duck (Bandas 12-13), y se comparan con lo esperado utilizando la ecuación de Friis. 

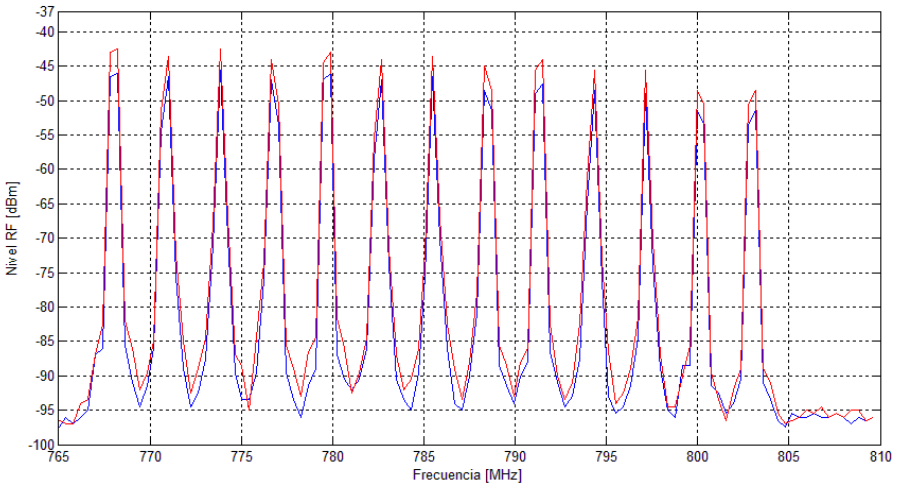
Registros obtenidos



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

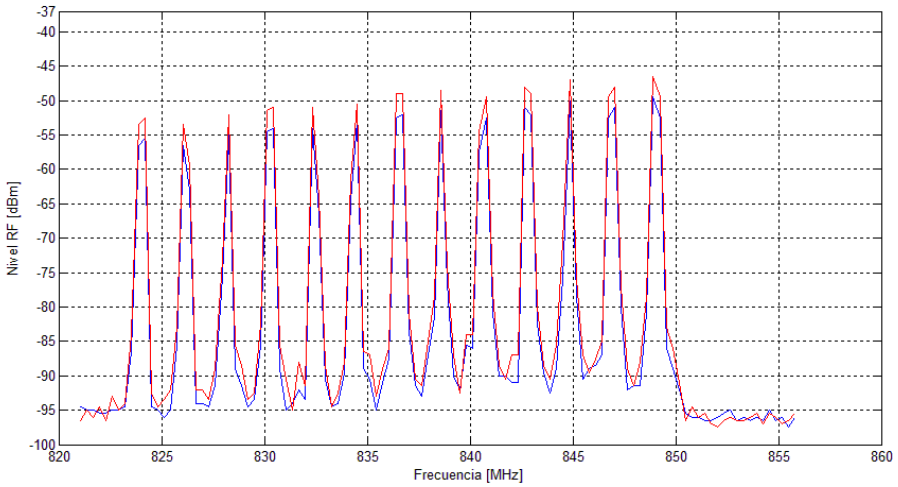
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
713,00	-51,0	-47,5	-34,06	-31,06
715,92	-50,5	-47,0	-34,10	-31,10
718,83	-49,0	-45,5	-34,13	-31,13
721,75	-48,5	-45,5	-34,17	-31,17
724,67	-49,0	-46,0	-34,20	-31,20
727,58	-48,5	-45,0	-34,24	-31,24
730,50	-48,0	-44,0	-34,27	-31,27
733,42	-47,5	-44,0	-34,31	-31,31
736,33	-48,0	-44,0	-34,34	-31,34
739,25	-48,5	-45,0	-34,38	-31,38
742,17	-49,0	-45,5	-34,41	-31,41
745,08	-47,5	-44,5	-34,45	-31,45
748,00	-46,5	-43,5	-34,48	-31,48



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

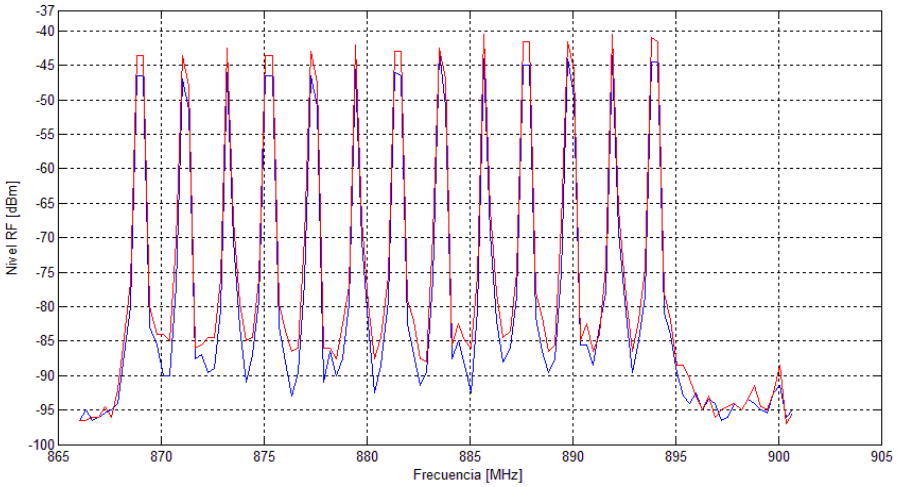
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
768,00	-46,0	-42,5	-34,71	-31,71
770,92	-46,5	-43,5	-34,74	-31,74
773,83	-45,5	-42,5	-34,77	-31,77
776,75	-47,0	-44,0	-34,81	-31,81
779,67	-46,0	-43,0	-34,84	-31,84
782,58	-47,0	-44,0	-34,87	-31,87
785,50	-46,5	-43,5	-34,90	-31,90
788,42	-48,5	-45,0	-34,94	-31,94
791,33	-47,5	-44,0	-34,97	-31,97
794,25	-48,5	-45,5	-35,00	-32,00
797,17	-49,0	-45,5	-35,03	-32,03
800,08	-51,5	-48,5	-35,06	-32,06
803,00	-51,5	-48,5	-35,10	-32,10



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

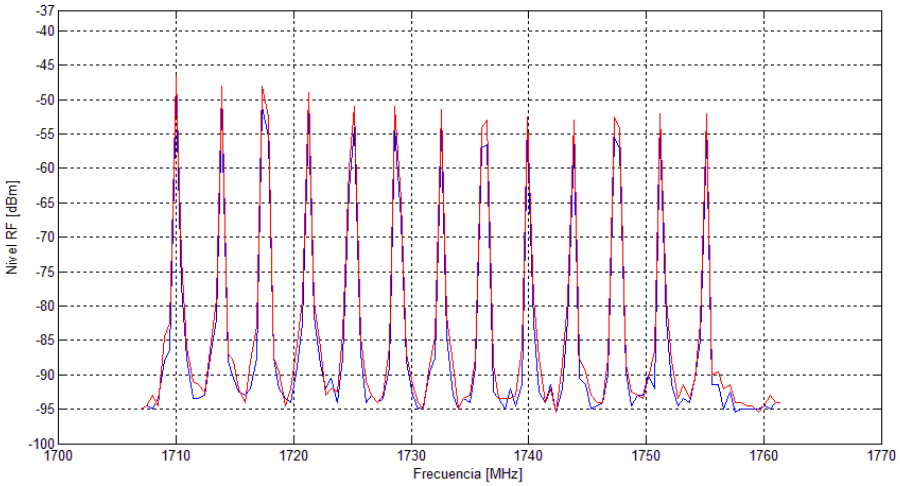
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
824,00	-55,5	-52,5	-35,40	-32,40
826,08	-56,5	-53,5	-35,42	-32,42
828,17	-55,0	-52,0	-35,44	-32,44
830,25	-54,0	-51,0	-35,48	-32,48
832,33	-54,0	-51,0	-35,50	-32,50
834,42	-53,0	-50,5	-35,55	-32,55
836,50	-52,0	-49,0	-35,57	-32,57
838,58	-51,5	-48,5	-35,59	-32,59
840,67	-52,5	-49,5	-35,66	-32,66
842,75	-51,0	-48,0	-35,69	-32,69
844,83	-50,0	-47,0	-35,71	-32,71
846,92	-51,0	-48,0	-35,75	-32,75
849,00	-49,5	-46,5	-35,77	-32,77



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

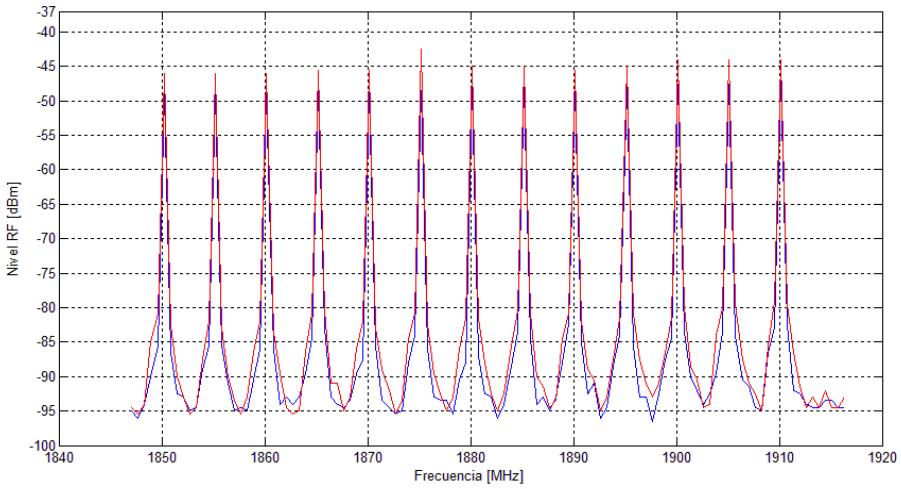
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
869,00	-46,5	-43,5	-36,01	-33,01
871,08	-47,0	-43,5	-36,04	-33,04
873,17	-46,0	-42,5	-36,07	-33,07
875,25	-46,5	-43,5	-36,10	-33,10
877,33	-46,5	-43,0	-36,13	-33,13
879,42	-45,5	-42,0	-36,15	-33,15
881,50	-46,0	-43,0	-36,17	-33,17
883,58	-43,0	-42,5	-36,19	-33,19
885,67	-44,0	-40,5	-36,21	-33,21
887,75	-45,0	-41,5	-36,23	-33,23
889,83	-44,0	-41,5	-36,25	-33,25
891,92	-43,5	-40,5	-36,27	-33,27
894,00	-44,5	-41,0	-36,29	-33,29



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

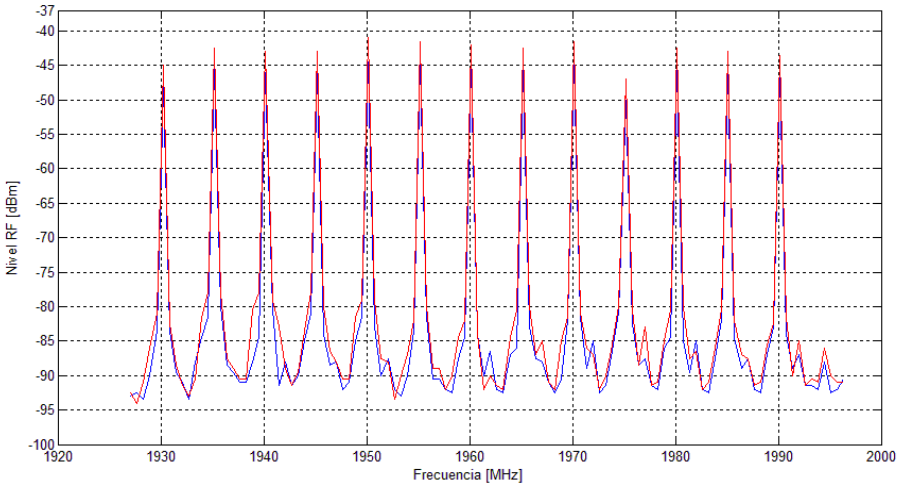
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
1.710,00	-49,5	-46,5	-39,47	-36,47
1.713,75	-51,5	-48,0	-39,09	-36,09
1.717,50	-51,0	-48,0	-39,43	-36,43
1.721,25	-52,0	-49,0	-39,43	-36,43
1.725,00	-54,0	-51,0	-39,43	-36,43
1.728,75	-54,0	-51,0	-39,43	-36,43
1.732,50	-54,5	-51,5	-39,41	-36,41
1.736,25	-56,5	-53,0	-39,39	-36,39
1.740,00	-55,5	-52,5	-39,40	-36,40
1.743,75	-56,5	-53,0	-39,41	-36,41
1.747,50	-55,5	-52,5	-39,42	-36,42
1.751,25	-55,0	-52,0	-39,43	-36,43
1.755,00	-55,0	-52,0	-39,43	-36,43



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

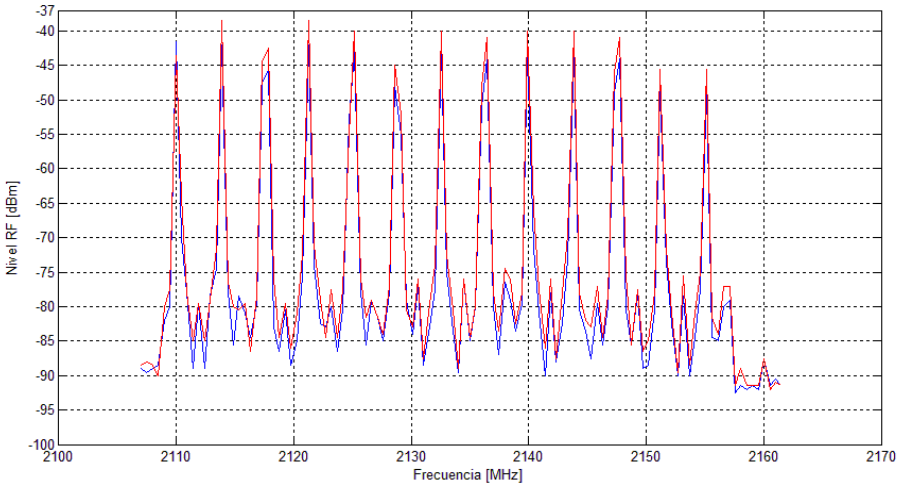
—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
1.850,00	-49,0	-46,0	-39,49	-36,49
1.855,00	-49,0	-46,0	-39,50	-36,50
1.860,00	-49,0	-46,0	-39,51	-36,51
1.865,00	-48,5	-45,5	-39,54	-36,54
1.870,00	-48,5	-45,5	-39,55	-36,55
1.875,00	-48,5	-42,5	-39,56	-36,56
1.880,00	-48,0	-45,0	-39,57	-36,57
1.885,00	-48,0	-45,0	-39,60	-36,60
1.890,00	-48,5	-45,5	-39,62	-36,62
1.895,00	-48,0	-45,0	-39,64	-36,64
1.900,00	-47,5	-44,0	-39,67	-36,67
1.905,00	-47,5	-44,0	-39,68	-36,68
1.910,00	-47,0	-44,0	-39,70	-36,70



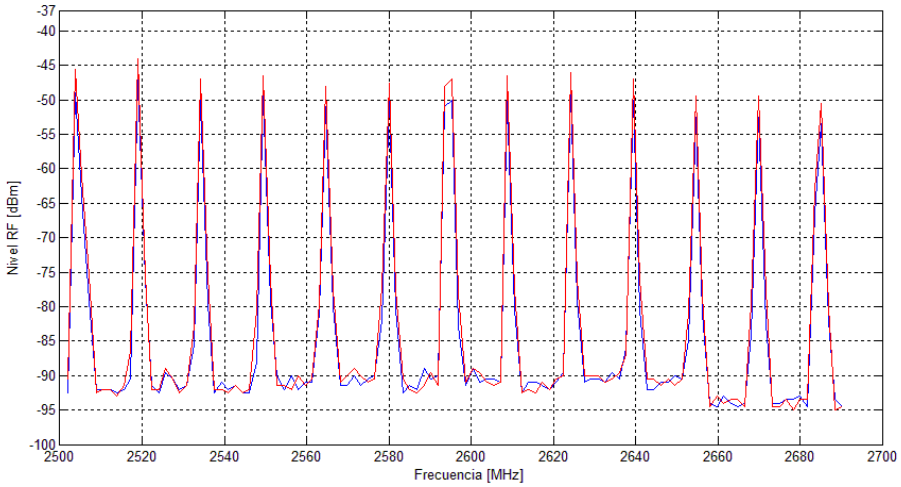
—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]
—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
1.930,00	-48,0	-45,0	-39,77	-36,77
1.935,00	-45,5	-42,5	-39,79	-36,79
1.940,00	-46,0	-43,0	-39,80	-36,80
1.945,00	-46,0	-43,0	-39,81	-36,81
1.950,00	-44,5	-41,0	-39,82	-36,82
1.955,00	-44,5	-41,5	-39,84	-36,84
1.960,00	-45,0	-42,0	-39,86	-36,86
1.965,00	-45,5	-42,5	-39,88	-36,88
1.970,00	-44,5	-41,5	-39,90	-36,90
1.975,00	-50,0	-47,0	-39,92	-36,92
1.980,00	-45,5	-42,5	-39,95	-36,95
1.985,00	-46,0	-43,0	-39,97	-36,97
1.990,00	-46,5	-43,5	-39,99	-36,99



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]
—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

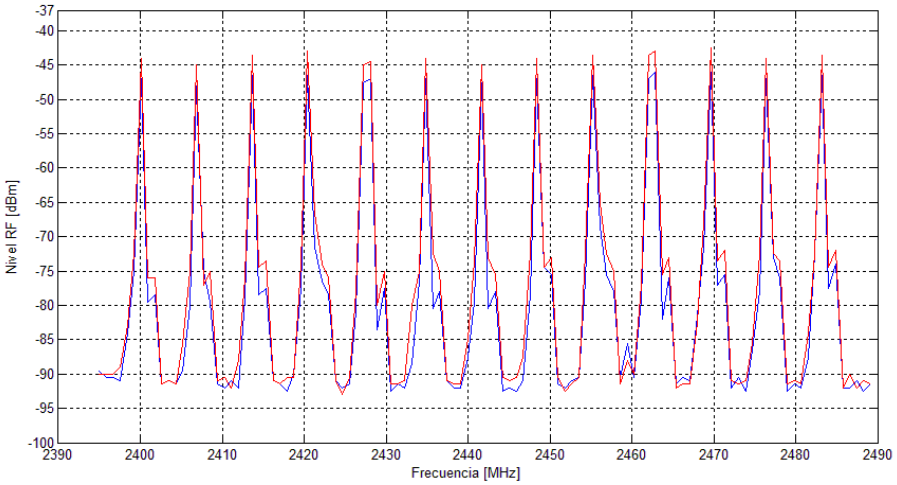
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
2.110,00	-41,5	-43,5	-40,42	-37,42
2.113,75	-42,0	-38,5	-40,43	-37,43
2.117,50	-45,5	-42,5	-40,45	-37,45
2.121,25	-42,0	-38,5	-40,45	-37,45
2.125,00	-43,0	-40,0	-40,47	-37,47
2.128,75	-48,0	-45,0	-40,48	-37,48
2.132,50	-42,5	-40,0	-40,49	-37,49
2.136,25	-44,0	-41,0	-40,49	-37,49
2.140,00	-43,0	-40,0	-40,51	-37,51
2.143,75	-43,0	-40,0	-40,52	-37,52
2.147,50	-44,0	-41,0	-40,52	-37,52
2.151,25	-48,5	-45,5	-40,54	-37,54
2.155,00	-48,5	-45,5	-40,54	-37,54



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

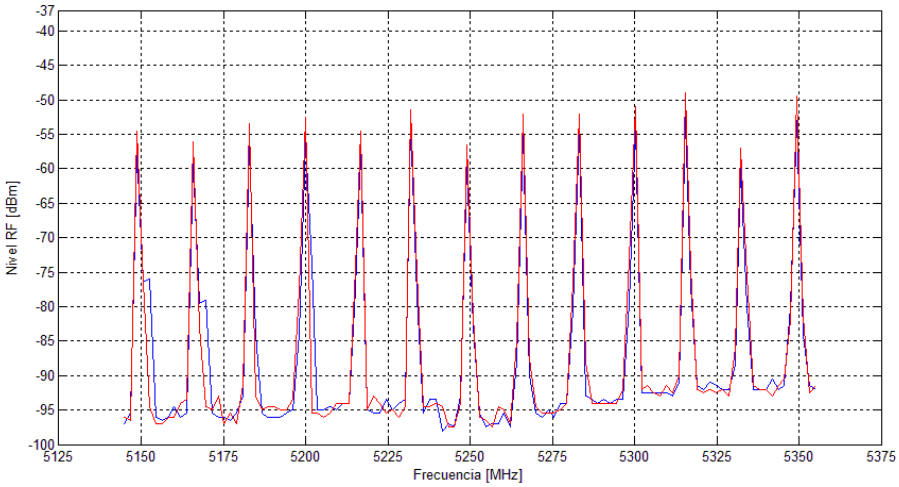
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
2.505,00	-49,0	-45,5	-41,59	-38,59
2.520,00	-47,0	-44,0	-41,67	-38,67
2.535,00	-50,0	-47,0	-41,74	-38,74
2.550,00	-49,0	-46,5	-41,81	-38,81
2.565,00	-51,0	-48,0	-41,88	-38,88
2.580,00	-50,0	-47,5	-41,95	-38,95
2.595,00	-50,0	-47,0	-42,04	-39,04
2.610,00	-50,0	-46,5	-42,09	-39,09
2.625,00	-49,0	-46,0	-42,09	-39,09
2.640,00	-50,0	-47,0	-42,09	-39,09
2.655,00	-52,5	-49,5	-42,09	-39,09
2.670,00	-52,5	-49,5	-42,11	-39,11
2.685,00	-53,5	-50,5	-42,12	-39,12



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

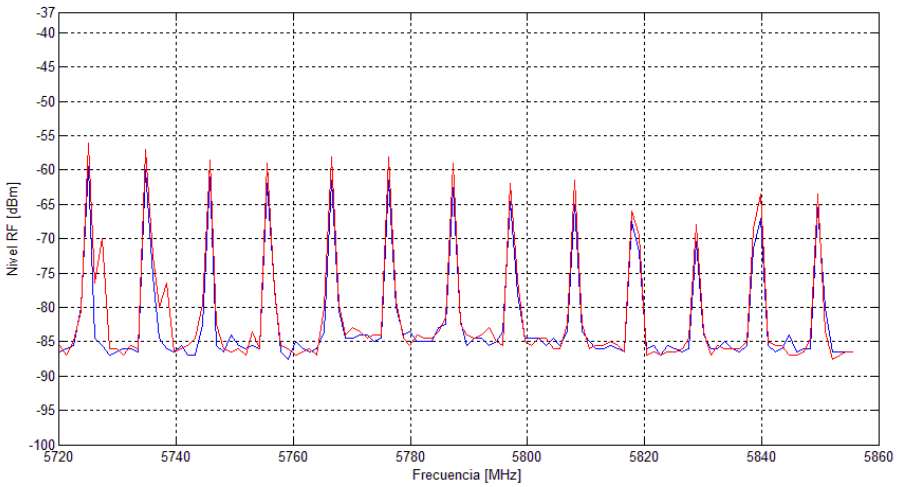
Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
2.400,00	-47,0	-44,0	-41,06	-38,06
2.406,96	-48,0	-45,0	-41,08	-38,08
2.413,92	-46,5	-43,5	-41,12	-38,12
2.420,88	-46,5	-43,0	-41,15	-38,15
2.427,83	-47,0	-44,5	-41,19	-38,19
2.434,79	-47,0	-44,0	-41,21	-38,21
2.441,75	-47,5	-45,0	-41,25	-38,25
2.448,71	-47,0	-44,0	-41,27	-38,27
2.455,67	-46,5	-43,5	-41,33	-38,33
2.462,63	-46,0	-43,0	-41,37	-38,37
2.469,58	-46,0	-42,5	-41,40	-38,40
2.476,54	-47,0	-44,0	-41,44	-38,44
2.483,50	-46,5	-43,5	-41,48	-38,48



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
5.150,00	-57,5	-54,5	-44,72	-41,72
5.166,67	-59,0	-56,0	-44,74	-41,74
5.183,33	-56,5	-53,5	-44,76	-41,76
5.200,00	-56,0	-52,5	-44,77	-41,77
5.216,67	-57,0	-54,5	-44,80	-41,80
5.233,33	-53,5	-51,5	-44,80	-41,80
5.250,00	-59,5	-56,5	-44,78	-41,78
5.266,67	-55,0	-52,0	-44,79	-41,79
5.283,33	-54,5	-52,0	-44,77	-41,77
5.300,00	-54,0	-51,0	-44,75	-41,75
5.316,67	-52,5	-49,0	-44,72	-41,72
5.333,33	-60,0	-57,0	-44,70	-41,70
5.350,00	-53,0	-49,5	-44,69	-41,69



—— Registro con potencia de transmisión 3 [dBm]

—— Registro con potencia de transmisión 0 [dBm]

Frecuencia Central [MHz]	P_Rx_Exp_0dBm [dBm]	P_Rx_Exp_3dBm [dBm]	P_Rx_Teo_0dBm [dBm]	P_Rx_Teo_3dBm [dBm]
5.725,00	-59,5	-56,0	-45,26	-42,26
5.735,42	-60,0	-57,0	-45,27	-42,27
5.745,83	-61,0	-58,5	-45,29	-42,29
5.756,25	-62,0	-59,0	-45,30	-42,30
5.766,67	-61,5	-58,0	-45,32	-42,32
5.777,08	-61,5	-58,0	-45,33	-42,33
5.787,50	-62,5	-59,0	-45,34	-42,34
5.797,92	-64,5	-62,0	-45,34	-42,34
5.808,33	-65,0	-61,5	-45,33	-42,33
5.818,75	-67,5	-66,0	-45,33	-42,33
5.829,17	-70,5	-68,0	-45,33	-42,33
5.839,58	-67,0	-63,5	-45,33	-42,33
5.850,00	-65,5	-63,5	-45,32	-42,32

	Expresiones utilizadas para el cálculo: • Diferencia: $\Delta_{\mathrm{dBm}} = \left\lvert P_{Rx_2} - P_{Rx_1} \right\rvert$ • Conversión Diferencia [dBm] – [mW]: $\Delta_{\mathrm{mW}} = 10^{\frac{\Delta_{\mathrm{dBm}}}{10}}$ • Promedio: $\overline{\Delta_{\mathrm{mW}}} = \frac{\sum \Delta_{\mathrm{mW}}}{N_{peaks}}$ • Conversión Promedio [mW] – [dBm]: $\overline{X_{\mathrm{dBm}}} = 10\log_{10}(\overline{X_{\mathrm{mW}}})$ • Desviación Estándar: $\sigma_{\mathrm{mW}} = \sqrt{\frac{\sum \lvert \Delta_{\mathrm{mW}} - \overline{\Delta_{\mathrm{mW}}} \rvert^2}{N_{peaks}}}$ • Conversión Desviación Estándar [mW] – [dBm]: $\sigma_{\mathrm{dBm}} = 10\log_{10}(\sigma_{\mathrm{mW}})$
Comentarios	Se observa que el equipo RF Explorer logra recibir las 13 señales de amplitud constante de 0 y 3 [dBm] enviados por la antena Satimo QH800 (PIRE) en las frecuencias respectivas de cada banda, según la tabla 2. En color rojo se grafica lo registrado por el equipo RF Explorer 6G Combo, con la antena Whip Rubber 2.4GHz, al transmitir 0 [dBm] y, en color azul, se registra similarmente por el mismo equipo y con la misma antena, pero con una transmisión de 3 [dBm]. De los resultados, se visualizan: – Banda 1 (713 – 748 [MHz]): 1) Diferencias entre 3 y 4 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,4 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta no lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (9/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 3 y 4 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 12,02 y 16,94 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 14,50 [dBm] y una desviación estándar de 9,48 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 12,02 y 16,44 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 14,07 [dBm] y una desviación estándar de 9,01 [dBm] para la banda. – Banda 2 (768 – 803 [MHz]): 1) Diferencias entre 3 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,2 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (9/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 3 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 10,73 y 16,44 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 13,27 [dBm] y una desviación estándar de 10,16 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 10,73 y 16,44 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 13,14 [dBm] y una desviación estándar de 10,19 [dBm] para la banda. – Banda 3 (824 – 849 [MHz]): 1) Diferencias entre 2,5 y 3 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,0 [dBm] para la banda. Esto

	evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para casi la totalidad de las frecuencias (12/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 2,5 y 3 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 13,73 y 21,08 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 17,71 [dBm] y una desviación estándar de 14,87 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 13,73 y 21,08 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 17,75 [dBm] y una desviación estándar de 14,87 [dBm] para la banda. – Banda 4 (869 – 894 [MHz]): 1) Diferencias entre 0,5 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,1 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta no lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (9/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 0,5 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 6,81 y 10,96 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 9,27 [dBm] y una desviación estándar de 3,91 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 7,23 y 10,49 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 9,18 [dBm] y una desviación estándar de 3,18 [dBm] para la banda. – Banda 5 (1.710 – 1.755 [MHz]): 1) Diferencias entre 3 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,1 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (10/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 3 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 10,03 y 17,11 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 14,94 [dBm] y una desviación estándar de 11,08 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 10,03 y 16,61 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 14,80 [dBm] y una desviación estándar de 10,70 [dBm] para la banda. – Banda 6 (1.850 – 1.910 [MHz]): 1) Diferencias entre 3 y 6 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,4 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta no lineal por parte del equipo RF Explorer para algunas frecuencias (3/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 3 y 6 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 7,30 y 9,51 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 8,69 [dBm] y una desviación estándar de 0,46 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 5,94 y 9,51 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a

	la ecuación de Friis, dando un promedio de 8,45 [dBm] y una desviación estándar de 1,84 [dBm] para la banda. – Banda 7 (1.930 – 1.990 [MHz]): 1) Diferencias entre 3 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,0 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para casi la totalidad de las frecuencias (12/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 3 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 4,60 y 10,08 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 6,39 [dBm] y una desviación estándar de 2,85 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 4,18 y 10,08 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 6,37 [dBm] y una desviación estándar de 2,89 [dBm] para la banda. – Banda 8 (2.110 – 2.155 [MHz]): 1) Diferencias entre 2 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,0 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (9/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 2 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 1,08 y 7,96 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 4,53 [dBm] y una desviación estándar de 2,62 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 1,05 y 7,96 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 4,83 [dBm] y una desviación estándar de 2,57 [dBm] para la banda. – Banda 9 (2.505 – 2.685 [MHz]): 1) Diferencias entre 2,5 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,0 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (9/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 2,5 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 5,33 y 11,38 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 8,62 [dBm] y una desviación estándar de 4,48 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 5,33 y 11,38 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 8,62 [dBm] y una desviación estándar de 4,51 [dBm] para la banda. – Banda 10 (2.400 – 2.483 [MHz]): 1) Diferencias entre 2,5 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,0 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (9/13), resultando que un aumento de la potencia de

	transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 2,5 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 4,60 y 6,92 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 5,60 [dBm] y una desviación estándar de -2,75 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 4,10 y 6,92 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 5,62 [dBm] y una desviación estándar de -1,76 [dBm] para la banda. – Banda 11 (5.150 – 5.350 [MHz]): 1) Diferencias entre 2 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,0 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta lineal por parte del equipo RF Explorer para la mayoría de las frecuencias (7/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 2 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 7,78 y 15,30 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 11,92 [dBm] y una desviación estándar de 9,49 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 7,28 y 15,30 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 11,97 [dBm] y una desviación estándar de 9,49 [dBm] para la banda. – Banda 12 (5.725 – 5.850 [MHz]): 1) Diferencias entre 1,5 y 3,5 [dBm] para una misma frecuencia, pero con potencias distintas de transmisión, dando un promedio de 3,0 [dBm] para la banda. Esto evidencia una respuesta no lineal por parte del equipo RF Explorer para la casi la totalidad de las frecuencias (11/13), resultando que un aumento de la potencia de transmisión de 3 [dB] refleje una variación entre 1,5 y 3,5 [dB] en el analizador de espectros. 2) Diferencias entre 14,24 y 25,17 [dBm] para transmisión de 0 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 19,63 [dBm] y una desviación estándar de 19,06 [dBm] para la banda. 3) Diferencias entre 13,74 y 25,67 [dBm] para transmisión de 3 [dBm] con respecto a la ecuación de Friis, dando un promedio de 20,00 [dBm] y una desviación estándar de 19,83 [dBm] para la banda.