



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN LAS BANDAS VHF Y UHF MEDIANTE UN ALGORITMO REALIZADO EN RADIO USRP PARA USO POTENCIAL DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11AF EN LA ZONA URBANA DEL CANTÓN AMBATO**

**JORGE VINICIO JIMÉNEZ MOPOSITA**

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la  
ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES.**

Riobamba-Ecuador

Octubre- 2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**CERTIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación Modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado: **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN LAS BANDAS VHF Y UHF MEDIANTE UN ALGORITMO REALIZADO EN RADIO USRP PARA USO POTENCIAL DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11AF EN LA ZONA URBANA DEL CANTÓN AMBATO”** de responsabilidad del señor Jorge Vinicio Jiménez Moposita, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

ING. WILSON ZÚNIGA VINUEZA; M. Sc

**PRESIDENTE**

---

OSWALDO MARTÍNEZ GUASHIMA, M Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

---

JEFFERSON RIBADENEIRA RAMÍREZ, Ph.D

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

VICTOR MANZANO VILLAFUERTE, Mg.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Riobamba, octubre 2017

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Jorge Vinicio Jiménez Moposita, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Jorge Vinicio Jiménez Moposita

N° de cédula: 180373030-6

©2017, Jorge Vinicio Jiménez Moposita.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Jorge Vinicio Jiménez Moposita, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras Fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

---

Jorge Vinicio Jiménez Moposita

Nº de cédula: 180373030-6

## **DEDICATORIA**

A mi padre Segundo Jiménez y mi madre Rosa Moposita, ejemplos de lucha y perseverancia, brindándome su apoyo total e incondicional en todo momento.

A Jimena, Freddy, Jenny, Emilio, Emiliano y demás familiares por compartir su paciencia y alegría.

A todos mis compañeros y amigos por los momentos compartidos durante esta etapa de mi vida.

Finalmente, a Verónica Dávila y su familia por el gran apoyo brindado.

Jorge

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por brindarme salud, bienestar y fortaleza en todo este largo camino de preparación académica.

A mis padres por su empuje perseverante dándome fuerzas para llegar a concluir este trabajo.

A los ingenieros Oswaldo Martínez, Jefferson Ribadeneira y Víctor Santiago Manzano quienes de forma desinteresada con su ayuda y consejos permitieron la culminación de este trabajo de investigación.

A los amigos y autoridades de la Universidad Técnica de Ambato que me permitieron la utilización de los instrumentos adecuados para el desarrollo de esta investigación

Jorge

## CONTENIDO

RESUMEN .....	xviii
SUMMARY .....	xix
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b> 1
<b>1.1</b>	<b>Problema de Investigación .....</b> 2
<i>1.1.1</i>	<i>Situación problemática .....</i> 2
<i>1.1.2</i>	<i>Formulación del problema .....</i> 4
<i>1.1.3</i>	<i>Sistematización del problema .....</i> 4
<b>1.2</b>	<b>Justificación de la investigación .....</b> 4
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b> 6
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo general.....</i> 6
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos .....</i> 6
<b>1.4</b>	<b>Hipótesis .....</b> 6
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2</b>	<b>MARCO DE REFERENCIA.....</b> 7
<b>2.1</b>	<b>Estándar 802.11af .....</b> 7
<i>2.1.1</i>	<i>Componentes de la arquitectura del estándar 802.11af. ....</i> 11
<i>2.1.1.1</i>	<i>Base de datos de Geolocalización (Geolocation Database GDB). ....</i> 11
<i>2.1.1.2</i>	<i>Servidor seguro de registros de ubicación (Registered Location Secure Server RLSS). ....</i> 16
<i>2.1.1.3</i>	<i>Estación GDD de habilitación (GDD-enabling Station).....</i> 16
<i>2.1.1.4</i>	<i>Estación GDD dependiente (GDD-dependent Station). ....</i> 17
<i>2.1.1.5</i>	<i>Protocolo de consulta de registro de localización (Registered Location Query Protocol RLQP) .....</i> 17
<i>2.1.2</i>	<i>Capa MAC.....</i> 18
<i>2.1.2.1</i>	<i>Mecanismo de control 1. ....</i> 19
<i>2.1.2.2</i>	<i>Mecanismo de control 2 .....</i> 19
<i>2.1.2.2.1</i>	<i>CSM (Channel Schedule Management- gestor de programación de canales). ....</i> 19
<i>2.1.2.2.2</i>	<i>NCC (Network channel control- control de canal de red). ....</i> 20
<i>2.1.2.3</i>	<i>Mecanismo de control 3. ....</i> 21
<i>2.1.2.4</i>	<i>Escenarios de funcionamiento de una GDD dependiente. ....</i> 22
<i>2.1.3</i>	<i>Resumen de mecanismos GDD y tiempos .....</i> 26
<i>2.1.4</i>	<i>Capa física.....</i> 26



2.1.5	<i>Máscara espectral.</i>	30
2.1.6	<i>Sensibilidad mínima el receptor</i>	31
2.1.7	<i>Evaluación de canal libre (clear channel assessment-CCA)</i>	32
2.2	<b>Radio cognitiva.</b>	33
2.2.1	<b>Modelos de acceso dinámico al espectro.</b>	35
2.2.1.1	<i>Modelo Dinámico de Uso exclusivo.</i>	35
2.2.1.2	<i>Modelo de acceso Abierto.</i>	35
2.2.1.3	<i>Modelo de acceso Jerárquico.</i>	36
2.2.2	<b>Censado del espectro</b>	36
2.2.2.1	<i>Medición de energía.</i>	37
2.2.2.1.1	<i>Métricas de rendimiento.</i>	38
2.2.2.2	<i>Ciclo estacionario.</i>	40
2.2.2.3	<i>Filtro adaptado.</i>	41
2.2.2.4	<i>Censado cooperativo.</i>	41
2.2.2.5	<i>Multiresolución y Wavellet.</i>	43
<b>CAPITULO III</b>		
3	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	44
3.1	<b>Tipo y diseño de Investigación</b>	44
3.2	<b>Métodos de investigación</b>	44
3.3	<b>Enfoque de la investigación</b>	45
3.4	<b>Alcance de la investigación</b>	45
3.5	<b>Técnicas de investigación</b>	46
3.6	<b>Planteamiento de la Hipótesis.</b>	46
3.7	<b>Determinación de las variables.</b>	46
3.8	<b>Operacionalización de las variables</b>	47
3.8.1	<i>Operacionalización conceptual</i>	47
3.8.2	<i>Operacionalización metodológica</i>	47
3.9	<b>Población de estudio</b>	48
3.10	<b>Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios</b>	55
3.11	<b>Instrumentos de recolección de datos primarios</b>	55
3.12	<b>Instrumentos para procesar datos recopilados.</b>	58
<b>CAPITULO IV</b>		
4	<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b>	59
4.1	<b>Diseño del algoritmo en Radio Definido por Software</b>	59
4.1.1	<b>NI USRP.</b>	61
4.1.1.1	<i>Funciones de configuración.</i>	61
4.1.1.1.1	<i>niUSRP Open Rx Session.</i>	61

4.1.1.1.2	<i>niUSRP Configure Signal</i> .....	62
4.1.1.1.3	<i>niUSRP Configure Number of Samples</i> .....	63
4.1.1.1.4	<i>niUSRP initiate</i> .....	63
4.1.1.2	Funciones de lectura.....	64
4.1.1.2.1	<i>niUSRP Fetch Rx Data ( Polymorphic)</i> .....	64
4.1.1.3	<i>Funciones de cierre</i> .....	65
4.1.1.3.1	<i>niUSRP Abort</i> .....	65
4.1.1.3.2	<i>niUSRP Close Session</i> .....	65
4.1.1.4	<i>Funciones de medición de espectro</i> .....	65
4.1.1.4.1	<i>SMT Basic Zoom Power Spectrum</i> .....	65
4.1.1.4.2	<i>SMT Power In Band</i> .....	67
4.1.1.4.3	<i>SMT Spectrum Unit Conversion</i> .....	68
4.1.1.5	<i>Funciones de probabilidad</i> .....	69
4.1.1.5.1	<i>Histogram</i> .....	69
4.1.1.5.2	<i>Continuos PDF</i> .....	70
4.1.1.5.3	<i>Continuos CDF</i> .....	71
<b>CAPITULO V</b>		
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>73</b>
<b>5.1</b>	<b>Indicadores generales del algoritmo realizado en USRP</b> .....	<b>73</b>
<b>5.2</b>	<b>Indicadores de evaluación del espectro radioeléctrico en las bandas VHF y UHF para uso potencial del estándar IEEE802.11af</b> .....	<b>76</b>
<b>5.2.1</b>	<b><i>Indicador 1</i></b> .....	<b>77</b>
<b>5.2.2</b>	<b><i>Indicador 2</i></b> .....	<b>80</b>
<b>5.2.3</b>	<b><i>Indicador 3</i></b> .....	<b>83</b>
<b>5.2.4</b>	<b><i>Indicador 4</i></b> .....	<b>86</b>
<b>5.2.5</b>	<b><i>Indicador 5</i></b> .....	<b>89</b>
<b>5.2.6</b>	<b><i>Indicador 6</i></b> .....	<b>92</b>
<b>5.2.7</b>	<b><i>Indicador 7</i></b> .....	<b>95</b>
<b>5.2.8</b>	<b><i>Indicador 8</i></b> .....	<b>98</b>
<b>5.2.9</b>	<b><i>Indicador 9</i></b> .....	<b>101</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>104</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b> Comparación entre la capacidad de transmisión para TVWS, 2.4Ghz y 5Ghz. ....	10
<b>Figura 2-2.</b> Arquitectura del estándar IEEE 802.11af. ....	11
<b>Figura 3-2.</b> Mapa de espacios en blanco WSM. ....	12
<b>Figura 4-2.</b> Consulta de espacios blancos para dispositivos fijos. ....	14
<b>Figura 5-2.</b> Consulta de espacios blancos para dispositivos portátiles. ....	15
<b>Figura 6-2.</b> Escenario 1, las estaciones GDD trabajan sobre el mismo TVWS. ....	22
<b>Figura 7-2.</b> Proceso especificado para MAC de un GDD dependiente. ....	23
<b>Figura 8-2.</b> Escenario 2, las estaciones GDD trabajan sobre el mismo TVWS. ....	24
<b>Figura 9-2.</b> Escenario 3, cada BSS tiene un canal diferente en TVWS. ....	24
<b>Figura 10-2.</b> Escenario 4.- Se trabaja en TVWS y en las frecuencias 2.4Ghz y 5GHz. ....	25
<b>Figura 11-2.</b> Formato de trama OFDM para TVHT PHY. ....	26
<b>Figura 12-2.</b> Asignación de 144 subportadoras para 6MHz. ....	28
<b>Figura 13-2.</b> Modos de canalización del Estándar IEEE 802.11af. ....	29
<b>Figura 14-2.</b> Mascara espectral para modo TVHT_mode_2N para un BCU de 6Mhz. ....	31
<b>Figura 15-2.</b> Ciclo cognitivo adaptado para radia cognitiva. ....	34
<b>Figura 16-2.</b> Curva característica de operación de un receptor ROC. ....	39
<b>Figura 1-3.</b> Espectro de frecuencia de una señal de TV en NTSC. ....	54
<b>Figura 2-3.</b> Diagrama de conexión para instrumentos de recolección de datos. ....	56
<b>Figura 3-3.</b> Diagrama interno de bloques de la NI USRP 2920. ....	57
<b>Figura 1-4.</b> Diagrama de flujo general del algoritmo realizado en USRP. ....	60
<b>Figura 2-4.</b> Categorías de referencia y funciones de LabView utilizadas para la USRP. ....	61
<b>Figura 3-4.</b> Función niUSRP Open Rx Sesión.vi. ....	61
<b>Figura 4-4.</b> Función niUSRP Configure Signal.vi. ....	62
<b>Figura 5-4.</b> Rutina para cambio de valor numérico correspondiente a la matriz de frecuencias. ....	63
<b>Figura 6-4.</b> Función niUSRP Configure Number of samples.vi. ....	63
<b>Figura 7-4.</b> Función niUSRP Initiative.vi. ....	63
<b>Figura 8-4.</b> Función niUSRP Fetch Rx Data.vi. ....	64
<b>Figura 9-4.</b> Función niUSRP Abort.vi. ....	65
<b>Figura 10-4.</b> Función niUSRP Close Session.vi. ....	65
<b>Figura 11-4.</b> Función SMT Basic Zoom Power Spectrum.vi. ....	65
<b>Figura 12-4.</b> Función SMT Power In Band.vi. ....	67
<b>Figura 13-4.</b> Función SMT Spectrum Unit Conversion.vi. ....	68

<b>Figura 14-4.</b> Función histogram.vi.....	69
<b>Figura 15-4.</b> Función Continuos PDF.....	70
<b>Figura 16-4.</b> Función Continuos CDF. ....	71
<b>Figura 1-5.</b> Parámetros de configuración para NI USRP 2920.....	73
<b>Figura 2-5.</b> Espectro general de potencia para las frecuencias desde 174MHz hasta 186MHz. Las flechas indican picos en 175.25MHz y 181.25MHz. ....	74
<b>Figura 3-5.</b> Espectro de potencia para el canal 2 como ocupado.....	74
<b>Figura 4-5.</b> Intensidad de potencia para el canal 2 ocupado. ....	75
<b>Figura 5-5.</b> Espectro de potencia para un canal libre (canal 45; 656 – 662 MHz).....	75
<b>Figura 6-5.</b> Intensidad de potencia para un canal libre (canal 45; 656 – 662 MHz). ....	76
<b>Figura 7-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona del Hospital Regional Ambato, Parroquia la Merced. ....	77
<b>Figura 8-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del Hospital Regional Ambato, Parroquia la Merced. ....	77
<b>Figura 9-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar , zona del Hospital Regional Ambato.....	78
<b>Figura 10-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona del puente Indoamérica, Parroquia la Merced. ....	78
<b>Figura 11-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del puente Av. Indoamérica, Parroquia la Merced.....	79
<b>Figura 12-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del puente Indoamérica	79
<b>Figura 13-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona de Ambato Tennis Club, Parroquia Ficoa. ....	80
<b>Figura 14-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de Ambato Tennis Club, Parroquia Ficoa. ....	80
<b>Figura 15-5.</b> Indicador de ancho de banda libre para utilizar con el estándar para la zona de Ambato Tennis Club. ....	81
<b>Figura 16-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona del Hospital IESS, Parroquia Atocha. ....	81
<b>Figura 17-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del Hospital IESS, Parroquia Atocha. ....	82
<b>Figura 18-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del Hospital IESS. ....	82
<b>Figura 19-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona de la Av. Aníbal Granja, Parroquia Celiano Monje. ....	83
<b>Figura 20-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de la Av. Aníbal Granja, Parroquia Celiano Monje. ....	83

<b>Figura 21-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de la Av. Aníbal Granja, Parroquia Celiano Monje. ....	84
<b>Figura 22-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para el redondel Rumiñahui, Parroquia Celiano Monje.....	84
<b>Figura 23-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para el redondel Rumiñahui, Parroquia Celiano Monje. ....	85
<b>Figura 24-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, redondel Rumiñahui, Parroquia Celiano Monje.....	85
<b>Figura 25-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona Santa Marianita, Parroquia Huachi Chico.....	86
<b>Figura 26-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona Santa Marianita, Parroquia Huachi Chico.....	86
<b>Figura 27-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona Santa Marianita, Parroquia Huachi Chico. ....	87
<b>Figura 28-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona redondel Policía, Parroquia Huachi Chico.....	87
<b>Figura 29-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona redondel Policía, Parroquia Huachi Chico. ....	88
<b>Figura 30-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona redondel Policía, Parroquia Huachi Chico. ....	88
<b>Figura 31-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona redondel Inst. Guayaquil Parroquia Huachi Loreto. ....	89
<b>Figura 32-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona redondel Inst. Guayaquil Parroquia Huachi Loreto. ....	89
<b>Figura 33-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona redondel Inst. Guayaquil, Parroquia Huachi Loreto. ....	90
<b>Figura 34-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona redondel Cumandá, Parroquia Huachi Loreto. ....	90
<b>Figura 35-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona redondel Cumandá, Parroquia Huachi Loreto.....	91
<b>Figura 36-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona redondel Cumandá, Parroquia Huachi Loreto. ....	91
<b>Figura 37-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona parque La Cantera, Parroquia La Matriz.....	92
<b>Figura 38-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona parque La Cantera, Parroquia La Matriz. ....	92

<b>Figura 39-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona parque La Cantera, Parroquia La Matriz. ....	93
<b>Figura 40-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona del parque Montalvo, Parroquia La Matriz. ....	93
<b>Figura 41-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del parque Montalvo, Parroquia La Matriz. ....	94
<b>Figura 42-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del parque Montalvo, Parroquia La Matriz. ....	94
<b>Figura 43-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona de la cancha Tres Juanes, Parroquia La Península. ....	95
<b>Figura 44-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de la cancha Tres Juanes, Parroquia La Península. ....	95
<b>Figura 45-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de la cancha Tres Juanes, Parroquia La Península. ....	96
<b>Figura 46-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona de la calle El Olmo, parroquia La Península. ....	96
<b>Figura 47-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de la calle El Olmo, parroquia La Península. ....	97
<b>Figura 48-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de la calle El Olmo, parroquia La Península. ....	97
<b>Figura 49-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona de Techo Propio, Parroquia Pishilata. ....	98
<b>Figura 50-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de Techo Propio, Parroquia Pishilata. ....	98
<b>Figura 51-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de Techo Propio, Parroquia Pishilata. ....	99
<b>Figura 52-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona de Santa Cruz, Parroquia Pishilata. ....	99
<b>Figura 53-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de Santa Cruz, Parroquia Pishilata. ....	100
<b>Figura 54-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de Santa Cruz, Parroquia Pishilata. ....	100
<b>Figura 55-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona de las calles Tomas Sevilla y Humberto Albornoz , Parroquia San Francisco. ....	101
<b>Figura 56-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de las calles Tomas Sevilla y Humberto Albornoz , Parroquia San Francisco. ....	101

<b>Figura 57-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de las calles Tomas Sevilla y Humberto Albornoz. ....	102
<b>Figura 58-5.</b> Indicador de canales libres y ocupados para la zona del parque Cevallos, Parroquia San Francisco.....	102
<b>Figura 59-5.</b> Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del parque Cevallos, Parroquia San Francisco. ....	103
<b>Figura 60-5.</b> Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del parque Cevallos, Parroquia San Francisco.....	103

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2.</b> Cuadro resumen para cada uno de los mecanismos GDD y tiempo .....	26
<b>Tabla 2-2.</b> Parámetros del estándar IEEE 802.11af para la capa PHY .....	27
<b>Tabla 3-2.</b> Parámetros OFDM para TVHT PHY en un canal simple. ....	28
<b>Tabla 4-2.</b> Factor de escalamiento para 40 MHz y 80MHz en los diferentes modos de canalización.....	30
<b>Tabla 5-2.</b> Niveles de sensibilidad mínimos para el receptor de TVHT.....	32
<b>Tabla 1-3.</b> Operacionalización conceptual de las variables .....	47
<b>Tabla 2-3.</b> Operacionalización metodológica de la hipótesis.....	47
<b>Tabla 3-3.</b> Cuadro resumen para canalización de bandas, grupos de canales, zonas geográficas y plan de distribución de canales para la provincia de Tungurahua.....	48
<b>Tabla 4-3.</b> Tabla Datos, Número de Estaciones Concesionadas de TV (TDT y Analógica) en la provincia de Tungurahua y por Tipo.....	51
<b>Tabla 5-3.</b> Número de Estaciones Concesionadas de TV en la provincia de Tungurahua y por Frecuencia. ....	51
<b>Tabla 6-3.</b> Listado completo de estaciones de radiodifusión sonora y televisión abierta en la Provincia de Tungurahua. ....	51
<b>Tabla 7-3.</b> Bandas de operación para autorizaciones temporales de TDT .....	53
<b>Tabla 8-3.</b> Número de Estaciones Concesionadas de TV Abierta (matrices y repetidoras) en la Provincia de Tungurahua y por tipo.....	54
<b>Tabla 9-3.</b> Especificaciones de recepción de la NI USRP 2920. ....	58



## INDICE DE ANEXOS

**Anexo A.** Algoritmo de Censado del espectro Diagrama de Bloques

**Anexo B.-** Algoritmo de Censado del espectro panel frontal

**Anexo C.-** Antena tipo Discono

**Anexo D.-** Fotografías de aplicación del algoritmo en la USRP

## RESUMEN

Se analizó y evaluó el espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencia asignadas a Televisión en VHF y UHF mediante un algoritmo realizado en radio definido por software en la NI USRP 2920 de National Instruments, en la zona Urbana del Cantón Ambato. Esta investigación empieza por describir la infraestructura del estándar IEEE 802.af establecida en sus componentes de la capa física y de control de acceso al medio, entendiendo que es parte de un grupo de estándares que pueden trabajar sobre los espacios de televisión en blanco TVWS, basados en dispositivos que necesitan de una base de datos de Geolocalización GDB y que tienen como elemento principal un mapa de espacios WSM. Para encontrar los espacios de televisión en blanco se realizó la evaluación del espectro radioeléctrico mediante la aplicación del método de detección de energía, con la característica de no discriminar ningún tipo de señal y enfocado a detectar la presencia de usuarios primarios y aplicado directamente sobre la portadora de video a 1.25MHz desde la parte inferior de la señal de televisión analógica. El algoritmo fue aplicado mediante una investigación de campo para cada una de las parroquias que forman parte de la zona urbana, en puntos de ubicación estratégicos con referencia al cerro Pilishurco que es el de mayor concentración de antenas repetidoras para transmisiones de televisión. Como conclusión, el algoritmo logró encontrar espacios en blanco con un promedio del 41,53% de ancho de banda disponible para implementar el estándar. Se recomienda que los resultados de los indicadores de espacios en blanco sean utilizados como base para la publicación de mapas de espacios en blanco WSM en los portales internacionales y de estudios prospectivos a nivel nacional.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <COMUNICACIONES INALÁMBRICAS>, <BASE DE DATOS GEOREFENCIADA (GDB)>, <ESPACIOS DE TELEVISIÓN EN BLANCO (TVWS)>, <ESTANDAR IEEE 802.11af>, <MAPA DE ESPACIOS EN BLANCO (WSM)>, <RADIO PERIFÉRICO DE SOFTWARE UNIVERSAL (USRP)>.

## **ABSTRACT**

For the present investigation the radio spectrum was analyzed and evaluated in the frequency bands assigned to television in VHF and UHF by means of an algorithm realized in radio defined by software in NI USRP 2920 of National Instruments in the urban area of Ambato canton. This research began with discovering the standard IEEE 802.11af infrastructure. It is established in its components of the physical layer and control of access to the medium. It is understood that this is a part of a set of standards that can work on the TVWS blank spaces that are based on devices that need a GDB Geo-location database and that have as main element a WSM space map. To find the blank television spaces, the evaluation of the radio-electric spectrum was carried out by applying the method of detecting energy with the characteristic of not discriminating any type of signal and focused on detecting the presence of primary users and applied directly on the video port a 1.25MHz from the bottom of the analog television signal. The algorithm was applied through a research field for each of the villages that are part of the urban area in strategic locations with reference to Mount Pilishurco that is the one with the highest concentration of repeating antennas for television transmissions. As a conclusion, the algorithm find blanks with an average of 41.53% of available bandwidth to implement the standard. It is recommended that the results of the white space indicators be used as the basis for the publication of WSM white space maps an international portals and prospective studies at the national level.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND SCIENCES ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <WIRELESS COMMUNICATIONS>, <GEOREFENCED DATABASE (GDB)>, <WHITE TELEVISION SPACES (TVWS)>, <IEEE 802.11af STANDARD>, <BLANK SPACE MAP (WSM)>, <UNIVERSAL SOFTWARE PERIPHERAL RADIO (USRP)>.

## CAPITULO I

### 1 INTRODUCCIÓN

Las diferentes enmiendas del estándar IEEE 802.11 han permitido que el rendimiento mejore significativamente. Desde sus inicios los grupos de trabajo del IEEE, comenzaron a realizar las diferentes tareas que caracterizaban a cada uno en el desarrollo específico de las capas física PHY y de enlace MAC. La versión original del estándar IEEE 802.11 apareció en el año 1997 y trabajaba en las bandas de frecuencia de 2,4 GHz y 5 GHz en las técnicas FHSS y DSSS. Desde entonces se ha ampliado a 900MHz, 3.7GHz y 60GHz, así como también el uso del espectro de televisión con espacios en blanco en UHF- VHF, técnicas como OFDM y la aplicación de radio cognitiva.

El estándar IEEE 802.11af comenzó a ser trabajado en un grupo dedicado a partir del año 2010, impulsado por el progreso que las regulaciones sobre los espacios de televisión en blanco TVWS fueron tomadas en cuenta por la FCC y que contemplaba la gestión del espectro.

Este estándar ofrece modificaciones a las capas PHY y MAC, con una arquitectura común para que un dispositivo de espacio en blanco WSD pueda trabajar sobre los TVWS sin que provoque ningún tipo de interferencia sobre otros usuarios.

Este trabajo plantea el análisis y evaluación del espectro radioeléctrico específicamente en las bandas de televisión en las frecuencias de UHF y VHF para la zona urbana del cantón Ambato, para llegar a conocer e identificar el comportamiento temporal que indique los espacios disponibles para el uso potencial del estándar IEEE 802.11af, para lo cual se describe todos los componentes que forman parte de la arquitectura del estándar y los diferentes métodos del censo del espectro.

En el capítulo I, se redacta el problema de la investigación, su planteamiento, su formulación, la sistematización, y su justificación, así como también todos los objetivos planteados y finalmente la hipótesis.

El capítulo II describe el estándar IEEE 802.11af. Su arquitectura que está formada principalmente por las GDB (Base de datos de Georeferenciación), el RLSS (Servidor seguro de

registros de ubicación), las GDD (Dispositivos dependientes de Geo bases) del tipo dependiente y habilitador. La GDB tiene como elemento principal el mapa de espacios en blanco WSM, indicando con un ejemplo este tipo de mapa que una de las grandes empresas en EEUU entregan a la comunidad.

Se describe los diferentes escenarios donde puede trabajar el estándar en mención y sus varios modos de operación en los espacios en blanco de televisión. Finalmente, algunos de los modelos de acceso dinámico al espectro, para llegar al de acceso jerárquico con los diferentes métodos de censado.

El capítulo III contiene el tipo, los diferentes métodos, enfoques y técnicas utilizadas para esta investigación. El instrumento de recolección de datos más importante es la NI USRP 2920, que es un transceptor de radio frecuencia que trabaja desde los 50MHz hasta los 2,2GHz.

En el capítulo IV se detalla el diseño del algoritmo desarrollado en la radio definida por software, con el método de censado del espectro basado en la detección de energía. La recolección de datos realizada a través de un monitoreo de tipo interactivo y mediante el establecimiento del umbral adecuado permitió conocer la presencia de señales y que son tomadas en cuenta para decidir si un canal está ocupado o libre mediante la probabilidad de detección.

Finalmente, el capítulo V muestra todos los resultados de la aplicación del algoritmo realizado en la USRP para el espectro en las diferentes zonas urbanas del cantón Ambato, dando como resultado la afirmación de la hipótesis planteada.

## **1.1 Problema de Investigación**

### ***1.1.1 Situación problemática***

El espectro radioeléctrico es un recurso natural de carácter limitado constituyendo un bien de dominio público (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016) , que necesita de una regulación prospectiva de forma local en cada una de las provincias del Ecuador, que permita afrontar de la mejor manera los cambios rápidos de tecnología y de los varios servicios que se ofrecen actualmente.

La concepción tradicional sobre el uso del espectro radioeléctrico conlleva a que solo se lo tome en cuenta como una separación de frecuencias, pero no considera factores como el tiempo y el

espacio que son verdaderamente importantes en las operaciones geográficamente limitadas e intermitentes. Existen espacios de espectro sin ser ocupados, pero no hay optimización en su uso siendo la compartición del espectro y específicamente de estos espacios en blanco una realidad que cada día está más cerca de lo que parece entre la industria y los entes reguladores de cada país.

Según informe CITDT-GATR-2012-005 que realiza un análisis de la asignación de frecuencias temporales para la implementación y pruebas de sistema de televisión digital terrestre en Ecuador, manifiesta que para la zona geográfica de Tungurahua y Cotopaxi existe 14 espacios disponibles (Grupo de aspectos técnicos y regulatorios TDT, 2012), pero que hasta el momento no han sido ocupados.

La Agencia de las Telecomunicaciones identifica en parte los espacios de espectro en televisión analógica, específicamente lo que se muestra son los canales y sus correspondientes frecuencias concesionadas a las estaciones de televisión, pero no lo correspondiente a cuantos espacios vacíos hay, considerando entonces que se trata de un conocimiento de carácter limitado.

La agencia cumple con la administración, control y regulación sobre el uso de las frecuencias en el espectro, pero no considera la optimización de recursos de espacio tomando en cuenta la disponibilidad temporal ni espacial para las diferentes zonas geográficas del país. De la información publicada para el ciudadano se limita muchos detalles técnicos que lograrían definir de mejor manera si el espacio de espectro es correctamente utilizado.

La reutilización de espectro no utilizado es entonces una alternativa que no se está considerando para el futuro de las tecnologías inalámbricas, más aun con el expansión de las basadas en el estándar IEEE 802.11, que desde que aparecieron en 1997 y con los diferentes grupos de trabajo a partir del 2002 han logrado mejorar las capacidades y servicios, garantizando mayor seguridad y compatibilidad hacia sus usuarios pero con una evolución que ha conllevado a que crezca enormemente su demanda haciendo que el espectro a lo largo del tiempo se congestione en las bandas que el estándar IEEE 802.11 tiene especificado.

El espectro que utiliza 2.4GHz y 5GHz, al no necesitar licencia de ningún tipo y más aun con equipos considerados fáciles de instalar han logrado que se congestione con mayor rapidez en comparación con el de la televisión analógica. Los espacios en blanco brindan la oportunidad de poder reutilizarlos con tecnologías inalámbricas basadas en las diferentes enmiendas de la IEEE, y estas tecnologías utilizan nuevas técnicas de radio que significativamente han comenzado a ser tomadas en cuenta por utilizar el software dinámico como alternativa de solución. El radio

definido por software es un concepto en madurez, que empieza a ser utilizado en los diferentes campos del mundo de las telecomunicaciones.

### ***1.1.2 Formulación del problema***

¿La no evaluación del espectro radioeléctrico mediante un algoritmo realizado en radio USRP imposibilita conocer el uso potencial del estándar IEEE 802.11af en la zona urbana del cantón Ambato?

### ***1.1.3 Sistematización del problema***

- ¿Porque analizar la arquitectura y funcionamiento del estándar IEEE 802.11af y los métodos de censado del espectro en el ciclo de radio cognitiva?
- ¿Cómo diseñar un algoritmo en USRP para el análisis de disponibilidad de espacios en blanco en el espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias de televisión analógica?
- ¿Cómo determinar mediante el algoritmo en radio definido por software los espacios en blanco en el espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias VHF Y UHF?
- ¿Cómo analizar el uso potencial del estándar IEEE 802.11af en el espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias VHF y UHF en el zona urbana del cantón Ambato?

## **1.2 Justificación de la investigación**

El análisis del espectro radioeléctrico es la base fundamental para la futura implementación de las nuevas tecnologías inalámbricas que siguen apareciendo con las muchas necesidades y requerimientos dinámicos de los usuarios, es por esta razón que este trabajo permite conocer e identificar el comportamiento temporal y espacial de los segmentos del espectro que pueden ser utilizados para un futuro despliegue de tecnologías inalámbricas que utilizan técnicas de radio cognitiva, específicamente de la tecnología basada en el estándar IEEE 802.11af, mediante la búsqueda de espacios vacíos en el espectro radioeléctrico en el rango de frecuencias asignados a las bandas VHF y UHF en la zona urbana del cantón Ambato a través de la utilización de radio definido por software .

El aporte de este proyecto es el de realizar un censado del espectro en la zona urbana del cantón Ambato para conocer el estado actual del espectro radioeléctrico y verificar si existen espacios en blanco de televisión. La búsqueda de espacios permite el análisis y la evaluación del espectro,

que son la base para la consumación de nuevas tecnologías de radio cognitiva y que utilizan métodos de asignación dinámica con características reconfigurables y adaptables a las diferentes exigencias del medio. Con las diferentes técnicas de censado del espectro, la complejidad del método y la capacidad de procesamiento de la señal se logra identificar de la mejor manera la presencia o ausencia de un usuario en cada canal, tomando en cuenta los parámetros típicos de los sistemas de telecomunicaciones tales como interferencias, ubicación, tipos de modulaciones, bandas de frecuencias que se encuentren utilizadas intensamente y congestionadas, entre otros.

La implementación de un algoritmo realizado en radio definido por software con la técnica de censado apropiada ayuda a encontrar los espacios en blanco del espectro logrando cumplir con parte del ciclo cognitivo, llegando a tener un punto de partida para realizar un cambio abrupto en la forma de acceso al espectro, incrementando la disponibilidad para nuevos servicios de comunicaciones inalámbricas.

Una asignación esquematizada y estática del espectro es un método ambiguo ante el cambiante método de acceso de las propias tecnologías, es así que para el uso más eficiente de este recurso se debe comenzar por analizar y conocer el verdadero estado del espectro como bien lo establece un ciclo cognitivo de radio en sus diferentes etapas.

El IEEE 802.11af conocido también como “White-Fi” o “Súper Wi-fi” forma parte de un grupo de estándares que tiene como objetivo el trabajar sobre los espacios en blanco de televisión técnicamente conocidos como TVWS (Lekomtcev & Marsálek, 2012). Estas frecuencias son tomadas en cuenta debido a que tienen excelente propagación en el medio y su pérdida por presencia de obstáculos, es considerada menor en relación a otro tipo de comunicaciones.

La explicación de la arquitectura, funcionamiento y componentes del estándar IEEE 802.11af va ligado con la aplicación de técnicas de censado del espectro, para que a futuro este conocimiento otorgue nuevas formas de asignación y gestión del espectro en cualquier parte de la provincia o también a nivel nacional.

Como el estándar 802.11af se basa la utilización de técnicas de radio cognitivas, la plataforma de radio definido por software ideal para este trabajo es el periférico USRP de National Instruments que trabaja en el rango de frecuencias que van a ser evaluadas. Adicionalmente junto con el paquete de comunicaciones de Labview, que ofrecen un sinnúmero de herramientas para ser explotadas en el sector de las telecomunicaciones y donde se involucran los de radio definido por software, aportando y promoviendo un tipo de prácticas y posibilidades de estudio del espectro radioeléctrico (National Instruments Corporation, 2017).



### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

- Analizar y evaluar el espectro radioeléctrico en las bandas VHF y UHF mediante un algoritmo realizado en radio USRP para un uso potencial del estándar 802.11af en la zona urbana del cantón Ambato.
- 

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Analizar la arquitectura y funcionamiento del estándar IEEE 802.11af y los métodos de censado del espectro en el ciclo de radio cognitiva.
- Diseñar un algoritmo en radio definido por software en una USRP para el censado del espectro radioeléctrico en las bandas VHF y UHF.
- Evaluar mediante el algoritmo el espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias de televisión VHF y UHF para conocer el uso potencial del estándar IEEE802.11af en la zona urbana del cantón Ambato

### **1.4 Hipótesis**

- La evaluación del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias VHF y UHF mediante un algoritmo realizado en radio definido por software en una USRP permite conocer el uso potencial del estándar 802.11af en la zona urbana del cantón Ambato.

## CAPITULO II

### 2 MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1 Estándar 802.11af

Es una modificación al estándar IEEE 802.11ac, que pasa a ser de alto rendimiento y que trabaja sobre los espacios en blanco del espectro de frecuencia asignado a los canales de TV. El estándar 802.11af especifica todas las modificaciones a las capas PHY y MAC del estándar 802.11 para que se cumpla todos los aspectos técnicos y legales con propósito de acceder y convivir sobre los recursos de espectro que estén en blanco o libres y que se pueden encontrar, asignados a las frecuencias en los cuales la televisión realiza sus transmisiones. En el espectro de frecuencias en los rangos asignados para las bandas de televisión, los espacios en blanco se les conoce como TVWS y un dispositivo que trabaja sobre estos espacios sin causar ningún tipo de interferencia es conocido como dispositivo de espacio en blanco WSD.

El Grupo de trabajo de la IEEE empezó a trabajar en el 802.11af en enero de 2010 para definir todo este tipo de modificaciones sobre las capas física (PHY) y de control de acceso al medio (MAC).

En cuanto a los espacios en blanco TVWS, la FCC (Federal Communications Commission) es la que contempla la gestión del espectro desde el 2004 con el propósito de garantizar la operación sin licencia en las bandas del espectro de televisión. A través de varios memorándums dentro de la industria, la FCC publicó normas y reglas que permitieron la utilización de las bandas en VHF y UHF para nuevos e innovadores productos y servicios de banda ancha en los espacios en blanco.

El documento FCC-12-36A1 de la FCC describe el tercer memorándum donde especifica estas reglas para que los dispositivos puedan trabajar en los TVWS, siendo las más nombradas las 47 C.F.R. § 15.711, 47 C.F.R. § 15.703 y 47 C.F.R. § 15.709 (Federal Communications Commission, 2012)

Como el estándar 802.11af es parte de la familia de los estándares 802.11, es necesario aclarar ciertos conceptos de estas enmiendas. Se parte entonces del IEEE 802.11n que apunta a brindar un rendimiento superior en comparación a los de las enmiendas IEEE 802.11b y IEEE802.11g en

cuanto a las velocidades de datos en las capas PHY y MAC, llegando a brindar una tasa promedio de 100Mbps y una máxima de 600Mbps.

Este estándar permite que mediante la utilización de múltiples antenas de diversidad variada junto con la utilización de OFDM se logre reducir la relación señal/ruido y la interferencia, aumentando la cobertura y la velocidad de transferencia de datos en el mismo ancho de banda de las enmiendas 802.11b y g. Este desarrollo de la capa PHY comenzó a ser denominada de alto rendimiento HT PHY que utiliza un ancho de 40 MHz y la multiplexación OFDM pasando a ser también de alto throughput mediante la ampliación de un protocolo de convergencia de capa PHY, el cual posee tres formatos que son: el NON\_HT, el formato mixto HT\_MF y el de campo HT\_GT.

1.- El formato NON\_HT, permite total compatibilidad con todos los dispositivos que cumplan con el estándar 802.11 debido a que hereda todas las tramas de estos dispositivos que son compatibles. Así también estos dispositivos no pueden usar multiantenas ni tampoco canales con ancho de banda de 40Mhz. Este formato utiliza en OFDM un total de 52 subportadoras y se podría considerar como un formato básico mandatorio como punto de partida para utilizar este tipo de multiplexación (Perahia, Cordeiro, Park, & Yang, 2010).

2.- El formato mixto HT\_MF, es utilizado para redes en las cuales los dispositivos necesitan utilizar una capa PHY de alto rendimiento y también en aquellos que heredan tramas, es decir en los que tienen formatos NON\_HT, detectando la frecuencia de portadora y la respectiva sincronización. En OFDM utiliza 56 subportadoras para un ancho de banda de 20Mhz, y se puede utilizar para un ancho de banda de 40Mhz simplemente con usar dos canales de 20 de forma adyacente, en cuyo caso la emisión de tramas de control lo realiza a través de un solo canal para lograr la interoperabilidad con aquellos dispositivos que heredan tramas. Para este caso entonces el número de subportadoras será de 102.

3.- El formato de campo HT\_GT, es aquel que no contiene el NON\_HT por lo tanto no es compatible con dispositivos que heredan tramas. Utiliza 114 subportadoras y opera con un ancho de banda de 40Mhz.

Entonces la utilización de las tecnologías de múltiple entrada y múltiple salida MIMO, junto con una transmisión beamforming y códigos de bloque de espacios de tiempo llevan a que el 802.11n llegue a tener una capa física de alto transferencia (HT\_PHY).

El estándar IEEE 802.11ac es una versión mejorada del IEEE802.11n, pero su enfoque va más a los 5Ghz, con MIMO de 8x8 multiusuario y con modulaciones en 256 QAM, llegando a tener

velocidades de hasta los 1300 Mbps. Trabaja con dos canales más de 80 y 160 MHz (o dos de 80MHz), aumentando el número de subportadoras para OFDM, convirtiendo a la modulación en más eficiente que admite adicionar más bits en cada unidad de tiempo.

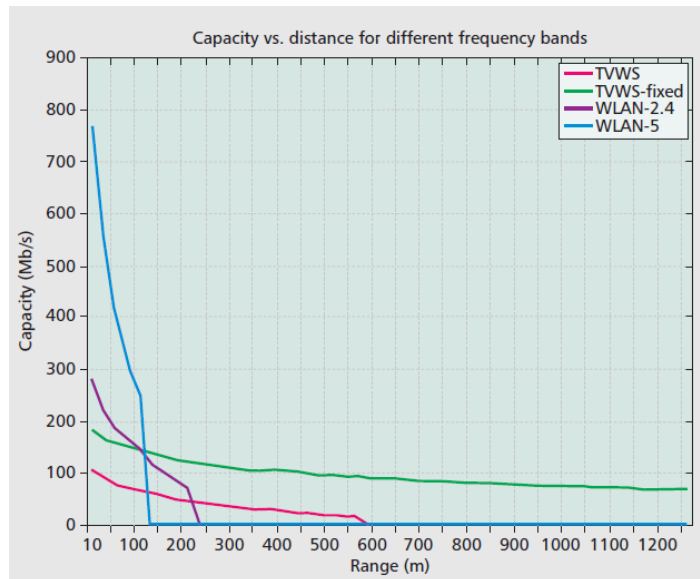
El ancho de banda para cada subportadora es de 312,5 KHz y logra transmitir hasta ocho flujos de datos espaciales. En cuanto al acceso al medio utiliza nuevas técnicas que le han permitido acceder de mejor manera, una de estas es el sondeo de canal libre CCA y que permite acceder al medio dependiente de cuanto ancho de banda se utilizó para transmitir. Con esta técnica cada canal puede ser considerado como primario o secundario, y que para determinar si el canal está libre, empieza a transmitir información a través del canal primario que puede ser de 20Mhz. También existen protocolos de gestión de ancho de banda de tipo dinámicos como son los RTS y los CTS, los cuales negocian los anchos de banda a utilizar para poder realizar la transmisión respectiva.

El estándar IEEE802.11af es una evolución del IEEE802.11ac que utiliza el HT\_PHY en sus diferentes formatos. Brinda un tipo de arquitectura común en cuanto a la operación y mecanismos necesarios para que un WSD pueda cumplir con todos y cada uno de las exigencias establecidas por los dominios reguladores de cada país en determinados tiempos y lugares que logre un eficiente funcionamiento sin que provoque interferencias sobre los dispositivos nativos del espectro.

Hay que considerar que los canales de estos espacios de espectro pueden ser pagados y asignados en base al cumplimiento de las exigencias respectivas establecidas por los entes reguladores de cada región, específicamente en las bandas UHF y VHF para televisión (Conatel, 2010).

Las frecuencias de UHF y VHF para televisión poseen una característica distinguida en los sistemas de telecomunicaciones, que es el de poder ser más tolerante a obstáculos presentes en la transmisión (NLOS). Los TVWS que están en este rango tienen una ventaja sobre las frecuencias ISM que utilizan los otros estándares IEEE 802.11, por ejemplo si se considera una pared de ladrillo con concreto de 203mm para las frecuencias de hasta 570 MHz puede tener una pérdida de 21.5db, pero para las frecuencias de 2Ghz las perdidas llegan hasta los 33dB, peor aún para frecuencias más altas, tal como la de 5,7Ghz que llega a tener una pérdida de 71.5dB (Stone, 1997).

Flores, Guerra, y Knightly (2013) realizan los cálculos necesarios que permiten hacer una comparación entre la capacidad y la distancia para las frecuencias de TVWS y las utilizadas para el IEEE 802.11, es decir 2.4Ghz y 5Ghz.



**Figura 1-2.** Comparación entre la capacidad de transmisión para TVWS, 2.4Ghz y 5Ghz.

Fuente: (Flores, Guerra, & Knightly, 2013)

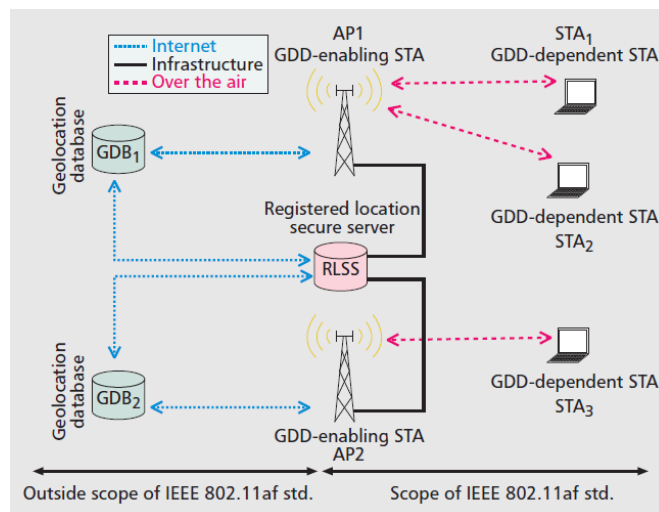
En la figura 1-2 se muestra que las distancias de cobertura son mayores para las frecuencias bajas, que en este caso son las de TVWS. Sus cálculos se basan en parámetros de propagación en el espacio libre. Para los TVWS ocupa una frecuencia de 518 MHz, una potencia de transmisión de 40 mW y un ancho de banda de 5,33 MHz llegando a un rango de cobertura de 600 metros aproximadamente; para los TVWS-fixed utiliza 192Mhz de frecuencia, una potencia de 4000mW y el mismo ancho de banda que los TVWS, llegando a cubrir más de 1Km. Entonces con un ancho de banda aproximado de 6Mhz, con 4W de potencia de transmisión en espacios en blanco se presenta una mejor propagación de señal con capacidad mayor y también con la gran ventaja de tener una señal NLOS.

Un WSD debe ser capaz de trabajar sobre un espectro desocupado y sin interferir con las frecuencias adyacentes, además debe poseer características dinámicas en cuanto a la ubicación, capacidad, ancho de canal y debe aprender bases de datos con georeferenciación aprobada y disponible de forma temporizada, teniendo la capacidad de terminar la transmisión cuando dicha base le informe que debe hacerlo.

Estas bases de datos georeferenciadas son los elementos principales que distingue al estándar 802.11af de los demás estándares. Es necesario entonces conocer la arquitectura de este estándar para comprender cada uno de sus elementos.

### 2.1.1 Componentes de la arquitectura del estándar 802.11af.

El estándar proporciona de forma general todos los mecanismos y protocolos necesarios para que exista coordinación en el acceso a los TVWS, así como también la interoperabilidad con otros dispositivos que utilizan este espectro. La figura 2-2 muestra los componentes del estándar IEEE 802.11af y la forma como un dispositivo puede acceder a ocupar los espacios TVWS y funcionar luego de cumplir con los protocolos requeridos, siendo el elemento básico el STA que es la estación inalámbrica.



**Figura 2-2.**Arquitectura del estándar IEEE 802.11af.

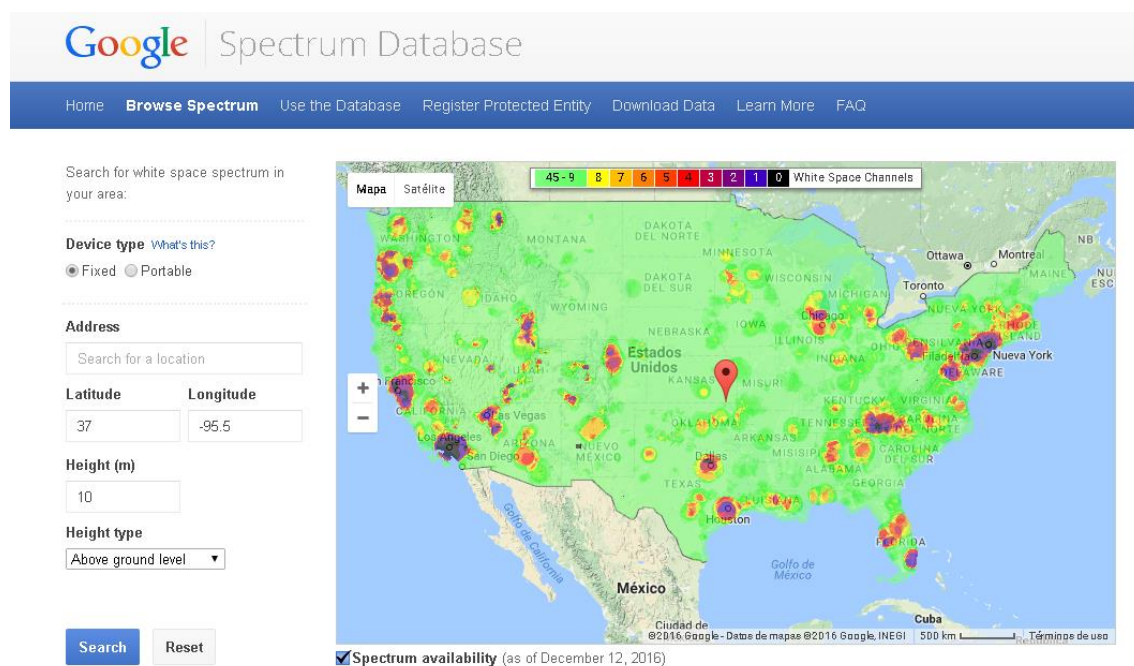
Fuente: (Flores, Guerra, & Knightly, 2013)

#### 2.1.1.1 Base de datos de Geolocalización (Geolocation Database GDB).

Es una base de datos que indica con ubicación geográfica las frecuencias y parámetros permitidos para que un WSD pueda trabajar sobre el espectro donde existen TVWS en el rango de frecuencias correspondientes a los asignados para las bandas de TV en UHF y VHF. Estas bases de datos deben ser certificadas por cada ente regulador del país o la región donde se vaya a utilizar los TVWS. Para el caso de Estados Unidos es la Oficina de Ingeniería y Tecnología (OET) de la FCC.

La información que contienen estas bases es recopilada de distintas maneras. Una es a través del registro que se debe efectuar sobre los denominados administradores de bases de datos de TVWS y cuyo permiso lo otorga la OET luego de cumplir con todos los requisitos y según los estipulan las reglas 47 C.F.R. § 15.701 et seq (Federal Communications Commission, 2013).

Los administradores de estas bases de datos que actualmente existen son: Google Spectrum Database (Google Inc., 2016) figura 3-2. Base de datos White Space de Spectrum Bridge Inc. (Spectrum Bridge Inc., 2016), Portal de espacios en blanco de Key Bridge LLC (Key Bridge LLC, 2016) y Base de datos de espacios en blanco de Iconectiv antiguamente Telcordia Interconnection Solution (iconectiv, inc., 2016).



**Figura 3-2.** Mapa de espacios en blanco WSM.

Fuente: (Google Inc., 2016)

Un WSM (mapa de espacios en blanco) es la lista de canales que se encuentran disponibles y plenamente identificados con sus valores respectivos de potencia y que son proporcionados por las diferentes GDB certificadas. Es necesario que cualquier dispositivo registre su información para que sea utilizada por los WSD a través de un WSM y mantener una GDB actualizada protegiendo a los operadores que tienen licencia, que pagaron por utilizar dichos espacios (especialmente en TV) y aquellos que no tienen licencia, como los propios WSD.

Un WSM debe poseer la siguiente información: La clase de dispositivo (GDD dependiente, GDD habilitador, GDD Access point, etc.), un identificador del mapa que indica si es un mapa completo o parcial, el número del canal relacionado con los requerimientos de operación de las bandas especificadas según las entidades reguladoras de cada país, el nivel máximo de potencia también especificado por la entidad reguladora de cada país (ej. FCC), la validación que indica el

número de canal disponible con su tiempo válido en minutos para transmitir con un nivel de potencia máximo y el ancho de banda máximo de cada canal.

La FCC establece 4 tipos de dispositivos WSD, los fijos, los portátiles modo I, los portátiles modo II y solo los que censan. Todos los dispositivos WSD sin importar su tipo de movilidad deben registrarse en la base de datos.

Los WSDs fijos, como su nombre lo especifica es de tipo estacionario y que generalmente utiliza una antena externa y mayor potencia para tener un rango de cobertura mayor, teniendo como ejemplo una antena montada en un edificio o un operador de video multicanal MVPD, puede transmitir máximo 1 vatio en uno o más canales identificados como espacios en blanco.

La ganancia de la antena es 6dBi hasta su potencia  $EIRP \leq 4W$ , no realiza el censado del espectro debido a que para su funcionamiento debe acceder a la GDB con una presión de  $\pm 50$  m, se lo puede considerar como un elemento habilitador y no debe interferir con canales adyacentes.

Un dispositivo WSD portátil otorga una potencia más baja de funcionamiento con un radio de cobertura menor, como un computador portátil o las estaciones de baja potencia conocidos popularmente como los micrófonos inalámbricos. Comúnmente operan en las frecuencias UHF de 512 MHz hasta los 608Mhz y desde los 614 MHz hasta los 698Mhz con una EIRP máxima de 100mW y estos WSD pueden estar en un canal adyacente pero únicamente con una  $EIRP \leq 40mW$ .

Estos dispositivos WSD portátiles pueden ser de dos tipos: Los WSD portátiles de modo I y los WSD portátiles de modo II. Los de modo I no necesariamente deben tener acceso a la GDB ya que pueden ser habilitados por el WSD portátil de modo II. Un WSD modo I puede transmitir en cualquier canal de TVWS de acuerdo a lo indicado por el WSD modo II y una vez que los dispositivos modo I entran en funcionamiento y permanezca dentro del área correspondiente los WSD de modo II deben enviar periódicamente una trama de verificación de contacto. Un WSD portátil de modo II es entonces un dispositivo habilitador que debe tener la capacidad de acceder a la GDB y también de geolocalización, un AP es uno de estos dispositivos (Baykas, y otros, 2012)

El otro de tipo de dispositivo es el WSD de censado, que puede ser fijo o móvil con la capacidad de detectar a los usuarios que pagaron licencia por ocupar el espectro y que pueden ser señales de tipo ATSC o analógicas en NTSC de TV hasta los -114 dBm y también señales producidas por micrófonos inalámbricos de hasta -107 dBm.







de registros de ubicación) y el segundo escenario también se comunica a través del internet, pero hacia un GDD-habilitador-STA

#### *2.1.1.2 Servidor seguro de registros de ubicación (Registered Location Secure Server RLSS).*

Es una GDB, pero de tipo local para un número menor de dispositivos STAs agrupados como una BSS (set básico de servicio) o como subredes, asumiendo que cada subred posee un solo AP. Un RLSS puede comunicarse con varias BSS siendo lo fundamental que este servidor distribuya toda la información que una GDB lo hace, es decir los parámetros necesarios de funcionamiento correctamente georeferenciados y con el cumplimiento de los requisitos establecidos por las entidades reguladoras de cada país.

Un RLSS se comunica y accede a una GDB mediante el acceso a internet, alimentando a los WSDs y obteniendo todos los datos para conocer los TVWS e intercambiar todos los WSM que estén actualizados. Puede también comunicarse con otras RLSS o con otras GDBs con el propósito de realizar consultas y actualizar las otras GDBs y no realizar duplicaciones de datos.

Todos los componentes que forman parte de la arquitectura IEEE 802.11af y que para su funcionamiento dependen o están controlados por las GDB o una RLSS se les denomina entidades dependientes de bases de datos georeferenciadas GDD (Geolocation-Database-Dependent Entities). La figura 2-2 muestra dos tipos de entidades GDD y que a continuación se explica cada una de ellas.

#### *2.1.1.3 Estación GDD de habilitación (GDD-enabling Station).*

Autoriza y controla el funcionamiento de las estaciones inalámbricas STAs en función de la información que le otorgue una GDB o una RLSS. Esta estación asegura la entrega de los WSM para que una STA que desee utilizar funcione con normalidad.

Esta estación se comunica de forma segura hacia la GDB manteniendo actualizados los WSMs y todos los parámetros que la base requiere, además crea y transmite la señal de verificación de contacto (CVS- Contact verification signal) que es enviada hacia la STA que se encuentra dentro de la BSS respectiva. Una señal CVS posee información en la que indica que, si el WSM fue recibido por parte del STA, así como si un STA está dentro del rango de la estación GDD de habilitación, si un WSM es válido para el STA y también comparte la comprobación de canales

disponibles. Al hacer referencia a los tipos de WSDs, una estación GDD de habilitación puede ser WSD de tipo fijo o los WSD portátiles de modo II.

#### *2.1.1.4 Estación GDD dependiente (GDD-dependent Station).*

Es un dispositivo WSD de tipo portátil modo I, es la estación STA o usuario final y que al ser varios forman una BSS. Su funcionamiento depende de los WSM y de los parámetros que la estación GDD de habilitación le otorgue, comunicándose con ésta mediante comunicación inalámbrica.

Una estación GDD dependiente, una vez que recibe un CVS transmitida desde su estación GDD de habilitación y que le proporcionó un WSM, procede a verificar si el WSM ha cambiado o no. Esto lo realiza mediante una comparación entre los ID de campo en la respectiva trama de CVS, si son iguales, la estación GDD dependiente asume que su WSM es válido y es habilitado para funcionar por un tiempo hasta que nuevamente se realice una nueva comparación entre ID. Si los ID de campo son diferentes el WSM no es válido porque la información ha cambiado, entonces la estación GDD dependiente debe transmitir una trama de solicitud para consultar la disponibilidad de canales y recibir de respuesta un WSM actualizado. En caso de no recibir un WSM actualizado, la estación GDD dependiente inmediatamente debe dejar de transmitir para evitar posibles problemas de interferencia.

La señal de verificación de contacto es parte del protocolo de consulta de registro de localización RLQP (Register Location Query Protocol) que permite compartir el WSM y el uso actual del canal entre la estación GDD de habilitación y todas las estaciones GDD dependientes. Este protocolo es característico del estándar IEEE 802.11af razón por la cual depende directamente de la entidad reguladora de cada país.

#### *2.1.1.5 Protocolo de consulta de registro de localización (Registered Location Query Protocol RLQP).*

Es un protocolo que accede a recuperar la información desde el servidor RLSS y que permite también que las estaciones tanto dependientes como habilitantes compartan la información correspondiente a la CAQ (Channel Availability Query), Channel Schedule Management (CSM), Network Channel Control (NCC) e identificador de los dispositivos.

Si este protocolo es transmitido entre la estación GDD habilitadora y el RLSS, lo hace mediante la utilización de una trama tipo Ethertype 890-d (IEEE Standards, 2017), que es utilizado para transportar información entre redes 802.11; y si el RLQP se transmite entre una estación GDD dependiente y una estación GDD habilitadora utiliza tramas encriptadas.

### **2.1.2 Capa MAC**

La figura 2-2 muestra que la GDB se comunica hacia un RLSS y una estación GDD habilitadora de forma bidireccional mediante el uso del servicio de internet, sin importar los protocolos ni la infraestructura que el internet utiliza para establecer la comunicación, dando entonces a entender que el estándar IEEE 802.11af no tiene alcance sobre dicha infraestructura. La comunicación de forma bidireccional entre la estación GDD habilitadora y la RLSS la hace a través de la infraestructura que sí está al alcance del estándar. Otra parte de la arquitectura que engloba el estándar es la comunicación que se establece entre las estaciones GDD habilitantes y las GDD dependientes, la cual la hacen mediante la utilización del aire como medio de transmisión dentro de los TVWS o también dentro de las bandas de 2.4 GHz y 5GHz de acuerdo del STA que se utilice.

Una estación GDD habilitadora hace una actualización de ubicación geográfica a través de la RLSS y la GDB cada 60 segundos. Si una estación GDD habilitadora ha cambiado de posición a un radio máximo de 100 metros desde su última consulta, también debe ponerse en contacto con la base de datos GDB para solicitar nuevamente los datos correspondientes a la disponibilidad de espectro.

Pueden existir GDD habilitadoras de tipo portátil, como por ejemplo una AP móvil, para lo cual el intercambio de mensajes con la base de datos debería ser constante e intenso. El hecho del intercambio constante de datos podrá hacer que la base de datos defina un histórico del área, delimitada por los sitios consultados con el uso de espectro común lo que permitirá una opción de respuesta más certera hacia nuevas consultas.

La relación entre las estaciones GDD habilitadoras y las GDD dependientes deben mantenerse bajo control siempre y el estándar 802.11af establece tres mecanismos de control que garanticen dicha relación.

#### *2.1.2.1 Mecanismo de control 1.*

Debe existir una señal de activación o de habilitación emitido por el GDD habilitador. El dispositivo GDD dependiente de forma obligatoria no puede emitir ningún tipo de señal al aire si no ha recibido la señal de habilitación por parte de un GDD habilitador que le autorice comenzar a trabajar. El GDD de habilitación envía señales guía que anuncian los TVWS y de esta forma los dispositivos dependientes una vez que las reciben empiezan a realizar las negaciones necesarias para establecer su proceso de funcionamiento.

#### *2.1.2.2 Mecanismo de control 2*

La señal CVS que crea y transmite la GDD de habilitación, como fue explicado anteriormente, a más de enviar la señal de verificación de contacto con la información valedera de un WSM asegura que un dispositivo GDD dependiente se encuentre dentro del alcance de recepción de la estación GDD de habilitación mediante el intercambio temporizado de una señal unicast hacia cada una de las estaciones GDD dependientes cada 60 segundos.

La señal CVS en el estándar IEEE802.11af establece dos mecanismos adicionales para controlar la relación entre las estaciones, que le permiten coordinar y mitigar cualquier tipo de interferencia debido a que están relacionados con la RLSS, estos mecanismos son la CSM y la NCC.

##### *2.1.2.2.1 CSM (Channel Schedule Management- gestor de programación de canales).*

Existen dispositivos GDD que funcionan en un horario establecido, como por ejemplo un AP en una institución educativa o una estación de TV que funcionan durante todo el día excepto en la madrugada, o puede ser un evento cultural musical que puede utilizar varios micrófonos inalámbricos que pueden tardar apenas un par de horas. Es necesario entonces que una estación GDD de habilitación conozca este tipo de horarios de trabajo que van a tener todos los dispositivos que se involucren en la utilización del espectro en las bandas de TV.

La GDB posee este tipo de información, y la entidad solicitante de la CSM que obligatoriamente es una GDD habilitadora, la adquiere a través de la RLSS. Ésta información tiene un tiempo de caducidad de hasta 48 horas y el dispositivo GDD habilitador lo almacena en caso de pérdida de acceso a la GDB, con esto se asegura que el espectro está disponible en los periodos de tiempo ya establecidos por los propios dueños de las frecuencias.

Un GDD dependiente no puede realizar solicitudes de consulta CSM, solo trabaja según el horario indicado por la GDD habilitadora, es así que tanto el RLSS como el GDD habilitador deberán coordinar el acceso de dichos usuarios dependientes para que no existan interferencias.

Un GDD habilitador en caso de que no pueda acceder a un RLSS o la GDB, puede comunicarse con otro GDD habilitador que, si tiene acceso para realizar la consulta del CSM, pero de la misma forma puede rechazarlo en caso que no tenga la capacidad para entregar dicha información

#### 2.1.2.2.2 NCC (*Network channel control- control de canal de red*).

Su función principal es la de gestionar el espectro en función de la frecuencia debido a que posee información sobre todas las frecuencias de los canales y de sus respectivas máscaras espectrales. Sigue la misma arquitectura, es decir, poseer estaciones solicitantes y estaciones de respuesta, la estación solicitante del NCC es por lo general el GDD dependiente y la estación de respuesta del NCC es la GDD habilitadora.

El NCC administra los canales para que un GDD dependiente opere mediante el envío de mensajes permitiendo que la estación de respuesta NCC controle el uso de frecuencias en las bandas de TV de los canales WLAN de una estación NCC solicitante.

El primer mensaje es enviado por la estación solicitante del NCC donde envía su identidad y solicita información NCC. La estación solicitante de la NCC puede seleccionar sus frecuencias preferidas a partir de la información de su WSM adquirido con anterioridad y solicitar su uso. El mensaje enviado por la estación de respuesta NCC devuelve el resultado con la información total de los canales en VHF y UHF, concediéndole o no el permiso para el uso de las frecuencias seleccionadas de TV por varios canales de la red WLAN a la estación solicitante del NCC mediante la trama de respuesta de NCC. Al responder, la estación de respuesta NCC proporciona la confirmación del uso de los canales TVWS para los canales de red WLAN y sus limitaciones de potencia.

Una estación solicitante de NCC que emplea el protocolo RLQP puede enviar una trama NCC al RLSS para solicitar sus frecuencias que podrían utilizarse en base a los WSM para canales de red WLAN.

Después de que recibe la trama con el protocolo RLQP, la estación de respuesta del NCC reenvía la petición NCC a la RLSS. Una vez que la RLSS recibe la solicitud NCC, éste responde y envía

una respuesta NCC a través de la estación de respuesta NCC entregando de igual forma la confirmación de los canales de la red WLAN y los niveles de potencia de transmisión que pueden ser utilizados sobre los TVWS.

Los canales de la red WLAN que el RLSS o que la estación de respuesta NCC confirman podrían ser los mismos canales de red que aparecen en la trama de solicitud de la estación solicitante NCC o un subconjunto de la lista en la trama de solicitud de NCC.

Cuando el WSM ha cambiado debido a la actualización de la información de la base de datos o la detección de las principales señales de servicio, la estación solicitante del NCC podrá transmitir la trama de solicitud del NCC nuevamente.

### *2.1.2.3 Mecanismo de control 3.*

El proceso de consulta de disponibilidad de canales CAQ (Channel availability query) lo puede realizar tanto una estación GDD dependiente o una GDD habilitadora, esto depende de quién inicie el proceso de consulta, la cual es designada como estación CAQ solicitante y la que responde como estación CAQ de respuesta.

La estación CAQ solicitante envía la solicitud con el propósito de obtener una lista de los canales válidos hacia la CAQ de respuesta, la cual le responde con dicho listado, pero previa verificación y asociación.

Una estación CAQ que solicita la consulta en primera instancia debe identificarse con un formato de trama denominado elemento RLQP-CAQ que revela la dirección MAC de la estación solicitante, la dirección MAC de la CAQ que responde, el código de razón donde conste el motivo de la consulta CAQ, el resultado de éxito o no, la información de consulta del canal que puntualice el número, localización del dispositivo, la clase de dispositivo como por ejemplo GDD AP o fijo, identificación del dispositivo donde se especifique la entidad reguladora del país en el cual va a funcionar e incluidos todos sus parámetros, información de la localización del dispositivo tal como la longitud, latitud, altitud y la información del WSM que incluye los canales de radio frecuencia obtenidos a través de la GDB.

Es común considerar que la estación CAQ solicitante es una estación GDD dependiente por el hecho de que necesita siempre realizar este tipo de consulta para entrar en funcionamiento, por tanto, la estación CAQ de respuesta será la estación GDD habilitadora. Una estación CAQ de



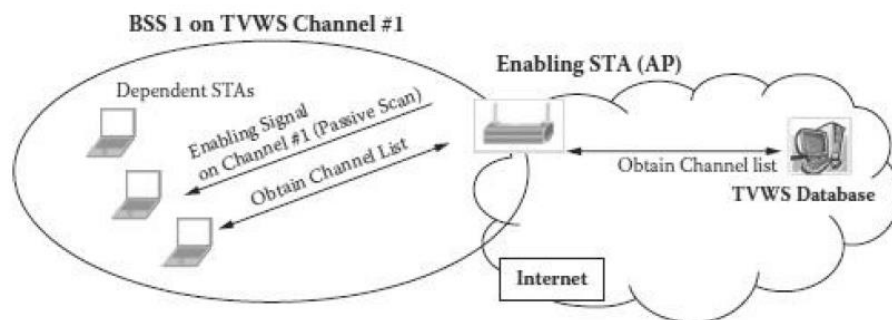
respuesta genera la información de respuesta con resultados obtenidos por una consulta realizada hacia una base de datos GDB o una RLSS.

El elemento RLQP-CAQ también es el formato de trama que una CAQ de respuesta utiliza para responder a su CAQ solicitante, considerando que las direcciones MAC deben corresponder a las estaciones adecuadas, el código de razón indique si la consulta fue aprobada, rechazada o con falla y el resto de campos que contenga similar información.

Una estación GDD de habilitación del mismo modo puede realizar el proceso de CAQ solicitante cuando necesite actualizar su disponibilidad de canal si su posición de geolocalización ha realizado un cambio de movilización más allá de la distancia permitida, así como también cuando ha ocurrido un tiempo de validez extenso desde su última consulta o si un canal habilitado pasa a un estado diferente.

#### 2.1.2.4 Escenarios de funcionamiento de una GDD dependiente.

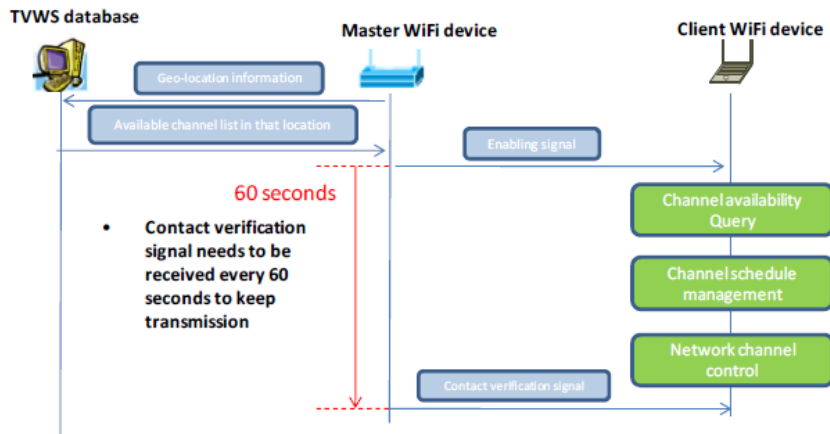
El estándar 802.11af describe cuatro tipos de escenarios en los cuales se puede trabajar en TVWS. El primer escenario se muestra en la figura 6-2 donde la estación GDD dependiente y la GDD habilitadora trabajan sobre el mismo canal TVWS.



**Figura 6-2.** Escenario 1, las estaciones GDD trabajan sobre el mismo TVWS.

Fuente: (Saeed & Stephen, 2011)

En la figura 7-2 se muestra el proceso mediante el cual una estación GDD dependiente queda habilitada para entrar en funcionamiento y donde se involucran todos los elementos que hasta el momento se ha descrito.



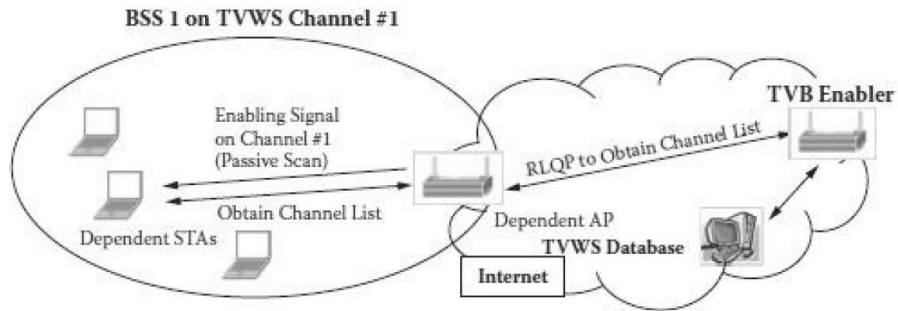
**Figura 7-2.** Proceso especificado para MAC de un GDD dependiente.

Fuente: (Lan, Mizutani, Villardi, & Harada, 2013)

De acuerdo a la figura 7-2 se parte del hecho de que una estación GDD dependiente se encuentra deshabilitada y no puede transmitir ningún tipo de paquetes, pero mientras tanto una estación GDD habilitadora empieza a acceder de forma directa a la GDB, para registrar, solicitar la información necesaria y obtener la lista valida de canales disponibles junto con el WSM. La base de datos realiza el respectivo análisis con toda la información técnica necesaria para la asignación de los recursos de espectro y responde a la estación GDD solicitante.

La estación GDD de habilitación entra en un escaneo pasivo de verificación de los parámetros recibidos por la base de datos y posteriormente envía una señal de verificación hacia la estación GDD dependiente. Desde este momento la estación GDD dependiente empieza a habilitarse, pero todavía no puede emitir ningún tipo de señal. Realiza las consultas de CAQ, NCC y CSM hacia la estación GDD habilitadora y si finalmente recibe una respuesta de habilitación la GDD dependiente queda habilitada y empieza a transmitir bajo los parámetros establecidos de acuerdo a los mecanismos de control.

La figura 8-2 muestra el segundo escenario para trabajar en TVWS, donde el AP no accede directamente a la GDB sino realiza la consulta al RLSS, en este caso el AP pasa a ser una estación GDD dependiente de la respuesta del RLSS y teniendo ésta información volverá a ser una estación GDD habilitadora. Una vez que el AP tenga la información necesaria realiza el mismo proceso del escenario 1 hacia la estación cliente o GDD dependiente.

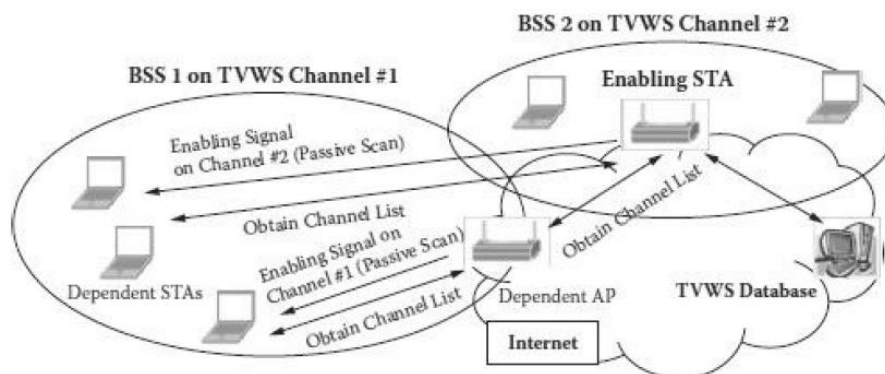


**Figura 8-2.** Escenario 2, las estaciones GDD trabajan sobre el mismo TVWS.

Fuente: (Saeed & Stephen, 2011)

El tercer escenario en la figura 9-2, indica que dos BSS cada uno con sus clientes STA y canales TVWS diferentes, un AP que realiza las funciones de estación GDD habilitadora-dependiente, una estación GDD habilitadora y mediante la infraestructura de internet para llegar a la GDB. Tanto el AP como la estación GDD habilitadora son dispositivos WSD portátiles de modo II.

Una BSS puede trabajar en un canal con TVWS diferente al que está funcionando en la estación GDD habilitadora. El AP que realiza las funciones de estación GDD habilitadora-dependiente, pasa a ser dependiente cuando opera bajo el control de la estación GDD habilitadora que se encuentra en el otro canal TVWS y se vuelve habilitador cuando emite la señal oportuna de habilitación a los STA que se encuentran en el otro canal con TVWS. Las STA se encuentran siempre en estado pasivo y pendientes de recibir la señal habilitadora ya sea de parte del AP o de la estación GDD habilitadora, considerando que la información proporcionada por los dos dispositivos debe ser coordinada ya que el AP al no tener acceso directo a la GDB obtiene la lista de canales disponibles del GDD habilitador. Dependiente del tipo de infraestructura presente, la estación GDD habilitadora puede realizar la consulta a través de un RLSS tal como lo realiza en el escenario 2.

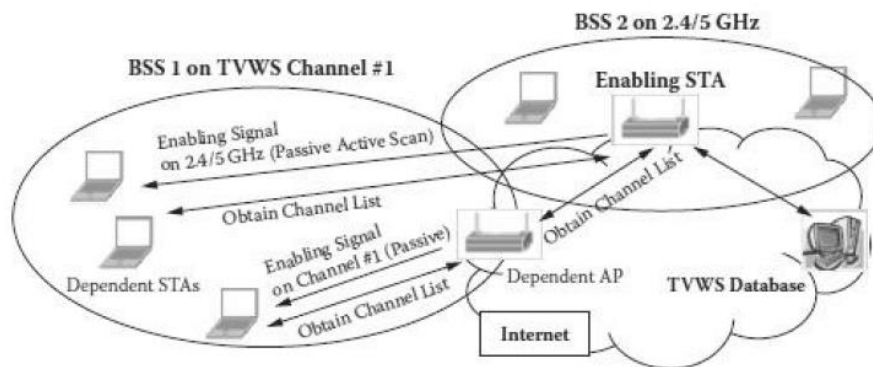


**Figura 9-2.** Escenario 3, cada BSS tiene un canal diferente en TVWS.

Fuente: (Saeed & Stephen, 2011)

En el escenario 4 la estación GDD habilitadora y las STA trabajan en las frecuencias ISM y también en los canales de TVWS. Una GDD habilitadora debe tener interfaces para trabajar sobre las frecuencias ISM y enviar señales habilitadoras a las STA en las mismas frecuencias o en canales TVWS. En el otro BSS el AP trabaja en el canal que tiene TVWS junto con sus STA. El AP es de tipo habilitador-dependiente, debido a que habilita a las STA en el TVWS y dependiente porque para acceder a la GDB necesita de la estación GDD habilitadora que trabaja en ISM y TVWS.

En la BSS que trabaja en ISM, existe escaneo pasivo y activo en las bandas de 2.4Ghz, pero solo de tipo pasivo para los 5Ghz y TVWS. Un GDD habilitador que trabaje con los canales ISM y en TVWS puede realizar la consulta directa a la GDB como lo muestra la figura 10-2 o si fuere el caso a una RLSS.



**Figura 10-2.** Escenario 4.- Se trabaja en TVWS y en las frecuencias 2.4Ghz y 5GHz.

Fuente: (Saeed & Stephen, 2011)

### 2.1.3 Resumen de mecanismos GDD y tiempos

**Tabla 1-2.** Cuadro resumen para cada uno de los mecanismos GDD y tiempo

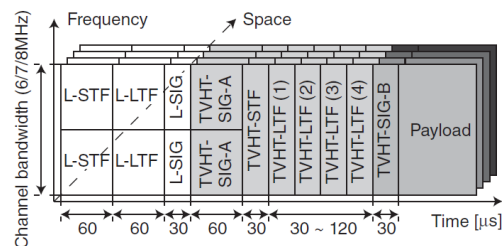
Mecanismo	Tipo de consulta requerida		Minutos de capacidad de respuesta
	Diaria	Cada hora	
CAQ - Consulta de disponibilidad de canales	Informativo	Informativo	No aplica
CSM - Gestor de programación de canales	Informativo	Informativo	No aplica
CVS - Señal de verificación de contacto	Requerido por seguridad	Requerido por seguridad	Pérdida de tramas consecutivas requiere acción
GDD habilitadora	Requerido	Requerido	Requerido
NCC - Control de canal de red	Informativo	Informativo	No aplica
WSM - Mapa de espacios en blanco	Requerido para la GDD habilitadora, puede ser utilizado para la GDD dependiente	Requerido para la GDD habilitadora, puede ser utilizado para la GDD dependiente	Requerido para la GDD habilitadora, puede ser utilizado para la GDD dependiente

Fuente: (IEEE Standards Association, 2013)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

### 2.1.4 Capa física

El estándar 802.11af utiliza OFDM teniendo como punto de partida la capa de alto rendimiento HT PHY (Perahia, Cordeiro, Park, & Yang, 2010), que apareció con la enmienda 802.11n y su posterior evolución con la 802.11ac, llegando a tener una capa de muy alto rendimiento para TV denominada TVHT PHY por trabajar en el ancho de banda designado para TV (6 MHz) y tener modos de funcionamiento en 20, 40, 80 y 160 MHz siendo el formato para su trama el que se muestra en la figura 11-2, con un diseño enfocado a ser más robusto y compatible con los estándares 802.11 anteriores (Lan, Mizutani, Villardi, & Harada, 2013).



**Figura 11-2.** Formato de trama OFDM para TVHT PHY.

Fuente: (Holland, Bogucka, & Arturas, 2015)

Sus campos son de tipo heredados L (legacy), de carga (payload) y que tienen el formato NON\_HT, que le permite ser compatible y heredar tramas de otros estándares 802.11. Los campos que forman la trama TVHT PHY son : L-STF (Legacy-Short Training Field NON-HT) y L-LTF (Legacy-Long Training Field NON-HT) secuencia de símbolos OFDM heredados tipo corto y largo respectivamente con duración de 60  $\mu$ seg, utilizados para la sincronización de temporizadores y advertencia de inicio de transmisiones; L-SIG (Legacy- Signal field) que es la señal tipo heredada que indica la duración de la información; TVHT-SIG-A (TVHT Signal A) y TVHT-SIG-B (TVHT Signal B) duran 60  $\mu$ seg y 30  $\mu$ seg respectivamente e indican particularidades que ayudan a interpretar la trama; TVHT-STF( TVHT Short training field) con duración de 30  $\mu$ seg, identifica parámetros de control para que la información no se repita; TVHT-LTF (TVHT-Long training field) utilizado para la estimación y la demodulación del resto de la trama y de los de carga.

El formato NON\_HT, permite total compatibilidad con todos los dispositivos que cumplan con el estándar 802.11 debido a que hereda todas las tramas de estos dispositivos que son compatibles.

**Tabla 2-2.** Parámetros del estándar IEEE 802.11af para la capa PHY

Máximo retardo de propagación	Para interior: hasta los 100m : es < 1 useg ; Exterior en km es : 1 a 10useg							
Tamaño de la FFT	64,128,144,256; opcional 512 y 1024							
Ancho de banda (MHz)	6, 10, 20, 40, 80, 160(80+80)							
Método de acceso	OFDM							
Técnica de modulación	BPSK	BPSK	QPSK	QPSK	16-QAM	16-QAM	64-QAM	64-QAM
Código convolucionales. Tasa de codificación	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
Bits codificados por la subportadora	1	1	2	2	4	4	6	6
Bits codificados por símbolo OFDM	48	48	96	96	192	192	288	288
Bits de datos por cada símbolo OFDM	24	36	48	72	96	144	192	216
Tasa de bits (Mbps) en TVWS para 20Mhz	6	9	12	18	24	36	48	54
Tasa de bits (Mbps) en TVWS para 10Mhz	3	4.5	6	9	12	18	24	27
Tasa de bits (Mbps) en TVWS para 6Mhz	1.5	2.25	3	4.5	6	9	12	13.5

Fuente: (IEEE Standars Association, 2013)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La tabla 2-2. indica un resumen de los parámetros que utiliza este estándar en la capa PHY y en la figura 12-2 se indica un ejemplo sobre la asignación de las subportadoras en el canal de 6MHz, donde se tiene un total de 144 subportadoras, pero de las cuales 108 es la carga útil.

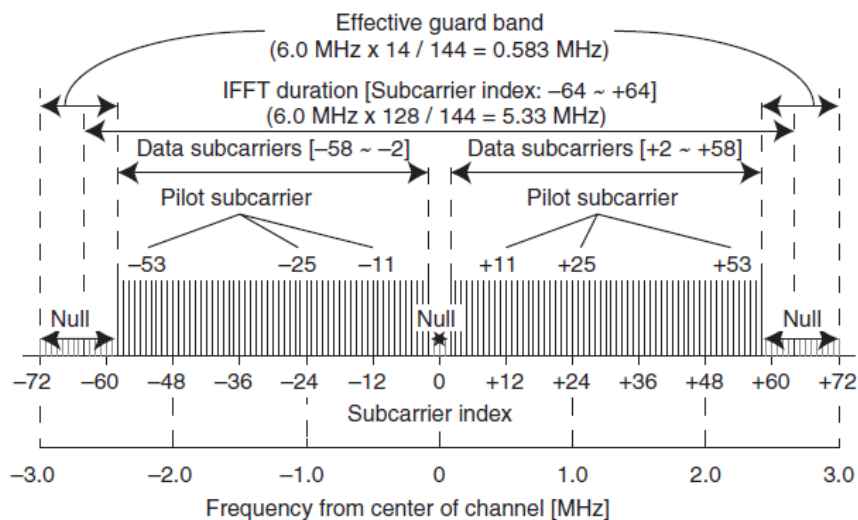
**Tabla 3-2.** Parámetros OFDM para TVHT PHY en un canal simple.

Descripción	Parámetro
Tamaño de la FTT ( número de subportadoras)	144
NSD, Número de subportadoras carga útil.	108
NSP, Número de subportadoras piloto	6
Espaciamiento de frecuencia subportadora (en MHz). Espaciamiento de canal / Tamaño de la FTT	6MHz/144
FTT/IFFT periodo	24useg
Longitud del intervalo de guarda	6useg

Fuente: (Lan, Mizutani, Villardi, & Harada, 2013)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

En la tabla 3-2 se muestra los parámetros de OFDM de la TVHT PHY de estas subportadoras para cuando opera en un canal simple.



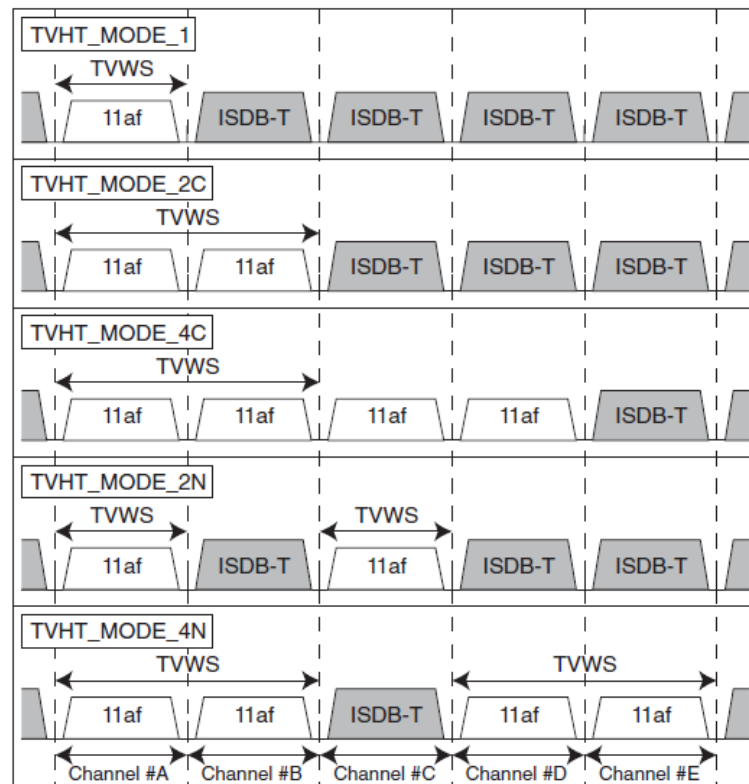
**Figura 12-2.** Asignación de 144 subportadoras para 6MHz.

Fuente: (Holland, Bogucka, & Arturas, 2015)

En UHF para un dispositivo portátil que puede ser modo I o modo II, donde se considera que la potencia de transmisión es menor a los 100mW, el intervalo de guarda considerado por el estándar es de 6  $\mu$ seg, igualmente el ancho de banda efectivo será de  $6\text{Mhz} \times 128/144 = 5.33\text{MHz}$  del total disponible, llegando a tener un espaciamiento de más de 0.275MHz a cada lado.

Para la utilización en varios canales o de tipo multicanal por tratarse de los TVWS no necesariamente existen canales libres que se encuentren de forma continua. Es así que para la canalización del estándar se tiene cinco modos de operación los cuales son aplicables a todos los dominios reguladores (6,7 y 8 MHz).

La figura 13-2 muestra estos modos de canalización que un dispositivo con TVHT debe tener la capacidad de realizar, comprendido por los BCU (unidades básicas de canal) continuos o discontinuos con el fin de aumentar la tasa de transmisión y considerando que se puede utilizar MIMO.



**Figura 13-2.** Modos de canalización del Estándar IEEE 802.11af.

Fuente: (Holland, Bogucka, & Arturas, 2015)

La arquitectura de la capa física en el estándar 802.11 establece comunicación con la capa MAC mediante la utilización del protocolo de convergencia PLCP, y adicionalmente el protocolo PPDU (Physical Protocol data unit) permitiendo la sincronización entre las estaciones transmisora y receptora.

El protocolo 802.11af mediante la utilización de un NON-HT también debe utilizar y soportar todos los formatos de estos protocolos. Un dispositivo con TVHT en una BSS debe operar en los modos de canalización explicados en la figura 13-2, pero al momento de transmitir la trama la forma que especifica el protocolo PPDU sobre el ancho de canal pueden ser distintos a los



explicados. Es así que el para el PPDU el tipo de canalización es idéntico al explicado en la figura 13-2 pero con nomenclatura diferente. La TVHT\_W en tipo PPDU es TVHT\_mode\_1, TVHT\_2W en tipo PPDU es TVHT\_mode\_2C, TVHT\_W+W en tipo PPDU es TVHT\_mode\_2N, TVHT\_4W en tipo PPDU es TVHT\_mode\_4C, TVHT\_2W+2W en tipo PPDU es TVHT\_mode\_4N.

Los dispositivos TVHT pueden soportar distintos anchos de banda, y su transmisión dependerá si el otro dispositivo TVHT puede soportar las mismas capacidades. Se debe considerar que en el tipo PPDU, para llegar a utilizar anchos de canal más amplios se debe empezar desde el ancho básico, por ejemplo, para utilizar el TVHT\_mode\_4C se debe primero haber comenzado utilizando el TVHT\_mode\_1, luego el TVHT\_mode\_2C y finalmente llegar al deseado.

### 2.1.5 *Máscara espectral.*

La máscara para transmisión en los modos de canalización explicados con anterioridad se debe multiplicar por un factor de escalamiento que depende del ancho de banda que se va a utilizar. La tabla 4-2 indica este factor de escalamiento para 40 MHz y 80MHz y con cada uno de los métodos de canalización y en la figura 14-2 se indica un ejemplo máscara espectral para el TVHT\_W+W.

**Tabla 4-2.** Factor de escalamiento para 40 MHz y 80MHz en los diferentes modos de canalización.

Modo	Escalamiento para 6MHz Factor de escalamiento
TVHT_mode_1	6/40
TVHT_mode_2C	12/40
TVHT_mode_4C	24/40
TVHT_mode_2N	6/40
TVHT_mode_4N	12/80

Fuente: (IEEE Standars Association, 2013)

Realizado por: (Jiménez, 2017)



**Tabla 5-2.** Niveles de sensibilidad mínimos para el receptor de TVHT.

Modulación	Código de corrección de errores	Sensibilidad mínima (dBm)		
		6 MHz - TVHT_mode_1	12 MHz - TVHT_mode_2C	24 MHz - TVHT_mode_4C
BPSK	1/2	-88	-85	-82
QPSK	1/2	-85	-82	-79
QPSK	3/4	-83	-80	-77
16-QAM	1/2	-80	-77	-74
16-QAM	3/4	-76	-73	-70
64-QAM	2/3	-72	-69	-66
64-QAM	3/4	-71	-68	-65
64-QAM	5/6	-70	-67	-64
256-QAM	3/4	-65	-62	-59
256-QAM	5/6	-63	-60	-57

Fuente: (IEEE Standards Association, 2013)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

### 2.1.7 Evaluación de canal libre (clear channel assessment-CCA)

Mediante la utilización de esta operación, todos los estándares IEEE 802.11 determinan el estado actual del medio inalámbrico que se va a utilizar. Es parte de la capa PHY, pero proporciona a la MAC la indicación de que si el canal a utilizar esta libre u ocupado.

Para un CCA en el estándar 802.11af, cuyo método de operación es la detección de energía se basa en los parámetros establecidos por la GDB de acuerdo a la entidad reguladora de cada país. En un receptor basado en éste estándar, la detección de un canal primario ocupado en cualquiera de los modos de canalización, sin importar el tipo de señal, será con un valor por encima de los -88 dBm, con una probabilidad mayor al 90% en un tiempo menor a los 15µseg.

El receptor también emite una señal de CCA de ocupado para cualquier canal que tenga un umbral de 20 dBm sobre el mínimo indicado anteriormente ( -88 dBm) es decir  $-88\text{dBm} + 20\text{ dBm} = -68\text{ dBm}$ , y en el mismo periodo de tiempo anterior ( $< 15\mu\text{seg}$ ) luego de que la señal llegue al receptor. (IEEE Standards Association, 2013)

Para una señal que no ocupa un canal primario se debe tomar en cuenta el tipo de señal que se está utilizando y el modo de canalización, para lo cual se describe lo siguiente:

- Para una señal cualquiera que ocupe el canal secundario, el valor será de -68dBm y con el periodo de espera menor a 15  $\mu$ seg.
- Para una señal de TVHT\_W NON-HT el umbral debe ser por encima de los -81 dBm, con una probabilidad del 90% en un periodo de espera menor a los 94 $\mu$ seg.

Tomando en cuenta los modos de canalización TVHT\_mode\_2C, TVHT\_mode\_4C, TVHT\_mode\_2N y TVHT\_mode\_4N y considerando que los canales primarios no están ocupados se dará una señal CCA ocupada para:

- Cualquier señal que esté dentro del canal secundario TVHT\_2C por encima de los -65dBm (12Mhz), dentro de un periodo menor a los 15  $\mu$ seg.
- Para una señal TVHT\_2W duplicado detectado en un canal secundario TVHT\_2W con el umbral de -78 dBm y una probabilidad mayor a 90% en el periodo menor a 94 $\mu$ seg.
- Para una señal TVHT\_W duplicado detectado en un canal secundario TVHT\_2W con el umbral de -81 dBm y con una probabilidad mayor a 90% en el periodo menor a 94 $\mu$ seg.

## **2.2 Radio cognitiva.**

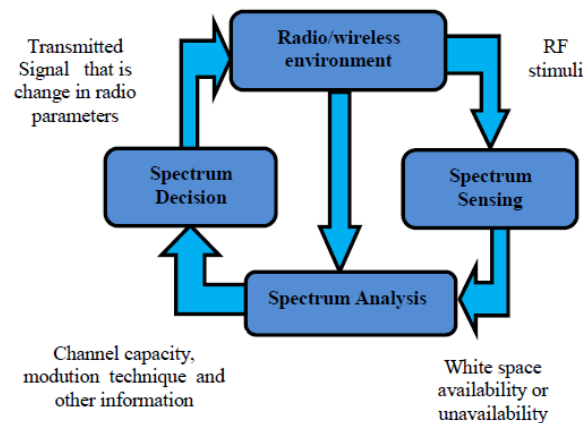
Son técnicas de comunicación inalámbrica en la que un transmisor/receptor se vuelve inteligente debido a que detecta, censa, analiza canales de frecuencia llegando a conocer su estado y tomando la decisión de trabajar sobre éste sin interferir con otros. Reconfigura sus parámetros de radio operativos para adaptar su comportamiento y acceder al espacio de espectro que se encuentre libre.

Apareció desde 1999 en referencia a una radio reprogramable y que conllevaron al aparecimiento de la Radio definida por software (SDR), marcando el inicio de un nuevo tipo de redes de comunicaciones que proporciona el concepto de trabajar bajo préstamo un espacio no utilizado, logrando obtener un acceso al espectro electromagnético de forma dinámica (Mitola & Maguire Jr., 1999).

La utilización de una radio habitual se priva de la habilidad cognitiva transformando al hardware en un dispositivo de uso fijo, dedicado y limitado. Mediante la utilización un hardware reconfigurable que adquiere agilidad mediante la aplicación de software flexible con fines de aprendizaje y adaptabilidad llegando a tener la capacidad de reconocer y modificar su comportamiento interno.

Es importante aclarar que el radio definido por software (SDR), como su nombre lo describe realiza las funciones de radio a través de la programación de bloques de software que representan todas las operaciones de radio, tales como codificación, modulación, conversión analógico-digital y demás, mediante la programación de hardware compuesto por arreglos programables de compuertas FPGA, procesadores que realizan procesamiento digital de señales y procesadores de uso general.

En la SDR la aplicación de la radio cognitiva es una buena solución para satisfacer las diferentes demandas de estudios de espectro, la figura 15-2 muestra el ciclo cognitivo de cuatro etapas considerado para el trabajo en TVWS, pero muchos autores en especial el considerado el iniciador de este proceso Mitola III, estimó un ciclo cognitivo de nueve etapas.



**Figura 15-2.** Ciclo cognitivo adaptado para radio cognitiva.

Fuente: (Satish Dhope & Simunic, 2012)

El ciclo cognitivo permite un acceso dinámico al espectro e inicia en un ambiente de radio que puede ser heterogénea o en una porción de espectro a utilizar o estudiar, para luego con la utilización de un equipo adecuado detectar la ausencia o presencia de usuarios mediante un censado del espectro, lo que proporcionará la información de espacios en blanco que permitirán analizar el mejor canal disponible según su capacidad, técnicas de modulación y otra información con el fin de decidir si se utiliza o no ese recurso de espectro en los usuarios que necesiten o solicitaron su uso.

Al describir el ciclo cognitivo también se detalla las funciones principales que la radio cognitiva puede realizar, tales como censar, analizar, administrar, asignar y compartir el espectro. Esto conlleva a que la radio cognitiva tenga la capacidad de ser ágil, debido a que permite cambiar

parámetros operacionales sobre la marcha, aprendiendo y adaptándose gracias a reconfiguración que ofrece el SDR.

### **2.2.1 Modelos de acceso dinámico al espectro.**

Dependiente de las bandas de frecuencia que se utilicen, los modelos para el acceso dinámico al espectro pueden ser de tres tipos.

#### **2.2.1.1 Modelo Dinámico de Uso exclusivo.**

Las bandas de frecuencia que se utilizan en este modelo son para uso exclusivo de quienes tienen los derechos sobre la propiedad y también para una asignación dinámica. El estado ecuatoriano es el dueño de este recurso y mediante la entidad correspondiente aseguran su comercialización y asignación respectiva para los diferentes tipos de tecnologías que utilicen este recurso. De la misma manera una vez que ya encuentren asignados las frecuencias a los arrendatarios, estos tendrán el derecho a realizar lo que creyeren conveniente con dicho espacio (con fines de lucro o no) pero sin violar las políticas de regulación establecidas.

La asignación dinámica de espectro es una de las mejores formas de aprovechar el uso del espectro, pues se basa en adjudicar ya sea de forma dinámica en espacio o utilidad, pero de forma temporal y en un lugar establecido los diferentes espacios y para diferentes servicios.

#### **2.2.1.2 Modelo de acceso Abierto.**

Este tipo de modelo trabaja con las bandas de frecuencia que el estándar IEEE802.11 utiliza sobre todas sus enmiendas y sobre todo a los usuarios que trabajan bajo los mismos lineamientos y sin necesidad de poseer licencia. Estas bandas son las ISM (industrial, Scientific and Medical), que son tres y que van desde los 902Mhz hasta los 928MHz, desde 2400 MHz hasta 2473.5 MHz y de 5725 MHz hasta los 5850Mhz.

Para nuestro país se confirma la operación de equipos que estén dentro de esta banda de frecuencias a través de la resolución TEL-560-18-CONATEL-2010 en su artículo 6 (Conatel, 2010).

### *2.2.1.3 Modelo de acceso Jerárquico.*

Se distingue por tener acceso jerárquico a dos usuarios, los usuarios primarios (PU) y los usuarios secundarios (SU), donde los PU tienen su espacio asignado de forma legal mediante una licencia en una frecuencia establecida y un SU no posee licencia de transmisión, pero podrán realizar transmisiones en espacios que no ocupen los PU y sin que les produzcan cualquier tipo de interferencia. Un usuario PU no posee la capacidad de trabajar con radio cognitiva, pero un SU sí debe, por lo que un PU permanece funcionando totalmente desprendido a todo el proceso cognitivo que un SU sí debe realizar.

Tanto los PU como los SU y sus infraestructuras de comunicación forman también redes correspondientes para sus usuarios, es decir los PU forman redes primarias y los SU forman redes secundarias, pero puede existir también redes mixtas al aplicar radio cognitiva.

El acceso que un SU puede tener depende de tres factores. El primero, un SU tiene la capacidad de poder hallar los espacios que se encuentran en el espectro, y acceder a él realizando un proceso de entrelazado (interweave) sobre los huecos que el PU deja o no los está ocupando, tomando muy en cuenta que el SU no considera los niveles de potencia, ni interfiere con el PU. Este proceso de entrelazado es comúnmente conocido como un acceso oportunista al espectro (OSA).

El segundo, implica imponer limitaciones en la potencia de transmisión a los SU con el propósito que trabajen por debajo del nivel establecido para los PU (underlay). Se considera entonces a este acceso como tipo concurrente y los SU deben estimar los niveles de interferencia que un PU genera.

El tercero se refiere a que los SU ocupen los mismos recursos que los PU, considerando una transmisión de tipo simultánea entre los dos usuarios bajo niveles de transmisión considerables y mediante la utilización de métodos de codificación y manejo de interferencias, lo que permite un trabajo por sobre el nivel establecido (overlay).

### *2.2.2 Censado del espectro*

El acceso oportunista al espectro es el método que más se apega para realizar el ciclo cognitivo y finalmente encontrar los espacios en blanco en las bandas de televisión. Los métodos para acceder al espectro de forma oportuna pueden ser de tipo activos cuando los SU realizan el censado del espectro mediante la utilización de las técnicas de detección tales como la de medición de energía, por características de la señal y con filtros adaptativos.

Para acceder al espectro de manera oportuna pasiva el SU recibe información de los espacios en blanco y demás desde fuentes o bases de datos externas, tales las GDBs, los RLSS o las estaciones GDD.

El censado del espectro parte de un método de tipo activo y tiene como propósito el conocer el estado del espectro, ver los espacios disponibles y todas sus características que generalmente un PU utiliza.

#### 2.2.2.1 *Medición de energía.*

Consiste en medir en el receptor la energía de la señal recibida en un ancho de banda específico y decidir mediante una comparación de umbral si existe la presencia o no de un PU, sin necesidad de conocer el tipo de señal que éste usuario está utilizando. Para tomar esta decisión el receptor debe realizar una estimación muy acertada de la potencia de ruido que se va a utilizar.

La medición de la energía no discrimina el tipo de señal que se está detectando, por lo que no le importa qué tipo de señal esté generando el usuario, lo importante es conocer si existe o no el espacio en blanco. Este tipo de medición se puede realizar en el dominio de la frecuencia o en el dominio del tiempo pero que en ambos métodos deben ser comparados con el umbral.

En el dominio del tiempo la señal es filtrada a través de una pasa banda en el ancho de banda requerido y con una frecuencia central. A esta señal filtrada se le aplica un proceso de cuadratura para encontrar su energía y posteriormente integrarla. Luego se procede a realizar una comparación con respecto al umbral establecido y cuyo resultado indicará si existe o no señal

En el dominio de la frecuencia se requiere de una FFT con una frecuencia de muestreo que debe considerar Nyquist para llegar a tener una mejor detección de la energía, para luego aplicar el proceso de cuadratura y promedio, llegar a comparar con el umbral mínimo requerido.

En un receptor, al considerar las métricas de rendimiento donde la hipótesis nula  $H_0$  representa la ausencia de un PU y a la  $H_1$  como la presencia de un PU, se obtiene una señal que se recibe así:

$$H_0: y(t) = w(t) \quad ( 1 )$$

$$H_1: y(t) = h * x(t) + w(t) \quad ( 2 )$$



Donde  $t = 1, \dots, n$ , con  $n$  número de muestras recibidas,  $y(t)$  es la señal recibida,  $w(t)$  representa el ruido blanco Gaussiano,  $x(t)$  es la señal del PU con una ganancia de canal  $h$ .

La detección de energía queda determinada de la siguiente manera:

$$E = \sum_{t=1}^N |y(t)|^2 \quad (3)$$

Donde  $E$  es la energía correspondiente a la suma de muestras realizadas en cualquiera de las hipótesis,  $N$  es el número de muestras de la señal y la cuadratura es una secuencia de variables que se encuentran distribuidas similarmente a la varianza. Si  $N$  es un valor elevado la  $E$  es considerada como una variable gaussiana de tipo aleatoria con varianza y media respectivamente:

$$\sigma_E^2 = N * \sigma^2 \quad (4)$$

$$\mu_E = N * \mu \quad (5)$$

Además, el ruido  $w(t)$  es una variable de tipo aleatoria totalmente independiente pero equivalentemente distribuida con una probabilidad normal de varianza y media nula. Se especifica un umbral de detección de -114 dBm en un ancho de banda de 6Mhz según la FCC (Saeed & Stephen, 2011).

El censado a través de la detección de energía debe tomar una decisión sobre la existencia o no de un usuario luego de cumplir su propósito de censar, para esto utiliza un modelo estadístico que lo realiza mediante la utilización de las métricas de rendimiento, las cuales son explicadas a continuación:

#### 2.2.2.1.1 Métricas de rendimiento.

El censado del espectro genera una hipótesis de tipo binaria donde se considera la hipótesis nula  $H_0$  como la ausencia de un PU y a la  $H_1$  como la presencia de un PU, pero al evaluar estas se presentan errores debido a factores como el ruido, por lo que se puede generar falsas alarmas o simplemente no detectar la señal a pesar de existir ocupación de canal. Es así que se puede presentar estos tipos de probabilidades:

- Probabilidad de omitir la detección ( $P_m$ )
- Probabilidad de falsa alarma ( $P_f$ )

- Probabilidad de detección ( $P_d$ )

a.- Probabilidad omitir la detección ( $P_m$ ).- Es probable que el receptor no detecte señal cuando realmente si exista una en el espectro. Se considera entonces esta probabilidad como:

$$P_m = 1 - P_d \quad (6)$$

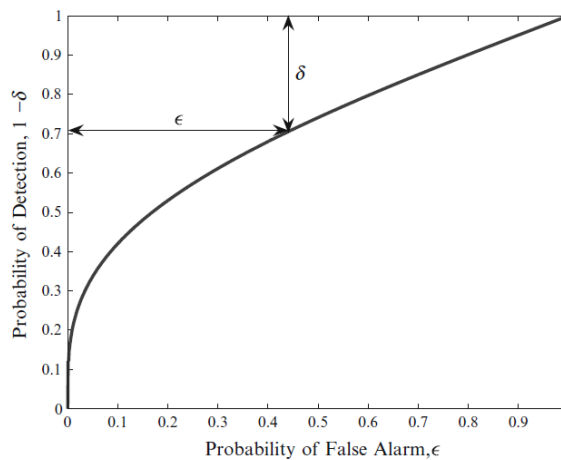
b.- Probabilidad de falsa alarma ( $P_f$ ).- Es probable que el receptor detecte incorrectamente una señal en un espacio de espectro cuando realmente no exista señal. Esta probabilidad debe ser bien baja con el fin de prevenir y evitar una subutilización en las oportunidades de transmisión de SU. Donde su expresión es:

$$P_f = P(E > \lambda | H_0) \quad (7)$$

c.- Probabilidad de detección ( $P_d$ ).- Es probable que el receptor detecte la presencia de señal cuando realmente si exista una señal en el espacio de espectro censado.

$$P_d = P(E > \lambda | H_1) \quad (8)$$

La relación que existe entre la probabilidad de detección y la de falsa alarma, es representada mediante una curva denominada ROC (Receiver Operating Characteristic) representada en la figura 16-2, lo que permite explorar la relación entre estas probabilidades para diferentes valores de umbral y ayudar a elegir un punto óptimo.



**Figura 16-2.** Curva característica de operación de un receptor ROC.

Fuente: (Wyglinski, Nekovee, & Hou, 2010)

### 2.2.2.2 *Ciclo estacionario.*

En un proceso ciclo estacionario se considera que existe una periodicidad de una señal en cuanto a su media y auto correlación, por lo que este método aprovecha ese ritmo característico, pero de una señal modulada como por ejemplo su portadora, su modulación, sus códigos, sus prefijos o secuencias entre otras, llegando a distinguir el ruido y detectar de mejor manera señales de los PU que tienen potencia baja. La detección del ruido se logra gracias a que esta señal no tiene correlación y es de tipo estacionaria con WSS (Wide sense stationary).

Su implementación es considerada complicada debido a que se requiere conocer la señal que se va a detectar y la relación de sus componentes espectrales. Computacionalmente su procesamiento es más laborioso debido a que requiere trabajar en el dominio de la frecuencia y con niveles de muestreo más elevados en comparación con otros métodos.

La auto correlación de la señal se representa como una serie de Fourier en el tiempo y una función de auto correlación cíclica (CAF), son los coeficientes de esa serie de Fourier. Para realizar un análisis de la señal recibida hay que basarse en la función CAF y que viene dada por:

$$R_y^\alpha(\tau) = E[y(t + \tau)y^*(t - \tau)e^{j2\pi\alpha t}] \quad (9)$$

Donde  $E$  es el operador esperanza y  $\alpha$  es la frecuencia cíclica, llegando a representar la periodicidad de una señal. Si a (9) se aplica la transformada de Fourier se obtiene la función de correlación espectral o también considerada como una función de tipo convencional de la densidad espectral de potencia:

$$S(f, \alpha) = \sum_{\tau} R_y^\alpha(\tau)e^{-j\pi f \tau} \quad (10)$$

Donde  $\alpha$  como la frecuencia cíclica al igualar las frecuencias fundamentales entregará los valores picos según esta función. Se puede obtener para diferentes tipos de señales los espectros cíclicos, resultando así un método que sirve para identificar el tipo de señal de un PU, así como también si proviene o no de este usuario.

### 2.2.2.3 Filtro adaptado.

Este método permite realizar una comparación del espectro de una señal que se ha recibido con una señal previamente ya calculada o conocida, de tal forma que un filtro adaptado establece una correlación entre estas dos señales e identifica la presencia o no de una señal proveniente del PU cuando los valores de dicha correlación son elevados en comparación a los establecidos por la señal de referencia.

Para aplicar este tipo de censado el receptor debe conocer a detalle una señal que servirá de referencia, con todos los parámetros e información necesaria para poder realizar el filtrado con otra señal que será la recibida, así como también será fundamental mantener una sincronización permanente con el fin de establecer de forma precisa la señal de referencia.

Al gozar de una sincronización perfecta, la señal que se recibe es considerada como en la ecuación (2) a  $w(t)$  que representa el ruido blanco Gaussiano será filtrado adecuadamente para obtener:

$$z = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y(t)s^*(t) \quad (11)$$

Donde el rendimiento del filtrado sería:

$$Q^{-1}(P_f) - Q^{-1}(P_d) = \sqrt{N * S/N} \quad (12)$$

La S/N tendrá un número de muestras de  $1/SNR$ , por lo que si se compara con el detector de energía será  $1/(SNR)^2$ , considerando una ventaja significativa (Wyglinski, Nekovee, & Hou, 2010).

Este procedimiento es considerado rápido, pero complejo por su alto grado de exigencia para el procesamiento computacional, otorgando una menor probabilidad de falsa alarma con valores de relación señal a ruido inferiores a uno.

### 2.2.2.4 Censado cooperativo.

El censado del espectro puede verse afectado por muchos factores comunes en las comunicaciones inalámbricas, como por ejemplo la detección de una señal con un nivel de ruido demasiado elevado lo que conlleva a que el censado el espectro esté limitado a la potencia de la señal recibida.

El censado del espectro parte del desconocimiento mutuo del tipo de señales que están presentes entre el PU y el SU. Al contar con un escenario como el de la figura 8-2, se puede presentar problemas debido a la presencia de obstáculos únicamente entre el dispositivo que funciona en TVWS y su estación GDD habilitante más cercana; si existe otra estación GDD habilitante que no tiene obstáculos hacia el dispositivo TVWS pero tiene una base de datos de la detección de canales desactualizada con respecto a la GDD habilitadora cercana, la GDD habilitadora desactualizada otorga información errónea sobre un canal que la otra GDD habilitadora cercana lo tiene como ocupado; el dispositivo TVWS al ser habilitado por la GDD desactualizada empieza a transmitir y posiblemente genere interferencias sobre ese canal ocupado.

Se puede lograr un mejor resultado al alargar el tiempo del censado del espectro, pero lo que conlleva a posibles nuevos problemas. Aquí surge la necesidad de la cooperación entre técnicas de radio cognitiva para solucionar problemas de sombra y nodos ocultos. Este censado del espectro se basa en el hecho de que la suma de dos radios cognitivas correlacionadas va a mejorar la fiabilidad de detección, disminuye la probabilidad de falsas alarmas y aumenta la relación señal a ruido.

Si se tiene  $\epsilon_k$  y  $\delta_k$  como los índices de rendimiento para  $k$  sensores y cada sensor tiene un censado individual, el rendimiento de probabilidad de falsa alarma será expresado por :

$$P_{fa} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - \epsilon_k) \approx \sum_{k=1}^K \epsilon_k \quad (13)$$

En donde la aproximación de  $\epsilon_k$  son valores pequeños.

La detección cooperativa puede aplicarse de diferentes formas basadas en el método de la cooperación y la arquitectura de la red, incorporando un conjunto de tecnologías y arquitecturas diferentes donde se involucre métodos de detección, algoritmos de análisis, selección de los sensores, protocolos de intercambio de datos que caracterizan el comportamiento del método y variedad de multiusuarios.

Este censado puede aplicar los métodos explicados anteriormente, pero sus resultados pueden ser utilizados de forma central o distribuida. De forma cooperativa central, toda la información de censado individual de todos los usuarios va hacer concentrada en un solo sitio y de aquí mismo repartir dicha información y utilizando la infraestructura de red definida para tal función. El

censado cooperativo distribuido hace que la información se comparta entre los diferentes SU y la decisión de utilizar o no el espacio la tienen los propios SU sin utilizar la infraestructura de red.

#### 2.2.2.5 *Multiresolución y Wavellet.*

Son métodos más complejos que se aplican sobre canales de banda ancha donde se pueden presentar varios inconvenientes, como por ejemplo un parcial solapamiento de señales que puede aparecer por el allanamiento de la señal o el aumento de tasas de muestreo producto de la congestión del tráfico de la red.

Mediante la transformada de Wavellet se puede identificar las discontinuidades presentes en la densidad espectral de potencia dentro de cada canal. Se puede utilizar también métodos de codificación de muestreo sub-Nyquist con la finalidad de proporcionar estimaciones de ocupación de canal que incluye la identificación de la ubicación del transmisor. (Wyglinski, Nekovee, & Hou, 2010)

## CAPITULO III

### 3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Tipo y diseño de Investigación

La investigación es no-experimental debido a que al realizar la evaluación del espectro radioeléctrico en las bandas VHF y UHF se observa su comportamiento a través de la presentación de los espacios en blanco de televisión considerando que la asignación de frecuencias ya se encuentra realizada y no puede ser manipulada.

Mediante el censado se observa la realidad del espectro, sin manipulación provocada de forma intencional, limitándose a la observación del fenómeno como tal considerando todas las interferencias, ruidos y condiciones que encierran las telecomunicaciones y que se encuentran presentes en el ambiente.

El método aplicado es el de medición de energía, que es parte de las técnicas de censado y se caracteriza por ser práctico. Al desarrollar el algoritmo fue necesario acoplarse a este método para encontrar los mejores resultados, analizarlos para llegar a la conclusión que indicó que los espacios en blanco pueden ser potencialmente usados por el estándar IEEE 802.11af.

Es transversal debido a que la búsqueda de los espacios en blanco del espectro y la recolección de datos que indiquen el estado actual del espectro estuvo centrada en un momento dado que permitió analizar la relación de las variables, sin importar como, ni por cuanto tiempo fueron adjudicadas dichas frecuencias.

#### 3.2 Métodos de investigación

La investigación científica hace referencia al procedimiento de reflexión sistemática y ordenada del estándar IEEE 802.11af y con la oportunidad de aprovechar al máximo la evaluación que un radio definido por software permite realizar, llegando al conocimiento sobre su implementación y su posible adopción de nuevos hechos, datos, relaciones en cualquier ámbito para futuras investigaciones de radio por software y de las técnicas cognitivas.

Es analítica debido a que se realiza el censado del espectro para todas y cada una de las frecuencias con el algoritmo diseñado en la USRP, llevando esta investigación de lo general a lo particular, cuyos resultados permitieron conocer el estado de cada uno de los canales.

Es investigación de campo porque la toma de mediciones se lo realiza de forma sistemática en varias zonas de la parte urbana del cantón Ambato, específicamente en sus parroquias urbanas, con una USRP cargada con el correspondiente algoritmo manteniendo un contacto directo con el espectro en estudio.

### **3.3 Enfoque de la investigación**

Es cuantitativa porque al seguir un orden secuencial que empieza por la revisión de literatura, la construcción del marco de referencia que indica todo lo concerniente al estándar IEEE802.11af y al aplicar el algoritmo en el radio definido por software en una USRP, entrega datos numéricos que sirvieron para reconocer, analizar e interpretar los espacios en blanco que se presentaron en el espectro de radio frecuencia, para finalmente plantear la potencialidad de uso del estándar.

Al realizar el algoritmo en la USRP el método de censado de energía utiliza un análisis estadístico que ayudó a determinar la probabilidad de presencia o ausencia de usuarios, que son las características y bondades de un enfoque cuantitativo deductivo que ayudaron a la aceptación de la hipótesis.

### **3.4 Alcance de la investigación**

Es una investigación exploratoria porque aumenta el grado de conocimiento de enmiendas IEEE poco conocidas, entregando información para futuras investigaciones, como por ejemplo diseñar un dispositivo que trabaje sobre este estándar. Existe una familiarización con el método exploratorio donde se analizó el estándar 802.11af, su funcionamiento, su estructura, sus componentes, sus conceptos, así como también las diferentes técnicas de censado que son parte del ciclo de radio cognitiva.

Es correlacional porque los resultados entregan el número total de canales que están ocupados y libres, estableciendo valores porcentuales y anchos de banda totales disponibles y ocupados para cada una de las zonas urbanas.



### **3.5 Técnicas de investigación**

Son necesarias para realizar un trabajo investigativo de forma ordenada y sistemática, por lo que estas son:

- Recolección de información
- Diseño de algoritmo
- Pruebas
- Observación
- Procesamiento y análisis de datos

### **3.6 Planteamiento de la Hipótesis.**

- La evaluación del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias VHF y UHF mediante un algoritmo realizado en radio definido por software en una USRP permitirá conocer el uso potencial del estándar 802.11af en la zona urbana del cantón Ambato.

### **3.7 Determinación de las variables**

Variable Independiente.

La evaluación del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias VHF y UHF mediante un algoritmo realizado en radio definido por software en una USRP

Variable Dependiente

Conocer el uso potencial del estándar 802.11af en la zona urbana del cantón Ambato.

### 3.8 Operacionalización de las variables

#### 3.8.1 Operacionalización conceptual

**Tabla 1-3.** Operacionalización conceptual de las variables

Variables	Tipo	Concepto
La evaluación del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias VHF y UHF mediante un algoritmo realizado en radio definido por software en una USRP.	Independiente:	El espectro radioeléctrico es un conjunto de ondas electromagnéticas con diferente longitud de onda distribuidas energéticamente, que son mesurables a través de la utilización de dispositivos específicos
Conocer el uso potencial del estándar 802.11af en la zona urbana del cantón Ambato.	Dependiente	La tecnología IEEE 802.11af utiliza los huecos espectrales en las bandas de las frecuencias de UHF y VHF.

Realizado por: Jiménez, J. (2017)

#### 3.8.2 Operacionalización metodológica

**Tabla 2-3.** Operacionalización metodológica de la hipótesis

HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
	VARIABLE INDEPENDIENTE	-Técnicas de censado del espectro.	-Informes estadísticos de la agencia de regulación -Libros publicados en la web -Publicaciones de artículos científicos en revistas indexadas -Folletos especializados -Informes de conferencias internacionales -Entorno de desarrollo- plataforma Labview y USRP
	VARIABLE DEPENDIENTE		-Libros publicados en la web -Publicaciones de artículos científicos en revistas indexadas -Folletos especializados -Informes de conferencias internacionales -Algoritmo en plataforma Labview y USRP -Observación estructurada y análisis

Realizado por: (Jiménez, 2017)

### 3.9 Población de estudio

Esta investigación se centra en realizar el censo del espectro en las frecuencias de UHF y VHF asignadas para la provincia de Tungurahua, específicamente para la zona urbana del cantón Ambato, para lo cual es necesario precisar esta asignación.

La Norma Técnica para el servicio de Televisión Analógica y Plan de distribución de canales establecido en la Resolución No. 1779-CONARTEL-01 del 2001 en su artículo 3 sobre las bandas de frecuencias indica:

a) Televisión VHF

Banda I: de 54 a 72 MHz y de 76 a 88 MHz

Banda II: de 174 a 216 MHz

b) Televisión UHF

Banda IV: de 500 a 608 MHz y de 614 a 644MHz

Banda V: de 644 a 686 MHz

**Tabla 3-3.** Cuadro resumen para canalización de bandas, grupos de canales, zonas geográficas y plan de distribución de canales para la provincia de Tungurahua.

RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	BANDA	CANAL	PORTADORAS(MHz)		GRUPOS	ZONAS GEOGRÁFICAS DE DISTRIBUCION DE CANALES
			VIDEO	SONIDO		
		2(54-60)	55,25	59,75	A1	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		3(60-66)	61,25	65,75	A2	
		4(66-72)	67,25	71,75	A1	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		5(76-82)	77,25	81,75	A1	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		6(82-88)	83,25	87,75	A2	
		7(174-180)	175,25	179,75	B2	

			8(180-186)	181,25	185,75	B1	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			9(186-192)	187,25	191,75	B2	
			10(192-198)	193,25	197,75	B1	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			11(198-204)	199,25	203,75	B2	
			12(204-210)	205,25	209,75	B1	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			13(210-216)	211,25	215,75	B2	
			19(500-506)	501,25	505,75	G1	
			20(506-512)	507,25	511,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			21(512-518)	513,25	517,75	G1	
			22(518-524)	519,25	523,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			23(524-530)	525,25	529,75	G1	
			24(530-536)	531,25	535,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			25(536-542)	537,25	541,75	G1	
			26(542-548)	543,25	547,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			27(548-554)	549,25	553,75	G1	
			28(554-560)	555,25	559,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
			29(560-566)	561,25	565,75	G1	

		30(566-572)	567,25	571,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		31(572-578)	573,25	577,75	G1	
		32(578-584)	579,25	583,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		33(584-590)	585,25	589,75	G1	
		34(590-596)	591,25	595,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		35(596-602)	597,25	601,75	G1	
		36(602-608)	603,25	607,75	G2	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		38(614-620)	615,25	619,75	G4	
		39(620-626)	621,25	625,75	G3	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		40(626-632)	627,25	631,75	G4	
		41(632-638)	633,25	637,75	G3	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		42(638-644)	639,25	643,75	G4	
		43(644-650)	645,25	649,75	G3	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		44(650-656)	651,25	655,75	G4	
		45(656-662)	657,25	661,75	G3	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental
		46(662-668)	663,25	667,75	G4	
		47(668-674)	669,25	673,75	G3	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental

		48(674-680)	675,25	679,75	G4	
		49(680-686)	681,25	685,75	G3	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental

Nota: La banda 608-614 MHz (canal 37) está atribuida a título primario al servicio de Radioastronomía.

Fuente: Resolución No. 1779-CONARTEL-01 (Suplemento del Registro Oficial 335, 29-V-2001).

Realizado por: (Jiménez, 2017)

El indicador de número de estaciones concesionadas de televisión abierta analógica y terrestre digital para la provincia de Tungurahua es:

**Tabla 4-3.** Tabla Datos, Número de Estaciones Concesionadas de TV (TDT y Analógica) en la provincia de Tungurahua y por Tipo.

PROVINCIA	Comercial Privada		Servicio Público		Servicio Público Comunitario		Total por Provincia
	TV Abierta Analógica	TDT	TV Abierta Analógica	TDT	TV Abierta Analógica	TDT	
Tungurahua	16	1	5	-	1	-	23

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

**Tabla 5-3.** Número de Estaciones Concesionadas de TV en la provincia de Tungurahua y por Frecuencia.

PROVINCIA	Comercial Privada		Servicio Público		Servicio Público Comunitario		Total General
	VHF	UHF	VHF	UHF	VHF	UHF	
Tungurahua	9	8	2	3	0	1	23

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

**Tabla 6-3.** Listado completo de estaciones de radiodifusión sonora y televisión abierta en la Provincia de Tungurahua.

Categoría	Frecuencia	Tipo	Área Servida	Clase
TELEVISION ABIERTA	2	M	AMBATO Y ALREDEDORES	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	4	R	AMBATO, LATACUNGA	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	5	R	AMBATO, LATACUNGA	COMERCIAL PRIVADA

TELEVISION ABIERTA	7	R	AMBATO	SERVICIO PUBLICO
TELEVISION ABIERTA	8	R	LATACUNGA, AMBATO	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	10	R	LATACUNGA, AMBATO Y SALCEDO	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	12	R	AMBATO,LATACUNGA, PILLARO, PELILEO Y ALREDEDORES	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	22	R	AMBATO	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	23	M	AMBATO	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	24	R	AMBATO,LATACUNGA	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	26	R	AMBATO Y OTROS CANTONES	SERVICIO PUBLICO
TELEVISION ABIERTA	28	R	AMBATO,LATACUNGA	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	32	R	AMBATO, LATACUNGA	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	34	M	AMBATO, LATACUNGA	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	39	R	AMBATO Y LATACUNGA	SERVICIO PUBLICO
TELEVISION ABIERTA	41	R	AMBATO, LATACUNGA	COMUNITARIA
TELEVISION ABIERTA	43	R	AMBATO, LATACUNGA	COMERCIAL PRIVADA
TELEVISION ABIERTA	47	M	LATACUNGA, AMBATO	SERVICIO PUBLICO
TELEVISION ABIERTA	49	R	AMBATO	SERVICIO PUBLICO

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

En la tabla 4-3 se indica que para la provincia de Tungurahua existe un solo canal con TDT (Televisión Digital Terrestre), siendo el estándar utilizado el ISDB-Tb, por lo que este trabaja con una señal modula en BST-OFDM siendo muy beneficiosa para la generación de servicios multicanal dependiendo del tipo de definición (alta o estándar) que la televisora desee transmitir.

El estándar ISDB-Tb fue adoptado oficialmente el 26 de marzo de 2010 (N°. 084-05-CONATEL-2010), a partir del 29 de Julio de 2011 comenzó a ser implementado mediante la coordinación del Comité interinstitucional técnico para la implementación de la TDT en el Ecuador (CITDT) y

según informe No. CITDT-GATR-2012-005 elaborado por el Grupo de Aspectos Técnicos y regulatorios, se propuso la asignación de frecuencias tipo temporales para el inicio del funcionamiento del estándar de televisión Digital terrestre en Ecuador.

En el análisis de este informe establece las bandas de operación para autorizaciones temporales de TDT tal como se indica a continuación:

**Tabla 7-3.** Bandas de operación para autorizaciones temporales de TDT

<b>Banda (MHz)</b>	<b>Canales</b>	<b>Observaciones</b>
174-216	7-13	Destinado para desarrollo de equipos para emisiones de TDT
470-482	14-15	Analizadas y despejadas de acuerdo a los procedimientos establecidos en las leyes y reglamentos, para el servicio de RADIODIFUSIÓN con emisiones de televisión abierta.
512-608	21-36	
614-686	38-49	
686-698	50-51	Analizadas y despejadas de acuerdo a los procedimientos establecidos en las leyes y reglamentos, para el servicio de RADIODIFUSIÓN con emisiones de televisión abierta.

Fuente: (CITDT-GATR-2012-005,2017)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

Hasta aquí se conoce las frecuencias asignadas tanto para televisión analógica como TDT. Ahora se identifica aspectos generales del cantón Ambato donde se realizó la aplicación del algoritmo.

El cantón Ambato está formado por 9 parroquias que forman la zona urbana y estas son: Celiano Monje, Atocha - Ficoa, Huachi Chico, Huachi Grande, La Matriz, La Merced, La Península, Pishilata y San Francisco.

Para el servicio de televisión en la provincia de Tungurahua, las estaciones ubican su mayor parte de antenas matrices y repetidoras en el cerro Pilishurco ubicado en Latitud 1°9'16.07" S y en longitud 78°39'55.54" O, que cubre en su mayoría a la provincia de Tungurahua y parte de la provincia de Cotopaxi. Siendo el número total de antenas el que se muestra en la tabla 8-3 a continuación:



**Tabla 8-3.** Número de Estaciones Concesionadas de TV Abierta (matrices y repetidoras) en la Provincia de Tungurahua y por tipo.

PROVINCIA	Comercial Privada		Servicio Público		Servicio Público Comunitario	
	Matrices	Repetidoras	Matrices	Repetidoras	Matrices	Repetidoras
Tungurahua	3	14	-	5	-	1

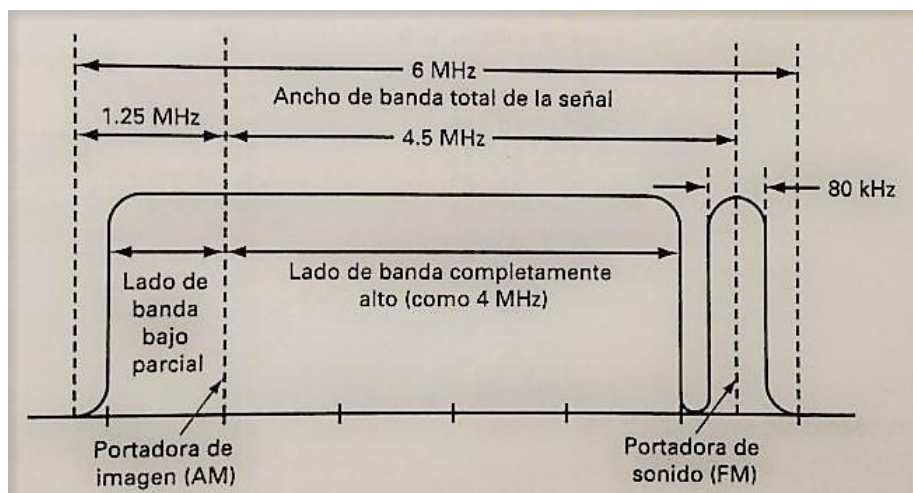
Fuente: (ARCOTEL, 2016).

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La señal de televisión en el cantón Ambato según la tabla 4-3, es comercial privada, de servicio público y de Servicio Público Comunitario, con 22 de tipo abierta analógica y únicamente una en TDT dando un total de 23.

El conocer el tipo de señal que los canales de TV poseen, es necesario para poder realizar un censo adecuado, es por esta razón que todos ocupan un ancho de banda de 6MHz, las analógicas utilizan el estándar NTSC (National Television Standards Committee) y que está formada por las señales de video (incluida información de color), audio (estéreo), sincronización como las más importantes.

En los 6 MHz existen dos portadoras, la una que es la de video que se encuentra modulado en AM con banda lateral residual y que se ubica cercana a la parte inferior del canal a los 1.25MHz que es el ancho de banda nominal de la banda lateral vestigial. La señal de crominancia o la subportadora de color se encuentran a los 3.58MHz de la señal de video y la señal portadora de audio modulada en FM está separada de la portadora de video a los 4.5MHz desde la parte inferior de canal o a 250 KHz desde la parte superior.



**Figura 1-3.** Espectro de frecuencia de una señal de TV en NTSC.

Fuente: (Frenzel E., 2003)

La figura 1-3 muestra el espectro de frecuencia de la señal de televisión, donde se indica la separación entre la portadora de video y de audio y se considera también que el lado de banda completamente alto es 4Mhz. La imagen de color posee datos que se transmiten a través de la utilización de técnicas de multiplexación FDM, esta subportadora se ubica a 4.83MHz de la parte inferior de canal y utilizan una modulación de amplitud de doble banda lateral con portadora suprimida.

Para el ISDB-Tb se debe tomar en cuenta que dispone de los 6MHz, de los cuales ocupa 5.571Mhz distribuidos en 13 segmentos cada uno con un ancho de 428.57 KHz, con bandas de guarda en las frecuencias de UHF y VHF con un ancho de entre 20- 200 KHz dependiente del tipo de servicio.

La TDT en Ecuador continúa en su transición para entrar en funcionamiento y se irá incorporando poco a poco hasta llegar a cubrir la mayoría de servicio en el Ecuador, por lo que se debe considerar que para el censado va a existir canalización mixta donde el simulcast está presente.

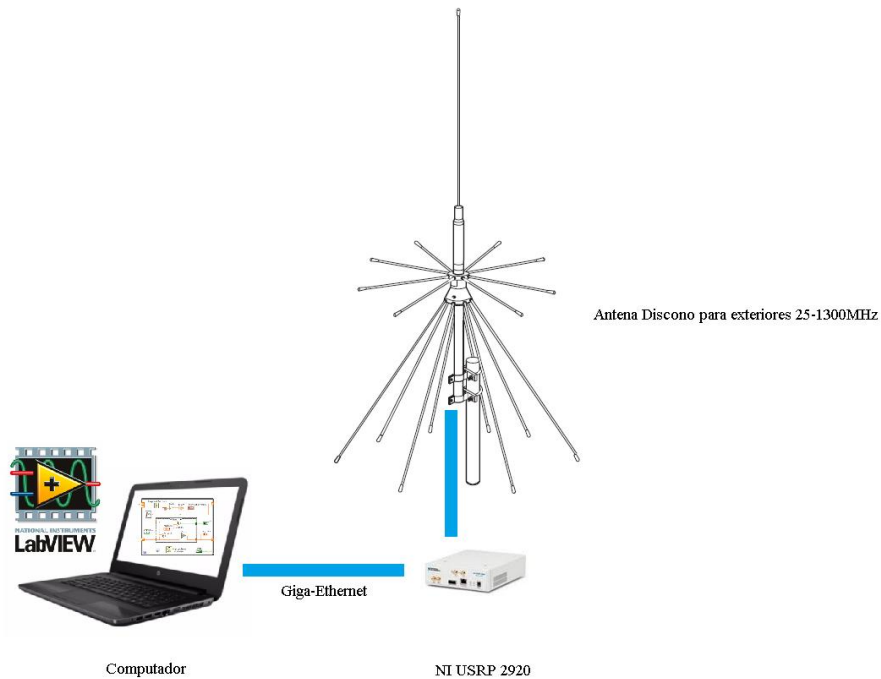
### **3.10 Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios**

Los datos primarios fueron recolectados a partir de la aplicación del algoritmo del radio definido por software en los espacios de espectro especificados, haciendo uso de la observación científica de manera ordenada y que permitió encontrar los mejores resultados, llevando todos los registros que entrega la plataforma de software con un control cuidadoso donde se especifica de manera adecuada los espacios y frecuencias de aplicación del algoritmo y los análisis correspondientes al espectro.

Los datos secundarios fueron recolectados de acuerdo con los propósitos adecuados que satisfagan las necesidades específicas de la investigación, con búsqueda en fuentes bibliográficas, libros informes de investigación, guías de desarrollo, manuales técnicos, video tutoriales, tesis, publicaciones de revistas indexadas y lo más importante los estándares.

### **3.11 Instrumentos de recolección de datos primarios**

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de las muestras que permitieron determinar los espacios en blanco del espectro son herramientas de software y hardware. La parte de configuración de hardware queda especificada de acuerdo a la figura 2-3.



**Figura 2-3.** Diagrama de conexión para instrumentos de recolección de datos.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La antena utilizada es omnidireccional del tipo disco prefabricada y cuyo diseño provee una alta eficiencia cuando recibe y transmite en las frecuencias de VHF y UHF. Esta recibe en frecuencias que van desde los 25Mhz hasta 1300MHz con transmisiones efectivas en los 50, 144, 220, 440, 900 y 1296 MHz.

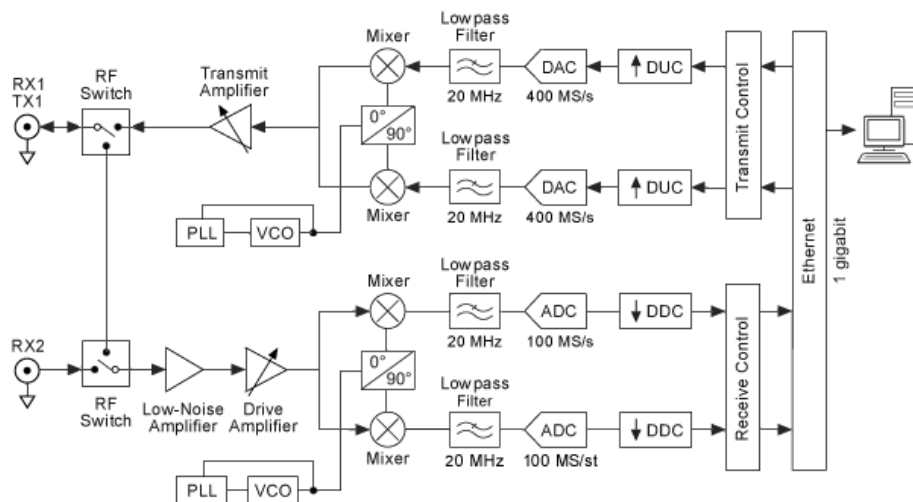
La antena se conecta a la USRP mediante un cable coaxial RG58 a través de los conectores PL-259 comúnmente conocido como conector UHF, y un SO-239, todos con una impedancia igual a 50 ohm y con una perdida considera en cero. Se decidió utilizar este tipo de antena debido a que la propia del equipo trabaja en las frecuencias de 144, 400 y 1200 Mhz en vertical por lo que para los fines de esta investigación puede presentar problemas en las frecuencias de los canales bajos.

El dispositivo de radio definido por software USRP (Universal Software Radio Peripheral) es un transeptor de radio frecuencia que mediante la utilización del software y la comunicación Ethernet adecuada permite convertir un computador en un generador de prototipos que funcionan en RF o inalámbricos a través de la programación de bloques lógicos contenidos en una FPGA (Field Programmable Gate Array)

Su arquitectura en la parte de control de transmisión/recepción implementa diferentes tipos de convertidores de alta velocidad tales como: convertidor analógico-digital (ADC), convertidor

digital-analógico (DAC), convertidores digitales descendentes (DDC), convertidores digitales ascendentes (DUC). La etapa que interesa para esta investigación es la de recepción, la que está compuesta por amplificadores de alta sensibilidad, detectores de fase PLL que incluyen osciladores VCO, para llegar a tener señales en banda base y posteriormente mezclarlas en fase y en cuadratura.

Esta señal en banda base pasa por un filtro pasabajo para reducir el ruido y seguidamente utiliza un ADC de alta velocidad para una vez digitalizado en fase y en cuadratura utilizar un DDC para mezclar, reducir la tasa de muestreo, empaquetarla y realizar la transmisión al computador a través de una interfaz Giga-Ethernet para su posterior uso. La figura 3-3 muestra el diagrama de bloques que forman una USRP 2920, que es la utilizada para esta investigación.



**Figura 3-3.** Diagrama interno de bloques de la NI USRP 2920.

Fuente: (National Instruments TM., 2015)

La NI USRP 2920 utilizada en la investigación es un transceptor de radio frecuencia que permite la sintonización desde los 50MHz hasta los 2,2GHz y que para la función de recepción puede recibir a una potencia máxima de entrada de 0dBm, siendo sus parámetros principales los que a continuación se detallan en la tabla 9-3.

**Tabla 9-3.** Especificaciones de recepción de la NI USRP 2920.

Parámetro	Valor
Rango de frecuencia	50 MHz a 2,2 GHz
Paso de frecuencia	< 1 KHz
Rango de ganancia	0 dB a 31.5 dB
Paso de ganancia	0.5 dB
Máxima potencia de entrada (Pin)	0 dBm
Figura de ruido	5 dB a 7 dB
Precisión de frecuencia	2.5 ppm
Máximo ancho de banda instantáneo en tiempo real	
Muestras con 16-bit	20 MHz
Muestras con 8-bit	40 MHz
Máxima velocidad de muestreo I/Q.	
Muestras con 16-bit	25 MS/seg
Muestras con 8-bit	50 MS/seg
ADC	2 canales, 100 MS/seg, 14 bits
ADC SFDR	88 dB

Fuente: (National Instruments TM, 2012)

Realizado por: (Jiménez, 2017)

El lenguaje de programación gráfico utilizado es el LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) desarrollado por National Instruments, que permite diseñar e implementar cualquier tipo de algoritmo de comunicación a través de la utilización de bloques o funciones para llegar a formar instrumentos virtuales (VI) y que es compatible con la USRP utilizando el propio controlador de NI-USRP.

### **3.12 Instrumentos para procesar datos recopilados.**

Los instrumentos para procesar los datos recolectados luego de la implementación del algoritmo en el espectro radioeléctrico permiten mantener un tratamiento de la información con el objetivo de encontrar la cantidad de espacios en blanco del espectro. Las hojas de cálculos, graficas, tablas, figuras, esquemas, diagramas de flujo, cuadros comparativos y matrices tanto en el propio software como en medio físico fueron utilizados en el desarrollo de este aplicativo. La recolección de datos se realizó en las bases propias del software y su posterior análisis en aplicaciones de hojas de cálculo.

## CAPITULO IV

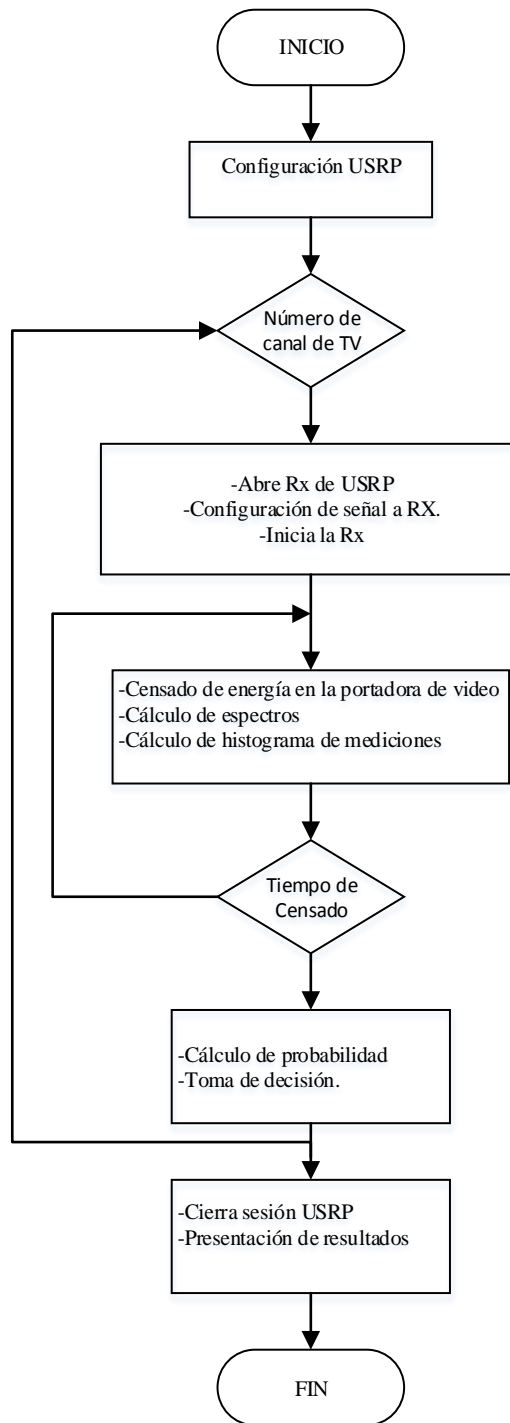
### 4 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 4.1 Diseño del algoritmo en radio definido por software

El censado del espectro se lo realizó a través de la utilización del método de detección de energía debido a que por ser una de las formas más comunes para detectar espacios en blanco en el espectro, no hace ninguna segregación sobre el tipo de señal que esté presente en el espacio censado, llegando a establecer la presencia o ausencia de un usuario que primordialmente en el caso de aplicar el estándar en estudio obligaría a que la GDD habilitadora no permita el uso del canal ocupado por parte de la STA dependiente.

El método de censado es considerado fácil de implementar y adicionalmente utiliza bajos recursos computacionales, pero se debe tomar muy en cuenta que al ser muy sensible al ruido existente se debe encontrar un umbral que permita tomar una decisión adecuada sobre la presencia o ausencia de un usuario, logrando así disminuir el nivel de probabilidades de falsa alarma.

El algoritmo se basa en el diagrama de flujo que se indica en la figura 1-4 y empieza por establecer la conexión y configuración de la USRP con todos los parámetros de recepción. Luego adquiere datos a través de un monitoreo del espectro tipo interactivo, que consiste en tomar continuamente una porción del espectro y continuar midiendo durante un tiempo determinado. Con los datos correspondientes a las medidas del espectro pasa a tomar la decisión de establecer la presencia o ausencia de un usuario. Posteriormente, se vuelve a realizar el proceso para cada una de las frecuencias en UHF y VHF para finalmente cerrar la sesión y presentar todos los resultados.



**Figura 1-4.** Diagrama de flujo general del algoritmo realizado en USRP.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

El algoritmo en su totalidad se muestra en ANEXOS, y que, para mejor comprensión se describe cada una de las etapas que componen el algoritmo diseñado a continuación:

#### 4.1.1 NI USRP.

La USRP que se utiliza en esta investigación es configurada como receptor, para lo cual se considera las categorías de referencia y que son tres, tal como se muestra en la figura 2-4.



**Figura 2-4.** Categorías de referencia y funciones de LabView utilizadas para la USRP.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

##### 4.1.1.1 Funciones de configuración.

###### 4.1.1.1.1 niUSRP Open Rx Session.

Se inicia configurando la USRP mediante la función de apertura de sesión *niUSRP Open Rx Sesión.vi* mostrado en la figura 3-4.



**Figura 3-4.** Función niUSRP Open Rx Sesión.vi.

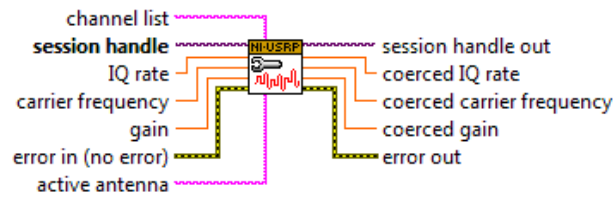
Fuente: (National Instruments Corporation, 2017)

Esta función debe ser siempre la primera en utilizarse para abrir la sesión con la USRP y empezar a trabajar como un receptor, para lo cual se especifica el nombre del dispositivo o la dirección IP. Generalmente se utiliza la dirección IP para el uso de la interfaz Giga Ethernet de la USRP y que es cargada mediante la utilización de *NI-USRP Configuration Utility*. Para el caso de la USRP de esta investigación se utiliza la IP default.

- *Sesión handle out* , se entrega una referencia de que la sesión está establecida y continuar con las categorías de referencia y las siguientes etapas , adicionalmente todas las funciones de NI de LabView para NI-USRP pueden entregar información de algún posible error que pueda suceder con la USRP, por lo que es necesario utilizar estas entradas o salidas dependiendo de la función.



#### 4.1.1.1.2 niUSRP Configure Signal.



**Figura 4-4.** Función niUSRP Configure Signal.vi.

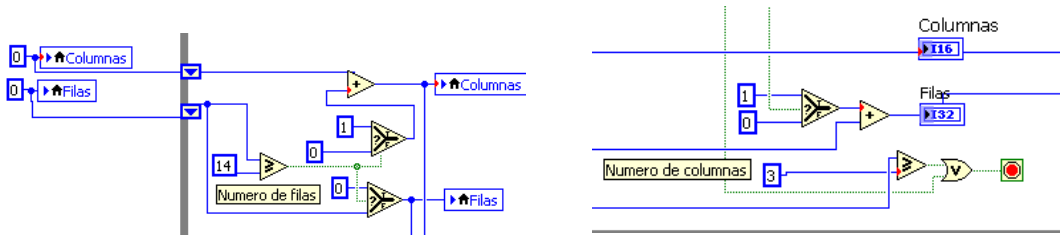
Fuente: (National Instruments Corporation, 2017)

Es la función que permite establecer los parámetros con los cuales se va a realizar la recepción de la señal, como por ejemplo la frecuencia de portadora. Para el caso del diseño del algoritmo de censado de espectro se considera:

- *Session handle*: Identifica que la sesión con la USRP está abierta y que funcione como receptor. Proviene de la función anterior mediante un nodo de propiedades que habilita los diferentes canales de la USRP.
- *IQ rate*: Es el total de muestras de banda base de I/Q en muestras por segundo (Samples/segundos S/s), para lo cual se considera un total de 12,1 MS/S, tomando muy en cuenta que se considera el doble del ancho de banda por cada canal.
- *Carrier Frequency*: Es la frecuencia de la portadora de la señal o el valor central a partir del cual se considera que la USRP va a tomar la IQ rate. Para el algoritmo de censado del espectro el valor considerado es el del inicio de cada canal según la que especifica la tabla 3-3.

Para el censado del espectro se considera utilizar el valor inicial de cada canal debido a que la función que permite la medición espectral de potencia sumará al valor de frecuencia de inicio un valor de 1.25 MHz para establecer el valor de la frecuencia de portadora de video. Por ejemplo, al tener el canal 2, la frecuencia de canal es 54 MHz, pero al sumarle los 1.25MHz se tendrá la frecuencia correspondiente a la portadora de video que es la frecuencia donde se concentra la mayor cantidad de energía y que será posteriormente medida, es decir  $54 \text{ MHz} + 1.25\text{MHz} = 55.25\text{MHz}$ .

Las frecuencias de cada canal están especificadas mediante la utilización de un arreglo formado por los valores numéricos correspondientes a cada frecuencia establecida en la tabla 3-3 y controlado cada cambio de valor por una función de tipo comparativa según lo indica la figura 5-4.



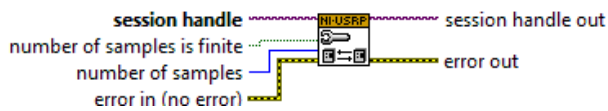
**Figura 5-4.** Rutina para cambio de valor numérico correspondiente a la matriz de frecuencias.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

- *Gain*: Corresponde al valor de una ganancia adicional que se le puede agregar a la señal que está siendo recibida. Su valor por defecto está en dB y al no tener pérdidas considerables se procede a poner un valor de 1.

Las salidas de esta función pueden ser utilizadas para visualizar los valores reales en los que la USRP está trabajando.

#### 4.1.1.1.3 niUSRP Configure Number of Samples.

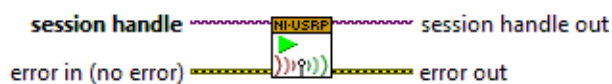


**Figura 6-4.** Función niUSRP Configure Number of samples.vi.

Fuente: (National Instruments Corporation, 2017)

La figura 6-4 indica la función que se utiliza para configurar la USRP cuando es utilizada para adquirir un número finito de muestras o adquirirlas de forma continua. La USRP devuelve el número de muestras igual al valor solicitado o cuando se excede el tiempo de espera, lo que ocurra primero, este valor es considerado para uso de ésta función y también para la de recepción de datos.

#### 4.1.1.1.4 niUSRP initiate.



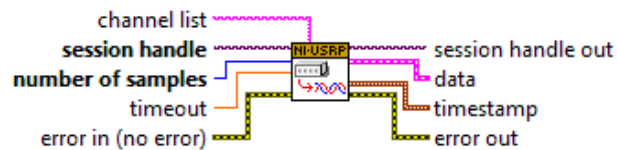
**Figura 7-4.** Función niUSRP Initiative.vi.

Fuente: (National Instruments Corporation, 2017)

Esta función es usada solo para la recepción y le permite a la USRP iniciar la sesión, es decir la adquisición de señales mediante la captura de datos (muestras) una vez que toda la configuración está completa. Si la adquisición inicia sin ningún tipo de problema, la USRP pasa a un estado de ejecución de forma inmediata y a través de su *session handle out* entrega la referencia de la sesión a la próxima función.

#### 4.1.1.2 Funciones de lectura

##### 4.1.1.2.1 niUSRP Fetch Rx Data ( Polymorphic)



**Figura 8-4.** Función niUSRP Fetch Rx Data.vi.

Fuente: (National Instruments Corporation, 2017)

Esta función indicada en la figura 8-4, permite recuperar datos de la sesión anteriormente utilizada mediante la función niUSRP *Initiative.vi*. Estos datos pueden luego ser representados en el dominio del tiempo como formas de onda o procesados digitalmente para su posterior análisis.

Esta función es de tipo polimórfico, lo que significa que hay varias versiones disponibles para elegir dependiendo del tipo de datos con el que desee trabajar. En este caso se trabaja con números complejos, con punto flotante de doble precisión para cada uno de los canales especificados.

Las entradas utilizadas en el desarrollo del algoritmo son el de la sesión establecida, la línea de error y el número de muestras. El número de muestras es el mismo utilizado por la función de la figura 6-4 y este valor es indicado debido a que se trata de una adquisición de tipo finita.

- *Data*: La salida más importante corresponde a las muestras en banda base representados en formas de onda de tipo complejo correspondientes a la parte real representada por la fase (I) y la parte imaginaria representada por la cuadratura (Q) con punto flotante de doble presión, para un tiempo  $t_0$  de activación, con variaciones de tiempo en  $dt$ , así como también información de muestreo.

#### 4.1.1.3 Funciones de cierre.

##### 4.1.1.3.1 niUSRP Abort.

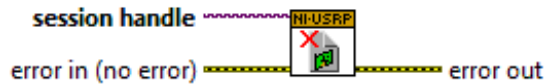


**Figura 9-4.** Función niUSRP Abort.vi.

Fuente: (National Instruments Corporation, 2017)

Una vez que se inició la sesión y se está adquiriendo datos de forma finita mediante esta función se procede únicamente a detener la adquisición de datos, por tal razón ésta solo permite cambiar la configuración, pero no la cierra por completo, por lo que si se desea reabrir otra sesión se la puede realizar nuevamente.

##### 4.1.1.3.2 niUSRP Close Session.



**Figura 10-4.** Función niUSRP Close Session.vi.

Fuente: (National Instruments Corporation, 2017)

Es la función que finaliza la sesión de recepción y libera la memoria utilizada durante la sesión abierta. Al ser la última función ya no es posible recibir datos desde la USRP hasta que se vuelva a abrir una nueva sesión.

#### 4.1.1.4 Funciones de medición de espectro.

##### 4.1.1.4.1 SMT Basic Zoom Power Spectrum.



**Figura 11-4.** Función SMT Basic Zoom Power Spectrum.vi.

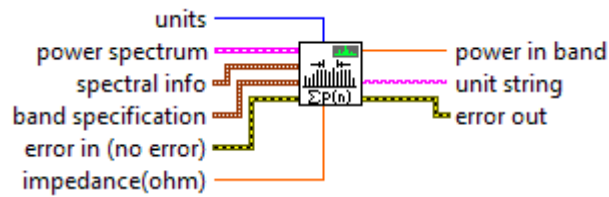
Fuente (National Instruments Corporation, 2017)

Esta función permite calcular el espectro de potencia de la señal de entrada en el dominio del tiempo de acuerdo a la frecuencia e intervalo especificado, obteniendo como resultado un valor real del espectro de potencia e información espectral.

Para el diseño del algoritmo, la señal que calcula el espectro de potencia es la proveniente de la función de lectura de la USRP, es decir de *niUSRP Fetch Rx Data.vi* indicada en la figura 8-4. Los parámetros de entrada y salida utilizados para el diseño del algoritmo se describen a continuación:

- *Signal in*: Especifica una señal en el dominio del tiempo con un  $t0$  para cada activación, los valores de intervalo de tiempo en  $dt$  y las muestras correspondientes provenientes de la función anterior.
- *Center frequency*: corresponden al valor real entregado por la función de configuración de canal (figura 4-4) para todas las frecuencias de UHF y VHF controladas mediante la utilización de la rutina para cambio de valor numérico correspondiente a la matriz de frecuencias.
- *Span*: La función SMT Basic Zoom Power Spectrum permite realizar el cálculo del espectro para un rango de frecuencias especificado. Para el caso del diseño se especifica la frecuencia central y un span que cubra el ancho de banda de todo un canal de TV, por ejemplo, el canal 42, tiene su frecuencia inicial de 638MHz, el span de 12MHz permite calcular el espectro de potencia desde 632 MHz hasta 644MHz y que para fines de esta investigación solo se considerará en el siguiente bloque la banda superior entre 638 a 644 MHz correspondiente al ancho de banda total del canal 42.
- *Power spectrum*: Entrega el valor real del espectro de potencia, así como la  $f0$  de inicio, el intervalo entre puntos  $df$  y la potencia espectral.
- *Spectral info*: devuelve las propiedades tales como el tipo de espectro, potencia espectral en unidades lineales o dBs, tipo de ventana, tamaño de la ventana y el tamaño de FFT del espectro calculado.

#### 4.1.1.4.2 SMT Power In Band.



**Figura 12-4.** Función SMT Power In Band.vi.

Fuente (National Instruments Corporation, 2017)

Esta herramienta de cálculo de espectro permite medir la potencia total en un rango o banda de frecuencias, aplicando métodos de suavizado de la señal tales como el enventanado y relleno de ceros en caso de necesitarlo.

Para realizar dichos cálculos utiliza la siguiente ecuación:

$$Power\ in\ Band = \frac{\sum_{f_1}^{f_h} X(f)}{ENBW} \times \frac{Wsize}{FFTsize} \quad (14)$$

Donde  $X(f)$  es la potencia espectral de entrada en  $V_{rms}^2$ , especificado en una frecuencia central, para un ancho de banda en Hz y con los límites  $f_1$  y  $f_h$  de la banda de frecuencias respectivamente; ENBW es el ancho de banda equivalente de ruido,  $W$  es el tamaño de la ventana y FFT el tamaño de la transformada rápida de Fourier.

Los parámetros utilizados en el algoritmo de censado de espectro son los siguientes:

- *Power spectrum*: corresponde al valor real del espectro de potencia proveniente de la función *SMT Basic Zoom Power Spectrum.vi*.
- *Spectral info*: recoge las propiedades donde se indica el tipo de espectro, la potencia espectral en unidades lineales o dBs, tipo de ventana, tamaño de la ventana y el tamaño de FFT del espectro calculado. Los valores utilizados para este parámetro son los establecidos por defecto, donde se especifica un espectro de tipo complejo con FFT, con unidades lineales, en una ventana de tipo rectangular, con la impedancia de 50 ohm y el valor cuadrático de la magnitud.

La ventana de tipo rectangular secciona una señal dentro de un intervalo de tiempo finito de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N} \quad (15)$$

- *Band specification:* Se debe especificar una frecuencia central en Hz y el ancho de banda a medir en torno a esa frecuencia central. En la Función SMT Basic Zoom Power Spectrum se consideró un span de 12Mhz con frecuencia central correspondiente a la frecuencia inicial de cada canal para posteriormente solo considerar la banda lateral superior equivalente a los 6MHz de cada canal.

Hay que indicar que en una señal de TV de 6MHz, la portadora de imagen se encuentra ubicada a 1.25MHz desde el lado de banda baja parcial y es la que reúne un elevado valor de energía en comparación con el resto de señales que forman la señal completa de TV. Al utilizar la función de medición de potencia donde se debe especificar una frecuencia central y una banda, se consideró entonces que es necesario medir el espectro para cada uno de los canales de TV en UHF y VHF en esta frecuencia (1.25MHz) y con una banda de 0,5 MHz.

- *Units:* Una vez que realiza la medición procede a convertir y devolver la potencia a unidades de salida como vatios, dBW o dBm, etc.
- *Power in band:* Entrega la potencia de la señal contenida en los 0,5MHz a los 1,25MHz de cada canal de Tv en las frecuencias de UHF y VHF. Estos valores nos permitirán realizar el análisis posterior para la toma de decisión en cuanto a las métricas de rendimiento del método de censado de energía.

#### 4.1.1.4.3 SMT Spectrum Unit Conversion.



**Figura 13-4.** Función SMT Spectrum Unit Conversion.vi.

Fuente (National Instruments Corporation, 2017)

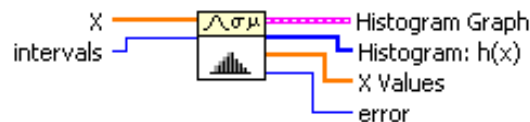
Paralelamente a la función indicada en la figura 12-4, se utiliza una función que realiza la conversión de unidades del espectro de potencia medida, con el propósito de personalizar el espectro de salida y que puede llevar a ordenar los datos en un histograma con todas las potencias medidas para cada uno de los canales de TV en las frecuencias de VHF y UHF.

Esta función utiliza la relación entre el tamaño de ventana y el tamaño de FFT para corregir cualquier diferencia entre el número de intervalos de frecuencia en el espectro y el número de puntos en la señal de dominio de tiempo, garantizando de esta forma que se puede conservar la energía de la señal original.

#### 4.1.1.5 Funciones de probabilidad.

Estas funciones ayudan a que el método de censado de energía ayude a tomar la decisión de presencia o ausencia de cualquier tipo de usuario cumpliendo las denominadas métricas de rendimiento para las diferentes probabilidades y que están representadas en las ecuaciones (6), (7) y (8).

##### 4.1.1.5.1 Histogram.



**Figura 14-4.** Función histogram.vi.

Fuente (National Instruments Corporation, 2017)

Permite calcular el histograma  $h(x)$  de los valores que ingresan a través de  $X$ . En forma gráfica general el histograma representa en el eje vertical a  $h(x)$  correspondiente a las frecuencias relativas a los valores de  $X$  y en el eje horizontal a cada uno de esos valores de  $X$  dentro de un rango especificado.

El histograma es un recuento del número de veces que un intervalo especificado se repite o produce en la secuencia de entrada. Este intervalo es especificado de acuerdo a la siguiente ecuación (16):

$$\Delta x = \frac{V_{max} - V_{min}}{m} \quad (16)$$

Donde  $V_{max}$  y  $V_{min}$  son los valores máximo y mínimo presentes en la secuencia de entrada  $X$  y  $m$  es el número de intervalos. La secuencia de salida para los valores de  $X$  es la representada mediante la ecuación (17)

$$X_i = 0.5 \min + \Delta x + i\Delta x \quad (17).$$

Para  $i = 0, 1, 2, 3, \dots, m-1$ .



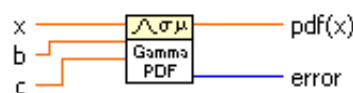
La evaluación de la secuencia del histograma para  $h(x)$  lo realiza mediante la ecuación (18):

$$h(x) = h_i = \sum_{j=0}^{n-1} y_i(x_j) \quad (18)$$

Donde  $h_i$  son los elementos de la secuencia de salida del histograma , y n es el número de elementos en la secuencia de entrada X.

La secuencia X de entrada para el algoritmo de evaluación del espectro, es la proveniente de la función que permite calcular la potencia en la banda, que corresponde a la función de la figura 12-4 y cuyos datos indican la potencia de la señal contenida en los 0,5MHz a los 1.25MHz de cada canal en las frecuencias de UHF y VHF.

#### 4.1.1.5.2 Continuos PDF.



**Figura 15-4.** Función Continuos PDF.

Fuente (National Instruments Corporation, 2017)

Esta función permite el cálculo de la densidad de probabilidad de una variable de tipo aleatoria pero continua y que al tener a X como una variable aleatoria continua se considera como densidad de probabilidad a la función que satisface la siguiente ecuación:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 \quad (19)$$

Donde  $f(x) \geq 0 ; \forall x$  , por lo que el área bajo la curva de todo su espacio es igual a 1.

Al tener los valores de una variable X de tipo continua, la curva que forman estos valores provenientes del histograma son los correspondientes a los de una función de densidad de probabilidades. Esta función está modelando el comportamiento de las variables aleatorias continuas que provienen de la media y la varianza de las potencias medidas y que muestran una asimetría positiva.

La distribución de todos los datos del histograma que se está analizando son aproximadamente los de una distribución de tipo gamma. La expresión de esta función gamma está basada en los parámetros positivos  $\alpha$  y  $\beta$ , los cuales definen su forma y alcance.

La media de la distribución gamma viene dada por la siguiente formula:

$$\mu = \alpha * \beta \quad (20)$$

Y la varianza por:

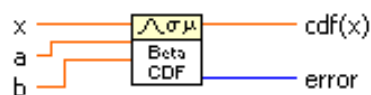
$$\sigma^2 = \alpha * \beta^2 \quad (21)$$

Los valores que alimentan los bloques *ContinuosPDF.vi* y *ContinuosCDF.vi* están dados al despejar  $\alpha$  y  $\beta$  de (20) y (21) teniendo:

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (22)$$

$$\beta = \frac{\sigma^2}{\mu} \quad (23)$$

#### 4.1.1.5.3 Continuos CDF.



**Figura 16-4.** Función Continuos CDF.

Fuente (National Instruments Corporation, 2017).

La función CDF es la distribución acumulada de una variable aleatoria de tipo continua. En el algoritmo, una vez encontrados los valores de  $\mu$ (media) y la  $\sigma^2$ (varianza) correspondientes a la potencia de la señal y representados a través de un histograma, se procede a establecer la indicación de canal ocupado o libre.

Mediante esta función se calcula la probabilidad acumulada del valor  $X$ , que para el caso del algoritmo es considerado como el valor de la toma de decisión con -50dBm. La indicación de canal libre u ocupado depende de la probabilidad de que los valores de la media y la varianza igualados a los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  para esta distribución tipo Gamma, tengan un valor menor al indicado en la decisión.

Para la estimación del umbral se consideró las señales de tipo analógicos debido a que la parte de espectro que se encuentra ocupada en su mayoría, utiliza este tipo de señales en contraste con una sola señal de TDT existente.

## CAPITULO V

### 5 RESULTADOS

#### 5.1 Indicadores generales del algoritmo realizado en USRP

Los parámetros establecidos para la toma de datos en la USRP son los que se muestran a continuación en la figura 1-5.

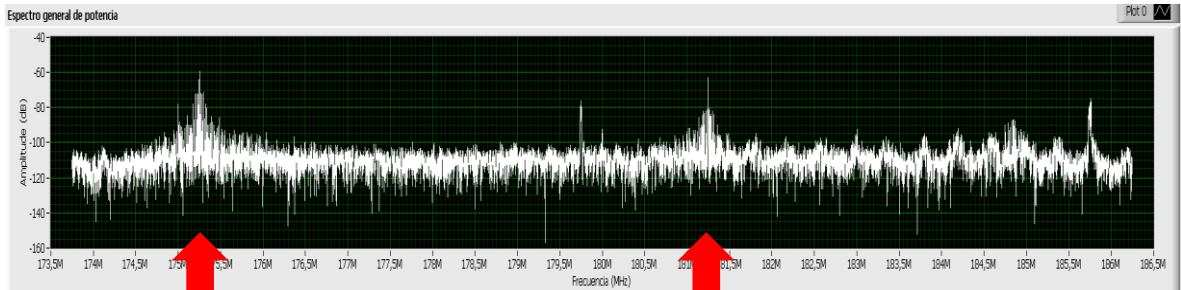


**Figura 1-5.** Parámetros de configuración para NI USRP 2920.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

Iniciada la captura de datos mediante los bloques correspondientes a la configuración de Recepción en la USRP, se verifica en el espectro general de potencia la recepción de las diferentes señales con un ancho de banda de 12,1MHz aproximadamente que es lo establecido a través del I/Q rate. Como ejemplo se tiene la figura 2-5, la cual muestra el espectro para las frecuencias desde 174MHz hasta 186MHz, y donde se nota picos en 175,25MHz correspondiente a la

portadora de video del canal 7 y otro pico en 181.25MHz que es la portadora de video del canal 8.

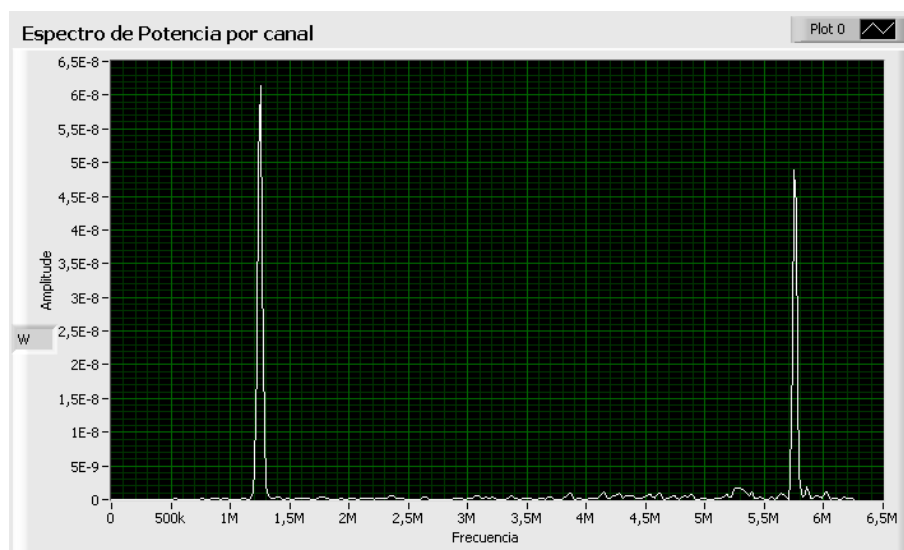


**Figura 2-5.** Espectro general de potencia para las frecuencias desde 174MHz hasta 186MHz. Las flechas indican picos en 175.25MHz y 181.25MHz.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

Para los canales especificados en las frecuencias UHF y VHF, con los correspondientes bloques indicados en la figura 11-4, la figura 12-4 y la figura 13-4 se ha medido las potencias y se puede visualizar el espectro para cada uno de los canales. En la figura 3-5 muestra un espectro de potencia para un canal cuyo resultado final es “ocupado”, siendo el canal 2 con frecuencias desde los 54 MHz hasta los 60MHz.

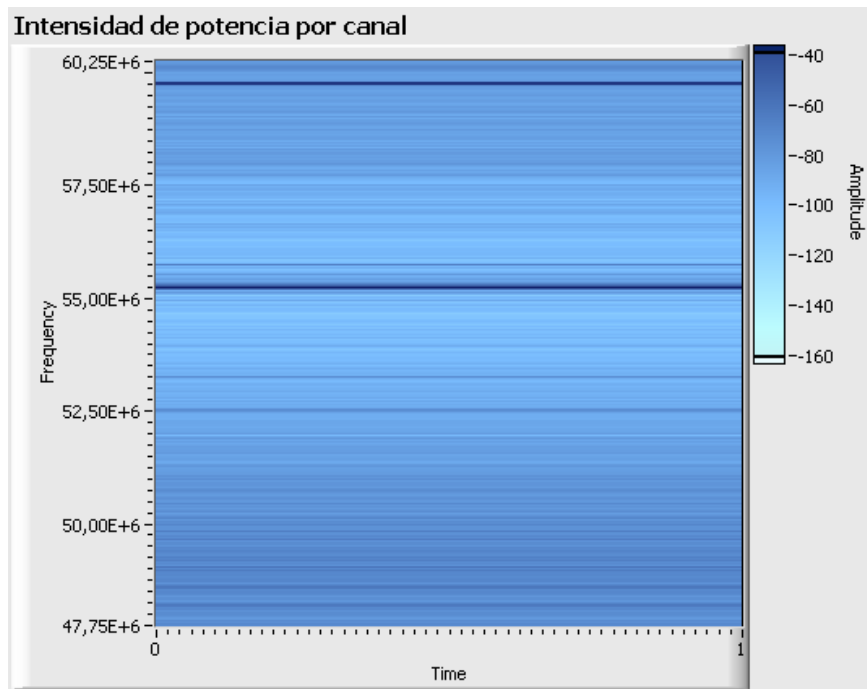
El espectro muestra que la mayor concentración de energía se encuentra en la portadora de video a los 1.25MHz desde el lado de banda baja llegando a formar el espectro similar al mostrado en la figura 1-3. Adicionalmente se puede notar el pico elevado en 55.75MHz, que es la correspondiente portadora de sonido.



**Figura 3-5.** Espectro de potencia para el canal 2 como ocupado.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

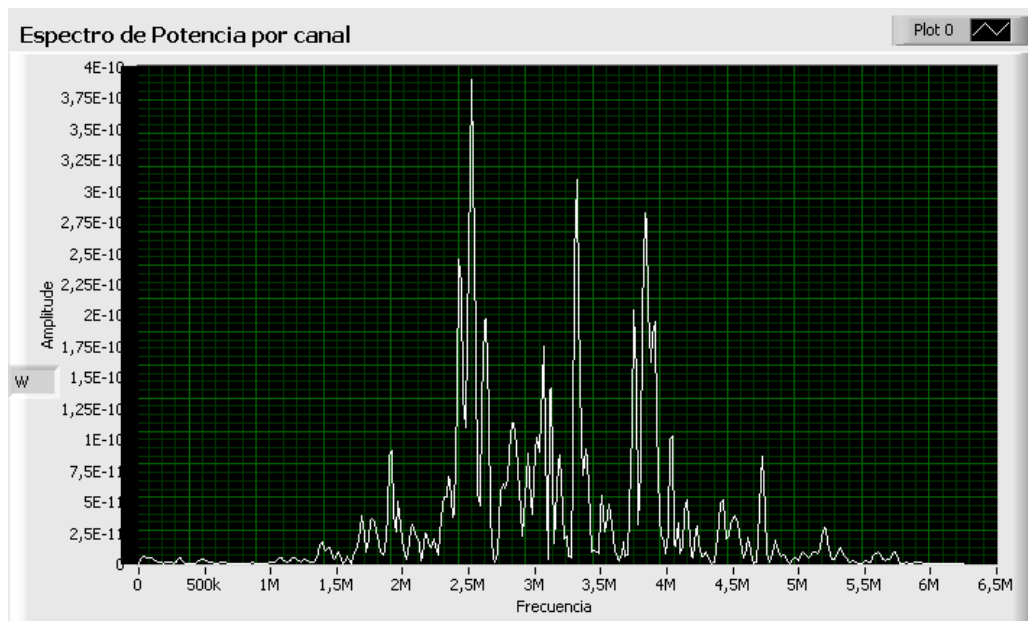
La figura 4-5 muestra para el canal “ocupado” la intensidad de potencia concentrada en su mayoría en la portadora de video.



**Figura 4-5.** Intensidad de potencia para el canal 2 ocupado.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

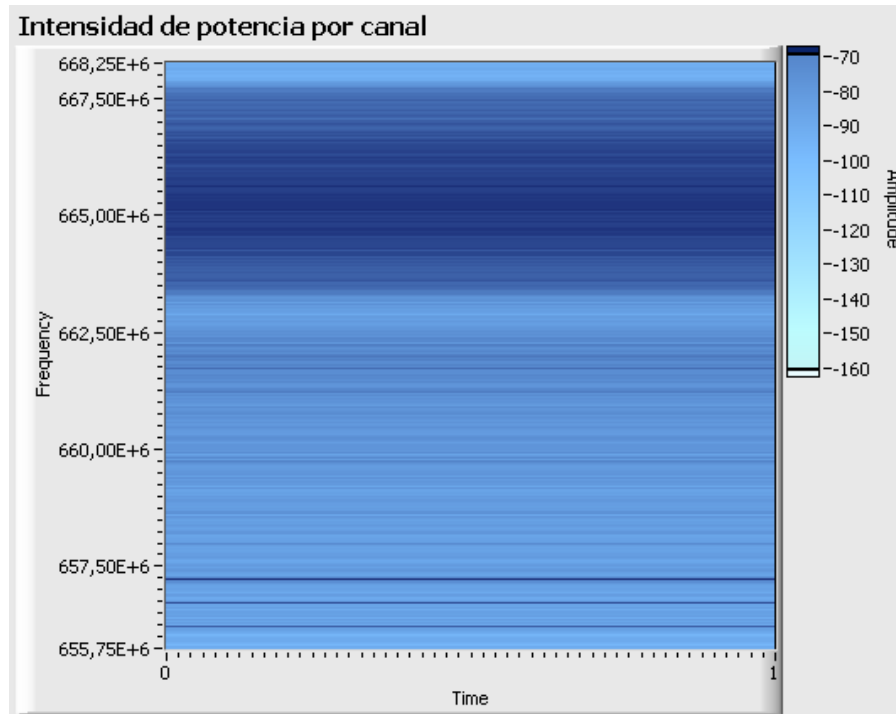
Para un canal considerado “libre” la figura 5-5 muestra el ruido presente en el ancho de banda correspondiente al canal 45 en las frecuencias entre 656-662MHz.



**Figura 5-5.** Espectro de potencia para un canal libre (canal 45; 656 – 662 MHz).

Realizado por: (Jiménez, 2017)

De igual manera la intensidad de potencia para el canal libre, no concentra en un valor específico, sino que muestra una distribución no uniforme en el ancho de banda, como bien se puede observar en la figura 6-5.



**Figura 6-5.** Intensidad de potencia para un canal libre (canal 45; 656 – 662 MHz).

Realizado por: (Jiménez, 2017)

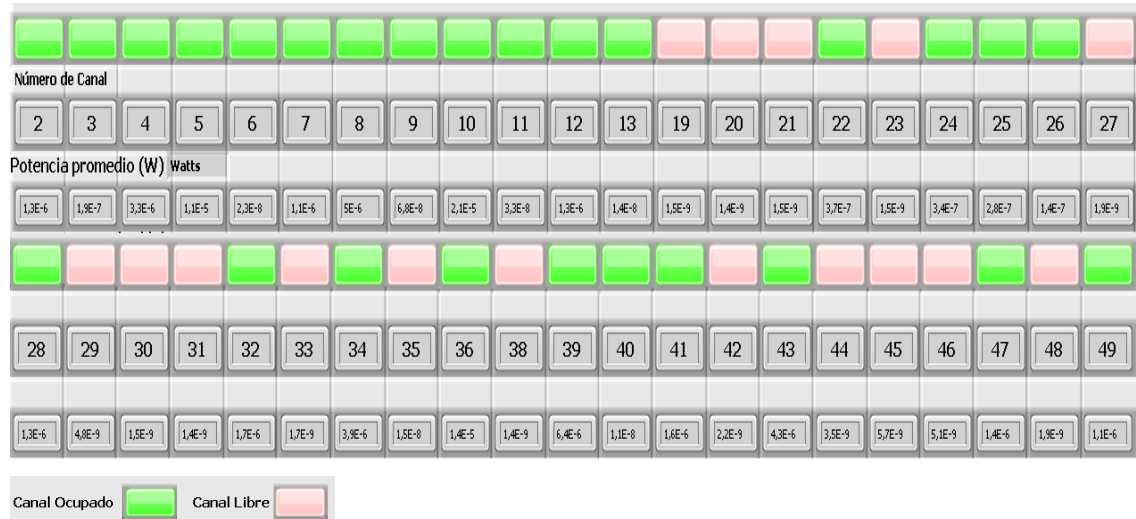
## 5.2 Indicadores de evaluación del espectro radioeléctrico en las bandas VHF y UHF para uso potencial del estándar IEEE802.11af

El censado del espectro radioeléctrico con el algoritmo en radio definido por software anteriormente explicado y precargado en la USRP, basado en el método de censado de energía con un umbral de decisión establecido para el IEEE 802.11af de -50dBm para canales de televisión analógicos, aplicado en la zona urbana del cantón Ambato formado por sus nueve parroquias urbanas, de los cuales se ha considerado aplicar el algoritmo en dos puntos por parroquia urbana. Estos dos puntos son los extremos opuestos (lejano y cercano) al punto considerado de mayor concentración de antenas repetidoras y matrices para el servicio de televisión que es el cerro Pilishurco.

### 5.2.1 Indicador 1

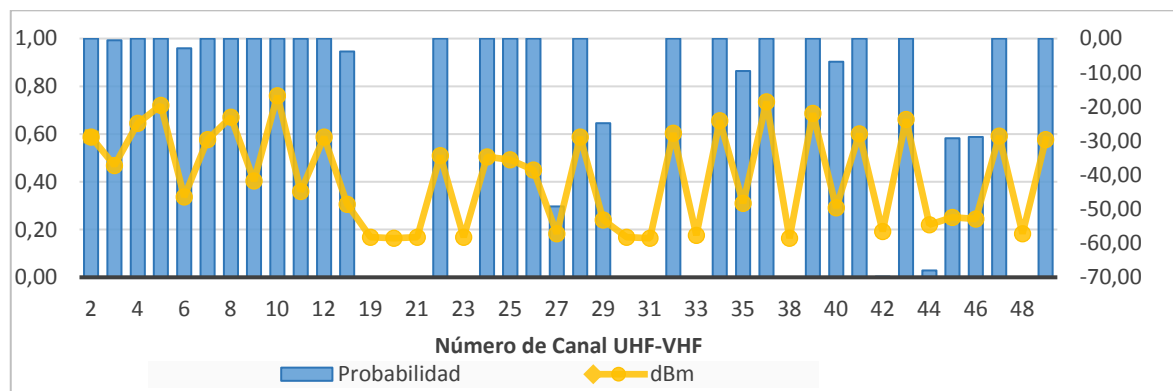
En la parroquia la Merced los puntos considerados son:

- Hospital Regional con referencia 1°13'58.16" S 78°37'23.98" 2542msnm



**Figura 7-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona del Hospital Regional Ambato, Parroquia la Merced.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

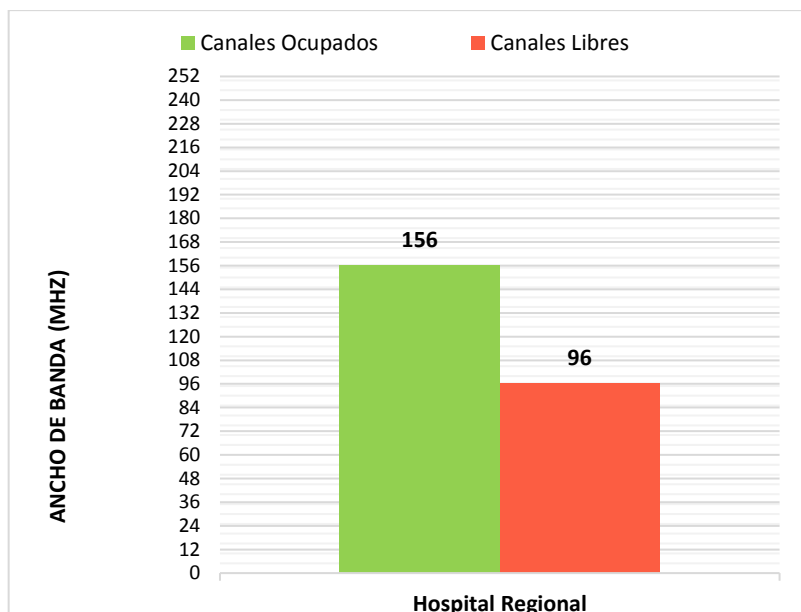


**Figura 8-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del Hospital Regional Ambato, Parroquia la Merced.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 7-5 y figura 8-5 muestran que existe un total de 26 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90% y una falsa alarma del 10%.



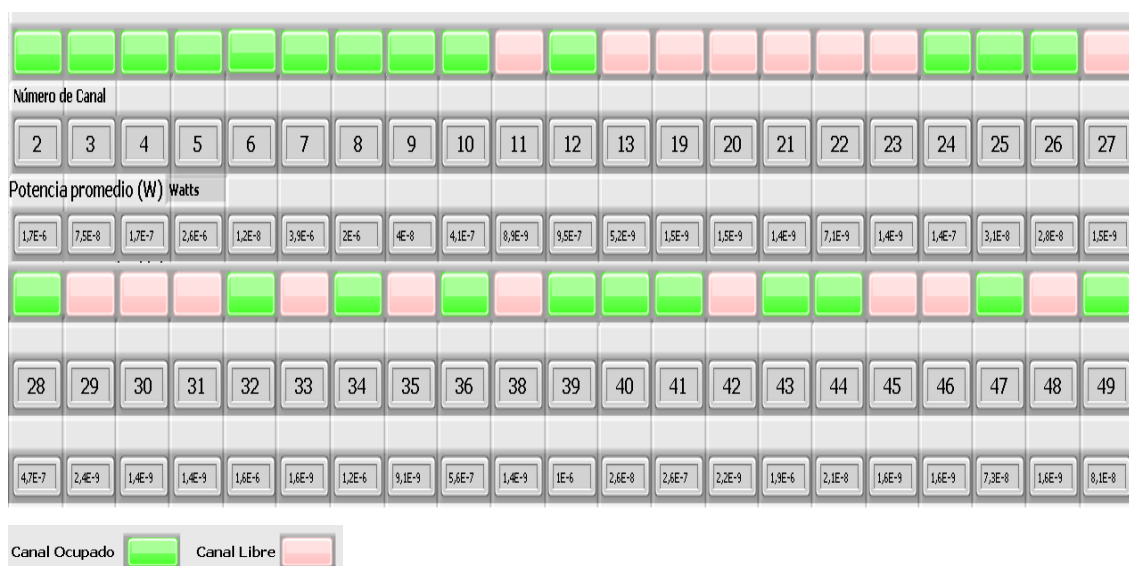


**Figura 9-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar , zona del Hospital Regional Ambato.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

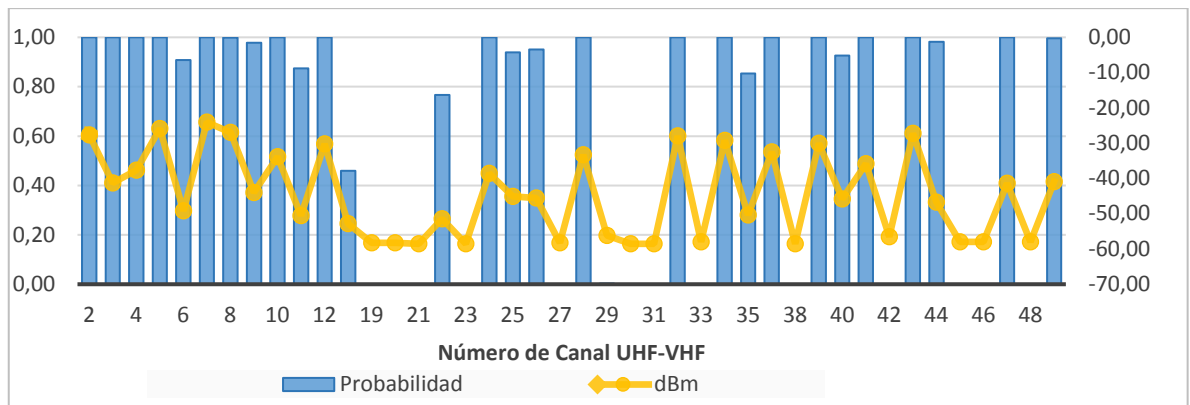
Existen 16 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 96 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 38,10%.

- Llegada al puente vehicular Av. Indoamerica con referencia  $1^{\circ}13'51.76''$  S  $78^{\circ}36'44.62''$  O con elevación 2480msnm.



**Figura 10-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona del puente Indoamérica, Parroquia la Merced.

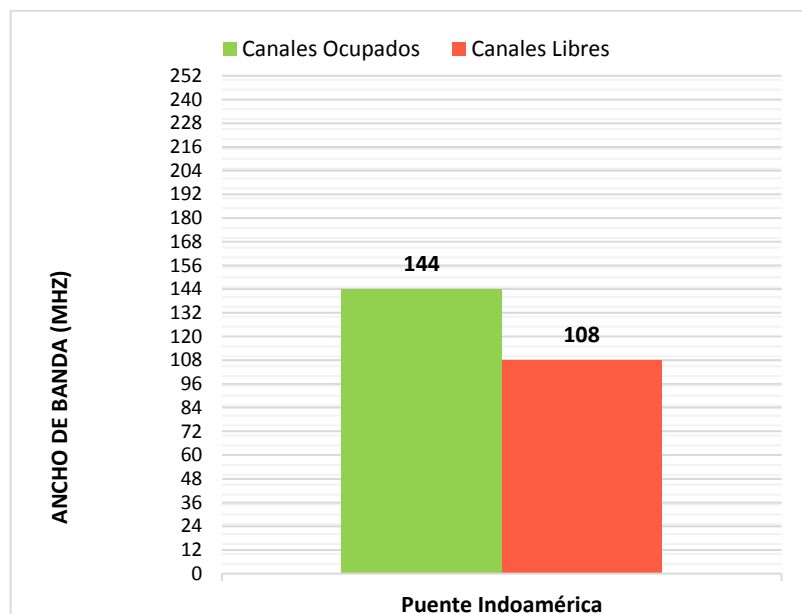
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 11-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del puente Av. Indoamérica, Parroquia la Merced.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 10-5 y figura 11-5 muestran que existe un total de 24 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 57,14% del total del espectro.



**Figura 12-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del puente Indoamérica

Realizado por: (Jiménez, 2017).

Existen 18 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 108 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 42,86% disponible.

### 5.2.2 Indicador 2

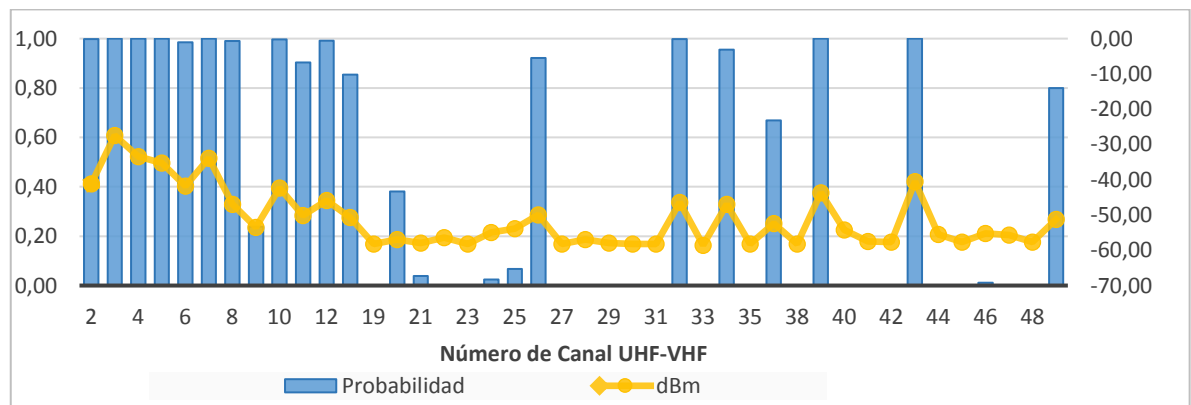
En la parroquia Atocha Ficoa los puntos considerados son:

- Ambato Tennis Club con referencia 1°15'13.58" S 78°38'50.02" O 2594msnm



**Figura 13-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona de Ambato Tennis Club, Parroquia Ficoa.

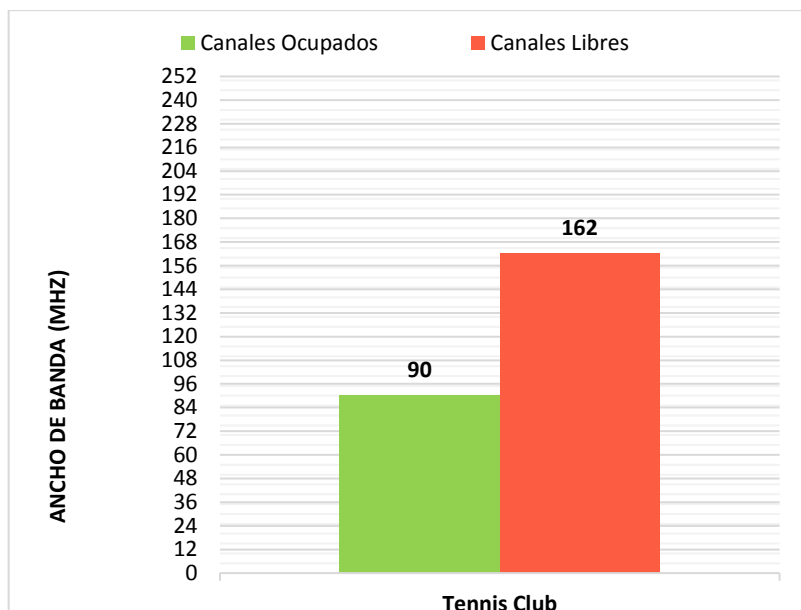
Realizado por: (Jiménez, 2017)



**Figura 14-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de Ambato Tennis Club, Parroquia Ficoa.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 13-5 y figura 14-5 muestran que existe un total de 15 canales ocupados con una probabilidad de detección mayor al 90%, equivalente al 37.71% del total del espectro.

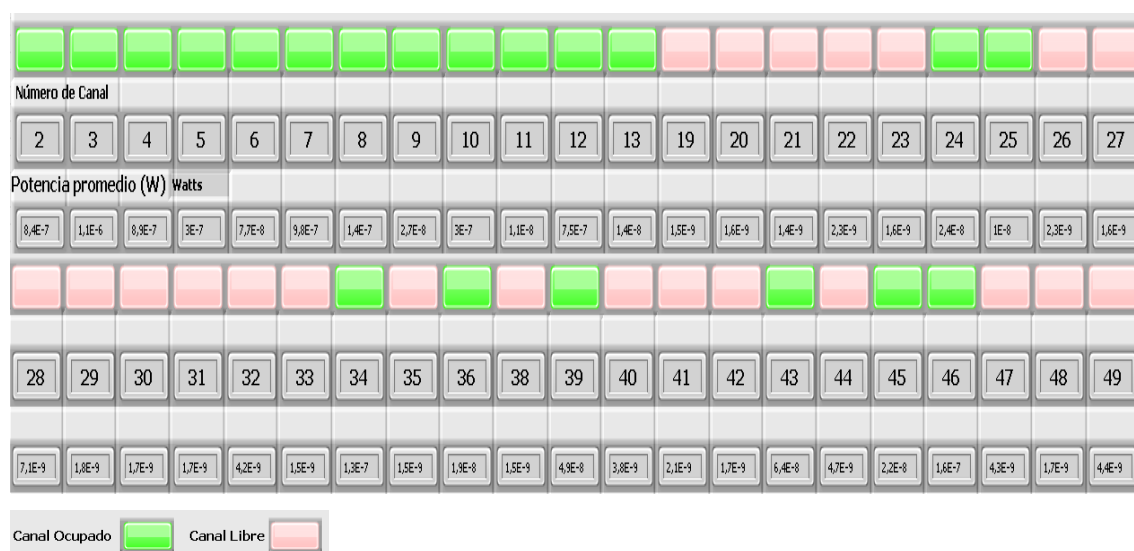


**Figura 15-5.** Indicador de ancho de banda libre para utilizar con el estándar para la zona de Ambato Tennis Club.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

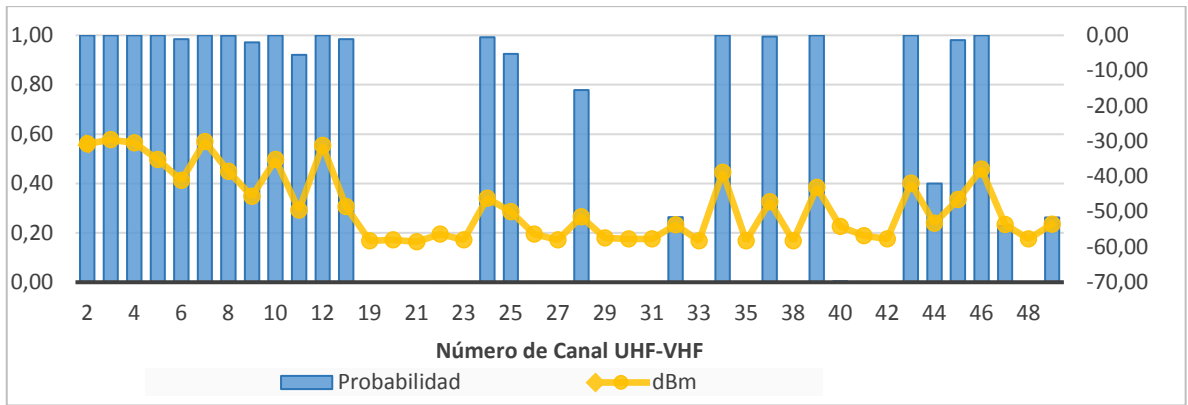
Existen 27 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 162 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 64,29% disponible.

- Hospital IESS con referencia 1°14'5.90" S 78°37'53.49" O 2546msnm



**Figura 16-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona del Hospital IESS, Parroquia Atocha.

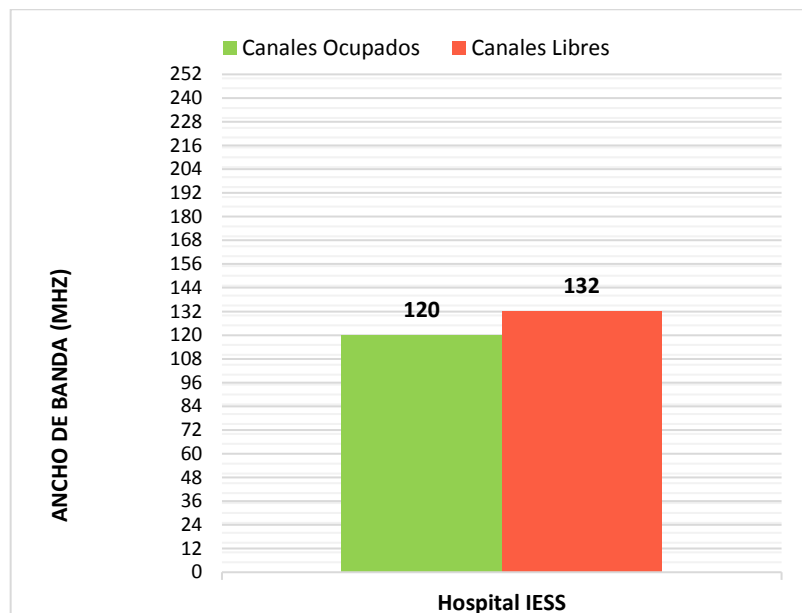
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 17-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del Hospital IESS, Parroquia Atocha.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 16-5 y figura 17-5 muestran que existe un total de 20 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 47,62% del espectro en VHF y UHF.



**Figura 18-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del Hospital IESS.

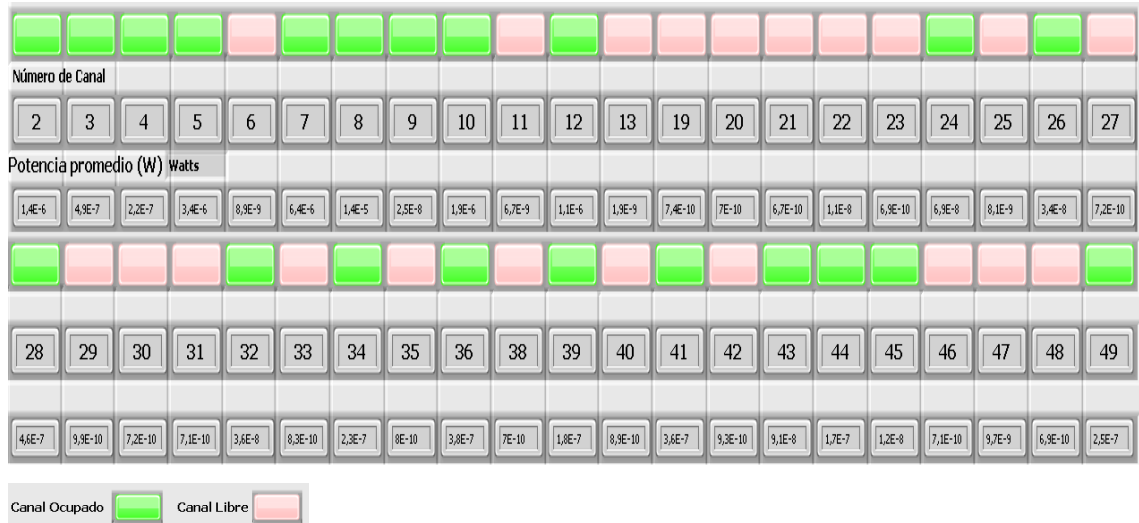
Realizado por: (Jiménez, 2017)

Existen 22 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 132 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 52,38% disponible.

### 5.2.3 Indicador 3

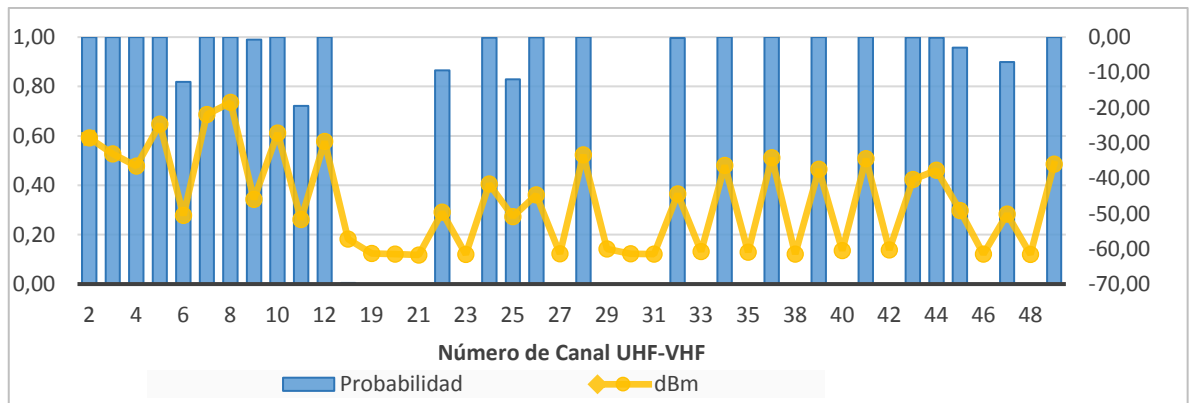
En la parroquia Celiano Monje los puntos considerados son:

- Av. Aníbal Granja con referencia 1°17'43.49" S 78°38'3.98" O 2798msnm.



**Figura 19-5.**Indicador de canales libres y ocupados para la zona de la Av. Aníbal Granja, Parroquia Celiano Monje.

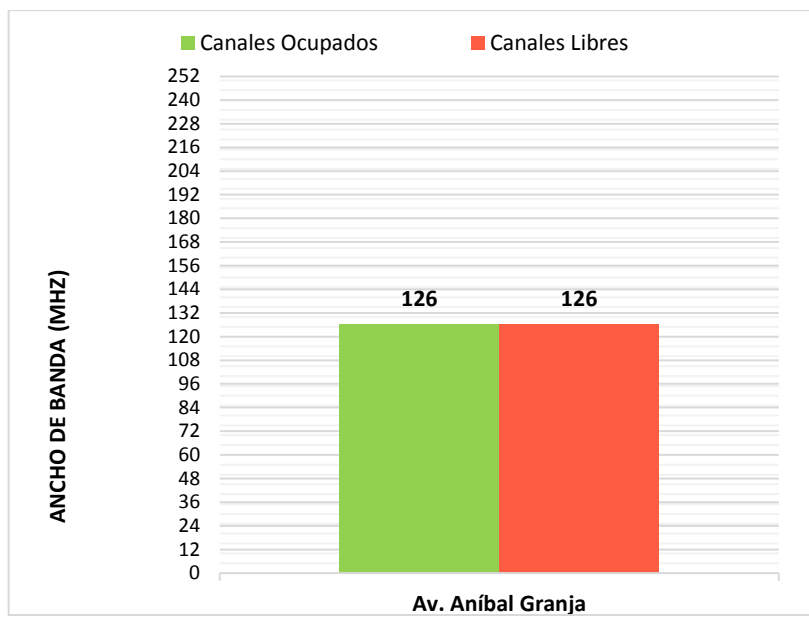
Realizado por: (Jiménez, 2017)



**Figura 20-5.**Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de la Av. Aníbal Granja, Parroquia Celiano Monje.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

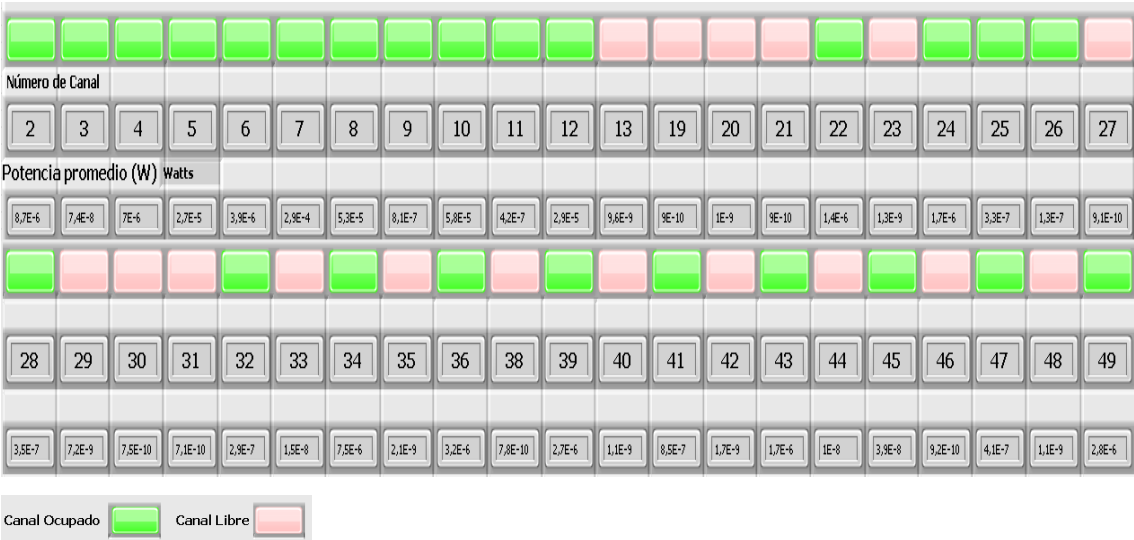
La figura 19-5 y figura 20-5 muestran que existe un total de 21 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 50,00% del total del espectro.



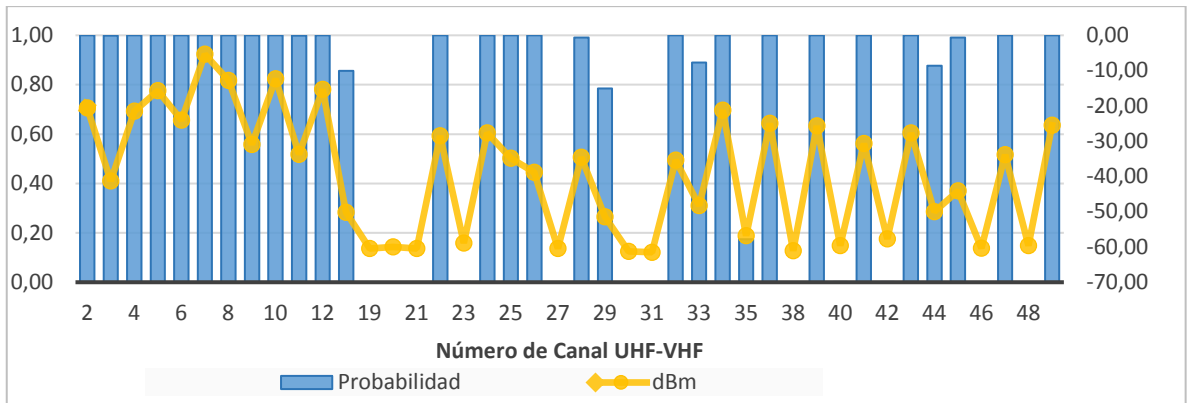
**Figura 21-5.**Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de la Av. Aníbal Granja, Parroquia Celiano Monje.  
Realizado por: (Jiménez, 2017)

Existen 21 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 126 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 50% disponible

- Redondel Rumiñahui con referencia 1°15'4.41" S 78°37'21.28" O 2655msnm.



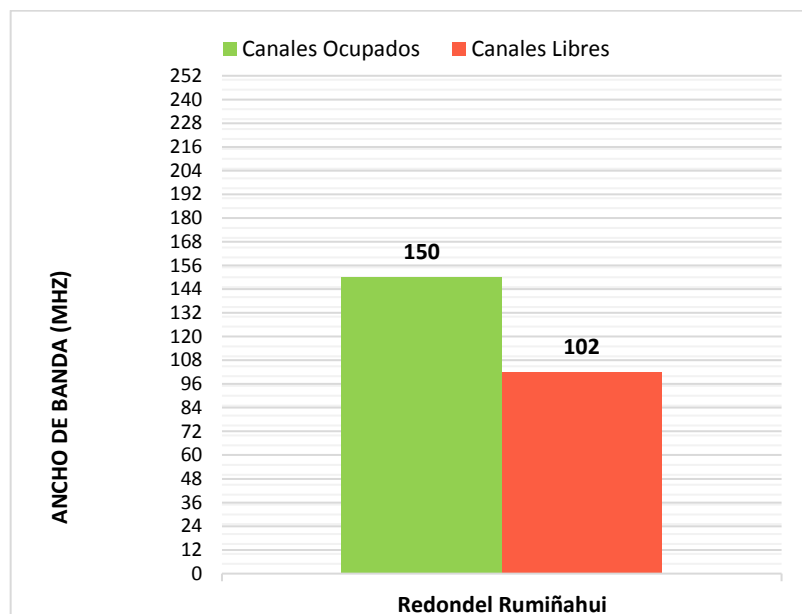
**Figura 22-5.**Indicador de canales libres y ocupados para el redondel Rumiñahui, Parroquia Celiano Monje.  
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 23-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para el redondel Rumiñahui, Parroquia Celiano Monje.

Realizado por: (Jiménez, 2017) .

La figura 22-5 y figura 23-5 muestran que existe un total de 25 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 59,52% del total del espectro disponible.



**Figura 24-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, redondel Rumiñahui, Parroquia Celiano Monje.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

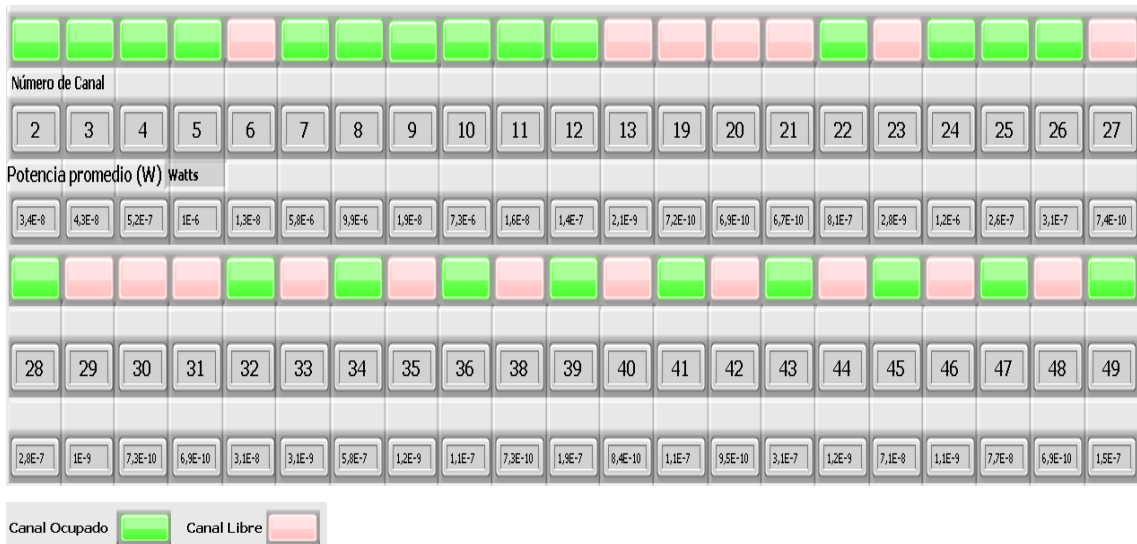
Existen 17 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 102 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 40,48% disponible.



### 5.2.4 Indicador 4

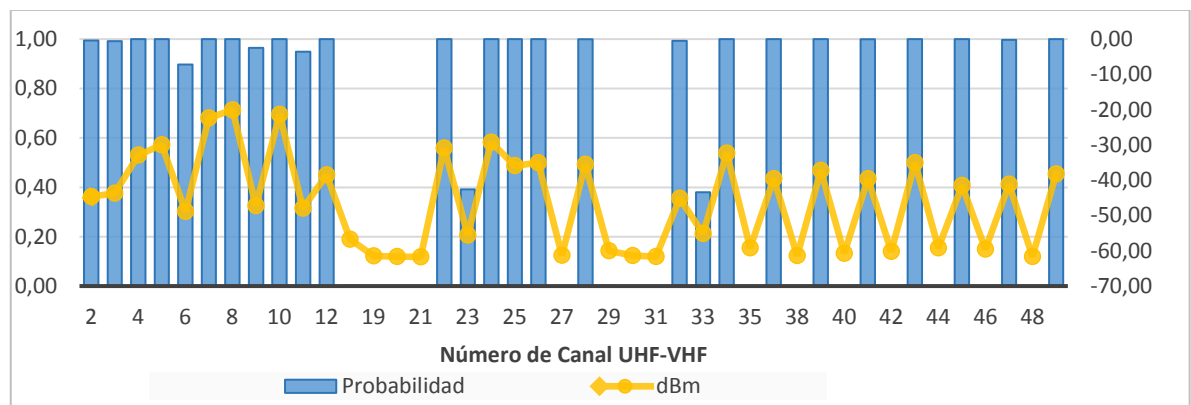
En la parroquia Huachi Chico los puntos considerados son:

- Santa Marianita con referencia 1°17'39.62" S 78°38'37.96" O 2876msnm.



**Figura 25-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona Santa Marianita, Parroquia Huachi Chico.

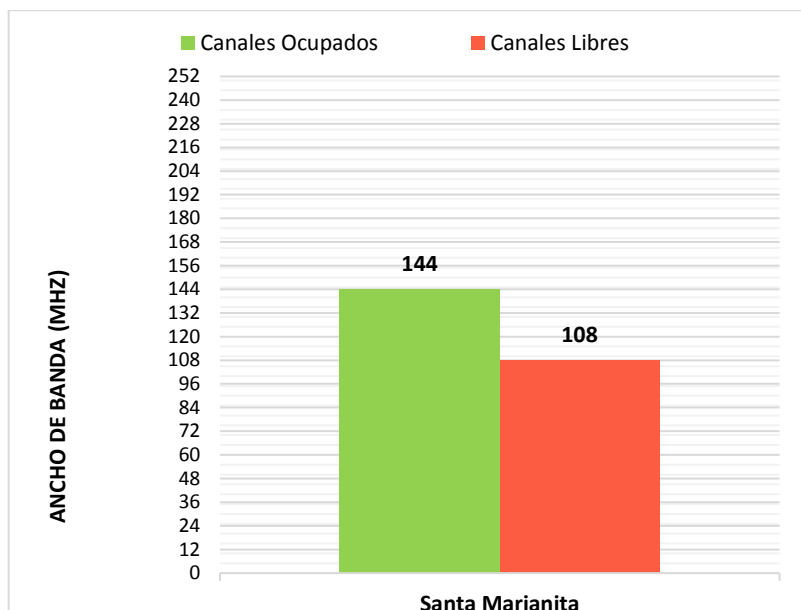
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 26-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona Santa Marianita, Parroquia Huachi Chico.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 25-5 y figura 26-5 muestran que existe un total de 24 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 57,14% del total del espectro.

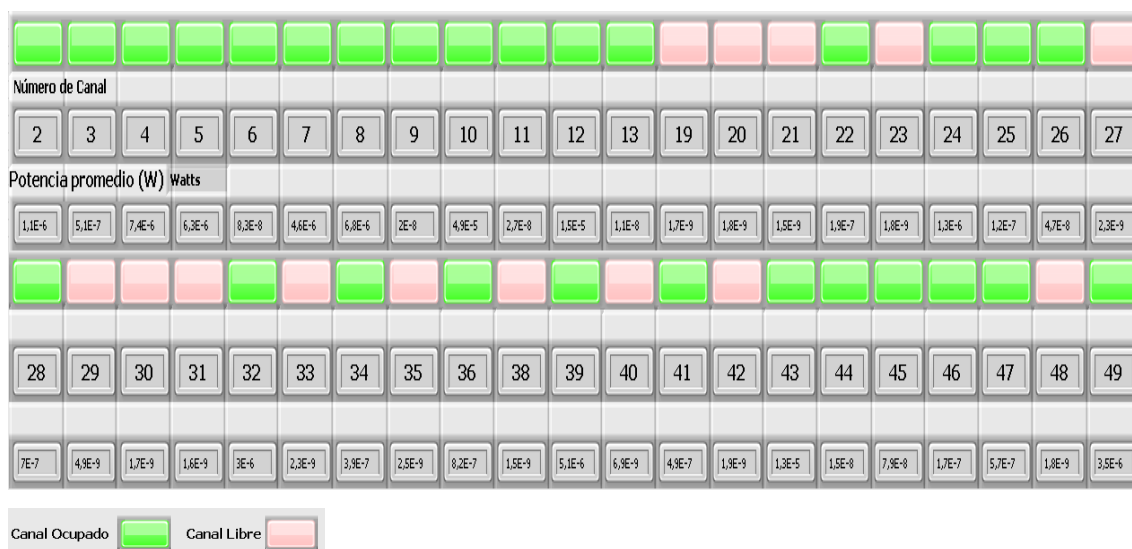


**Figura 27-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona Santa Marianita, Parroquia Huachi Chico.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

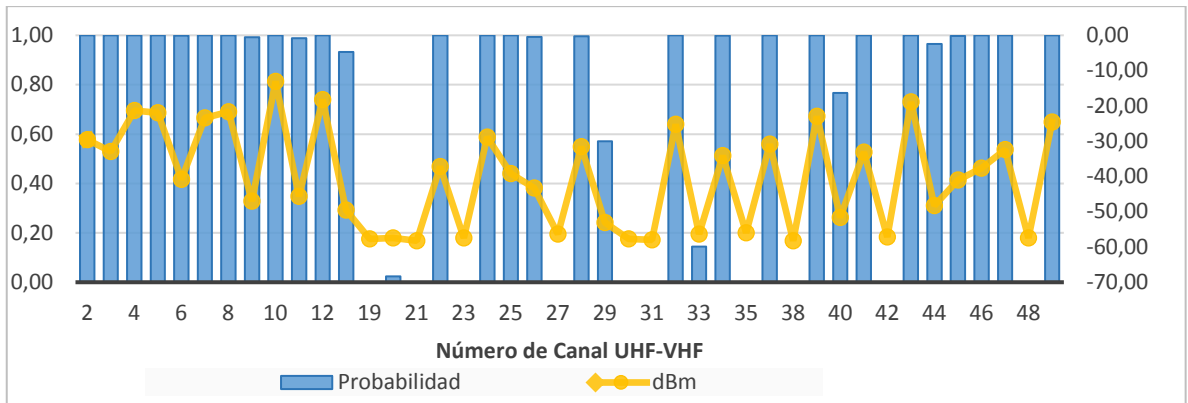
Existen 18 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 108 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 42,86% disponible.

- Redondel Policía con referencia 1°15'16.36" S 78°37'58.07" O 2654msnm.



**Figura 28-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona redondel Policía, Parroquia Huachi Chico.

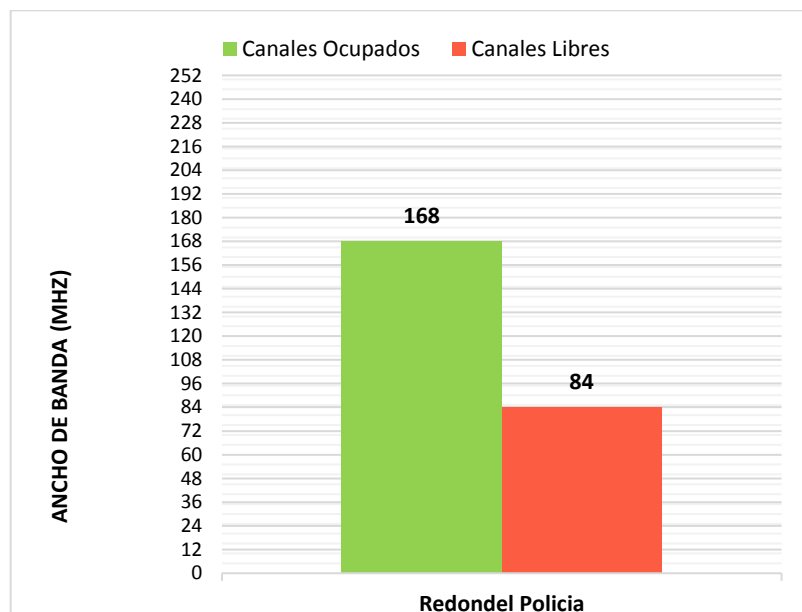
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 29-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona redondel Policía, Parroquia Huachi Chico.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 28-5 y figura 29-5 muestran que existe un total de 28 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 66,67% del total del espectro disponible.



**Figura 30-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona redondel Policía, Parroquia Huachi Chico.

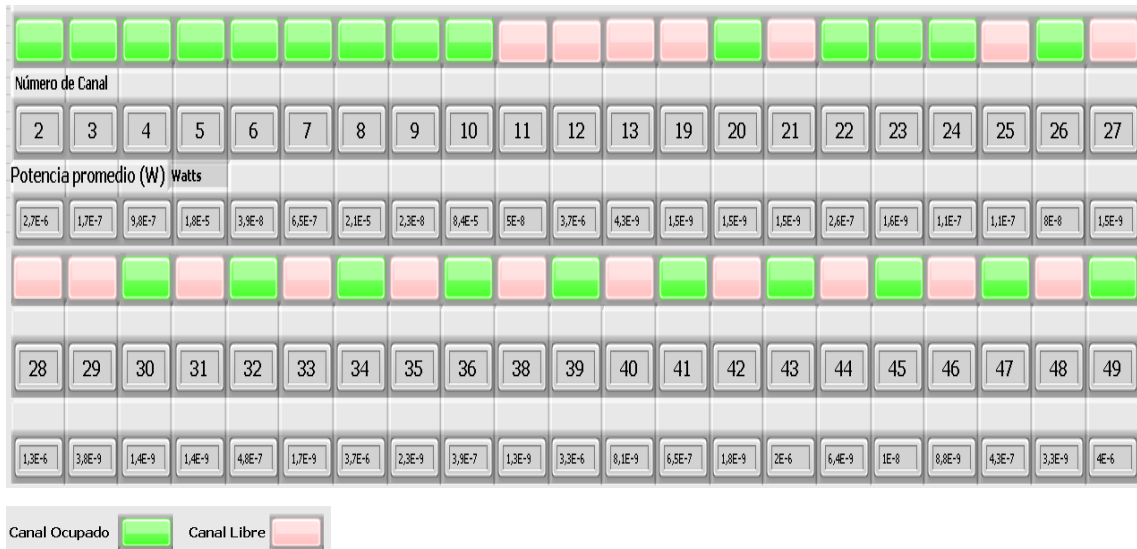
Realizado por: (Jiménez, 2017).

Existen 14 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 84 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 33,33% disponible.

### 5.2.5 Indicador 5

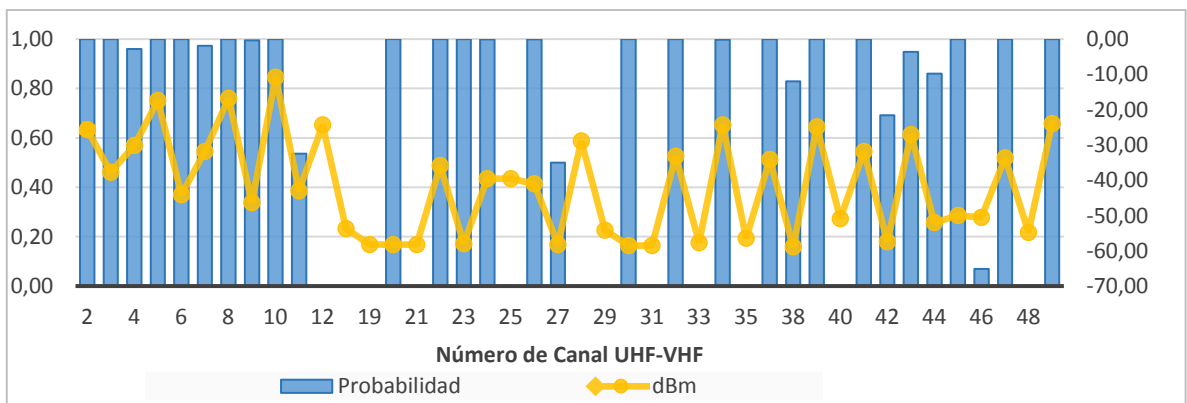
En la parroquia Huachi Loreto los puntos considerados son:

- Redondel Inst. Guayaquil con referencia 1°15'24.52" S 78°36'53.63" O 2645msnm



**Figura 31-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona redondel Inst. Guayaquil Parroquia Huachi Loreto.

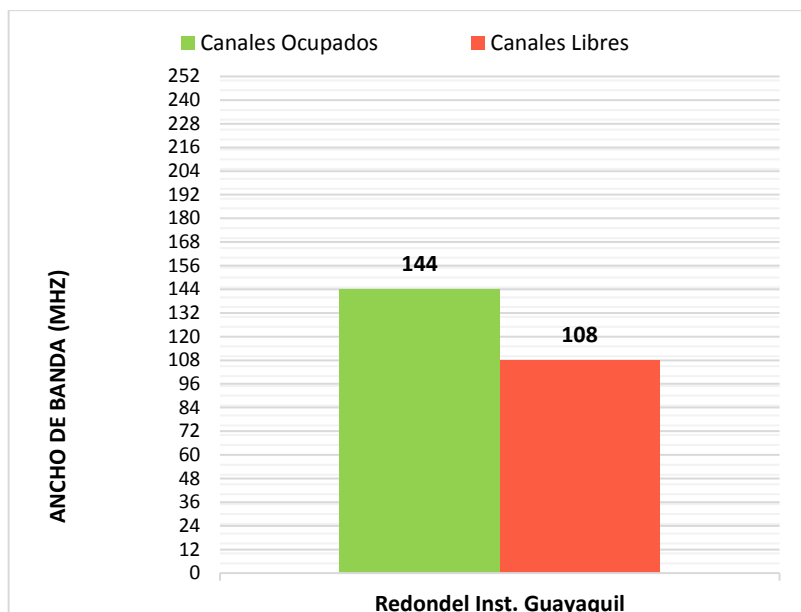
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 32-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona redondel Inst. Guayaquil Parroquia Huachi Loreto.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 31-5 y figura 32-5 muestran que existe un total de 24 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 57,14% del total del espectro.

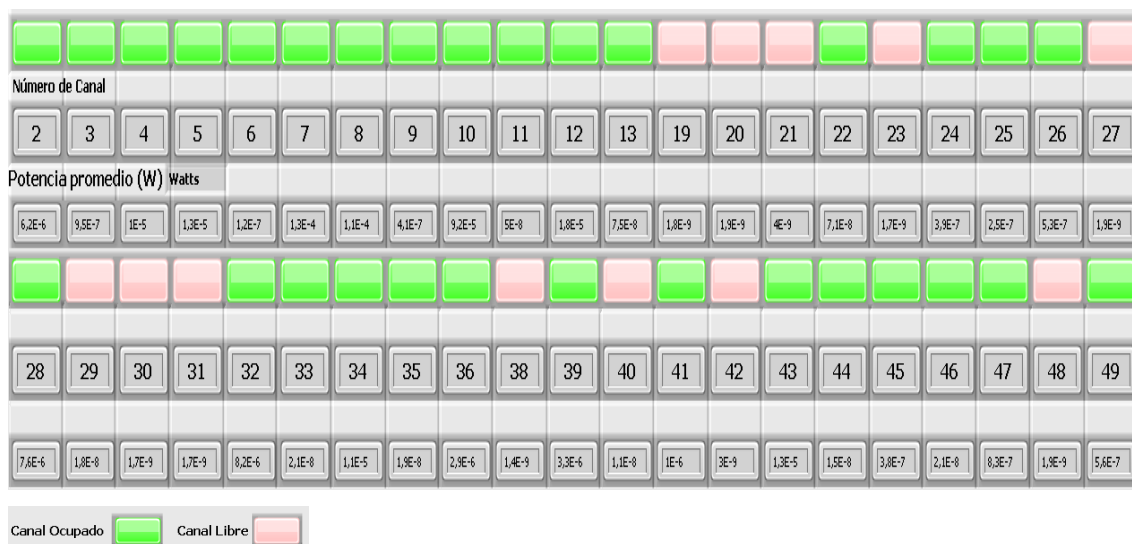


**Figura 33-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona redondel Inst. Guayaquil, Parroquia Huachi Loreto.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

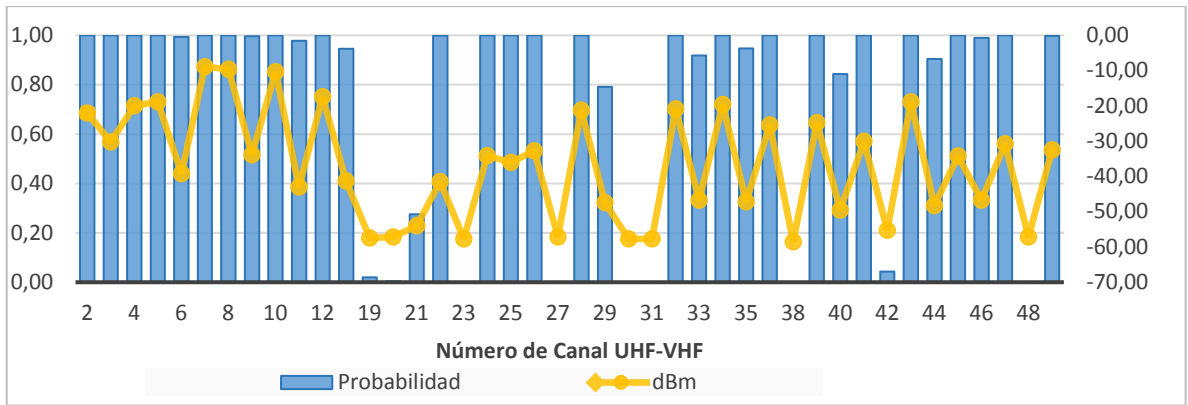
Existen 18 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 108 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 42,86% disponible.

- Redondel Cumandá con referencia 1°14'10.80" S 78°37'7.8" O 2560msnm.



**Figura 34-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona redondel Cumandá, Parroquia Huachi Loreto.

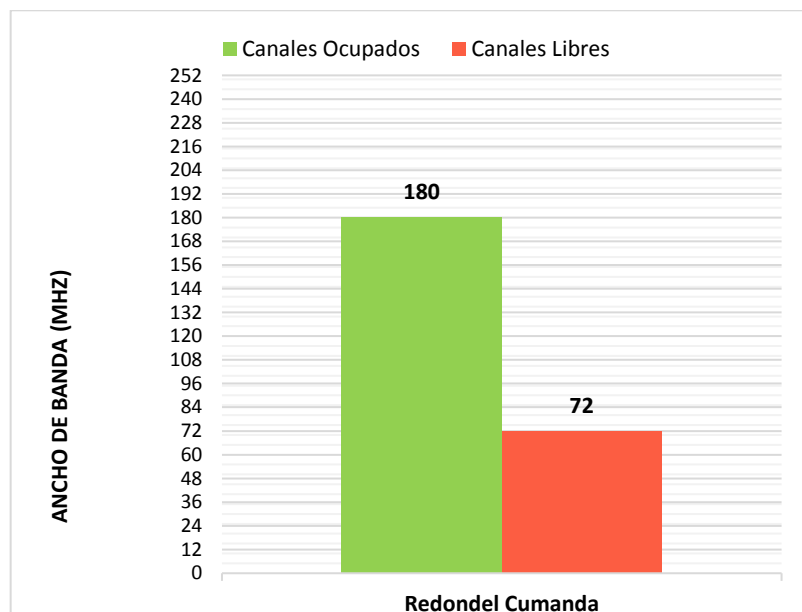
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 35-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona redondel Cumandá, Parroquia Huachi Loreto.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 34-5 y figura 35-5 muestran que existe un total de 30 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 71,43% del total del espectro.



**Figura 36-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona redondel Cumandá, Parroquia Huachi Loreto.

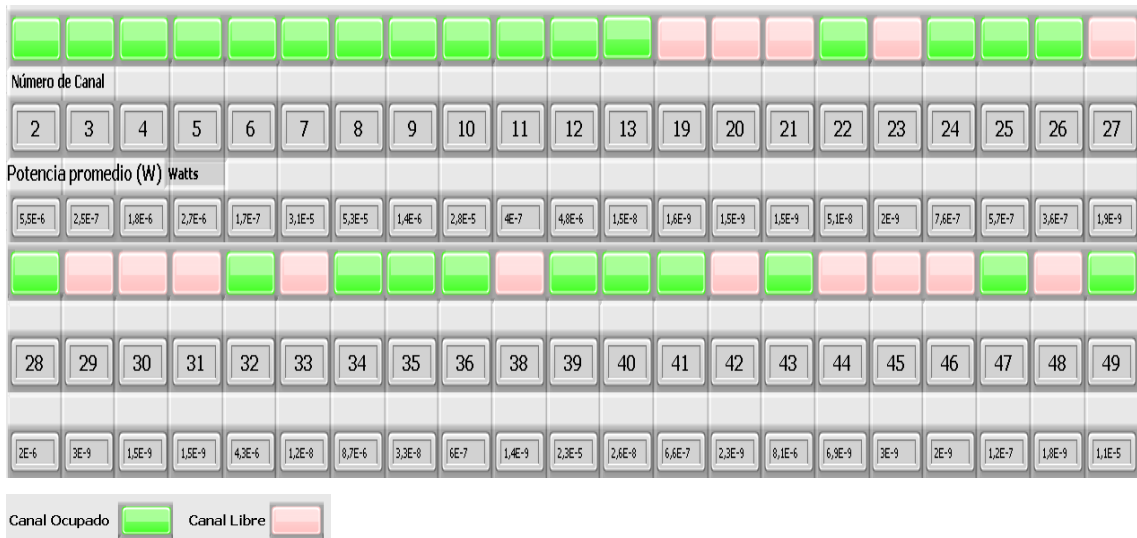
Realizado por: (Jiménez, 2017)

Existen 12 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 72 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 28,57% disponible

### 5.2.6 Indicador 6

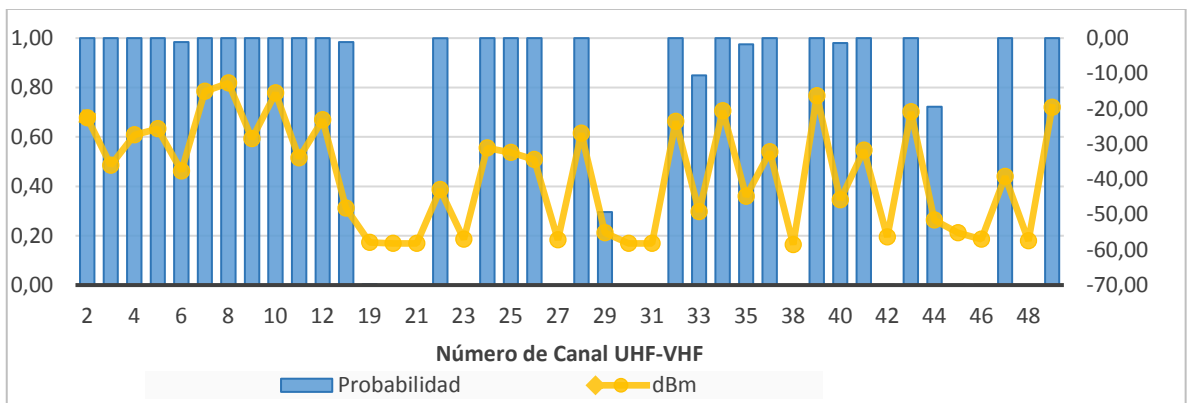
En la parroquia La Matriz los puntos considerados son:

- Parque La Cantera con referencia 1°15'39.58" S 78°38'27.05" O 2696msnm



**Figura 37-5.**Indicador de canales libres y ocupados para la zona parque La Cantera, Parroquia La Matriz.

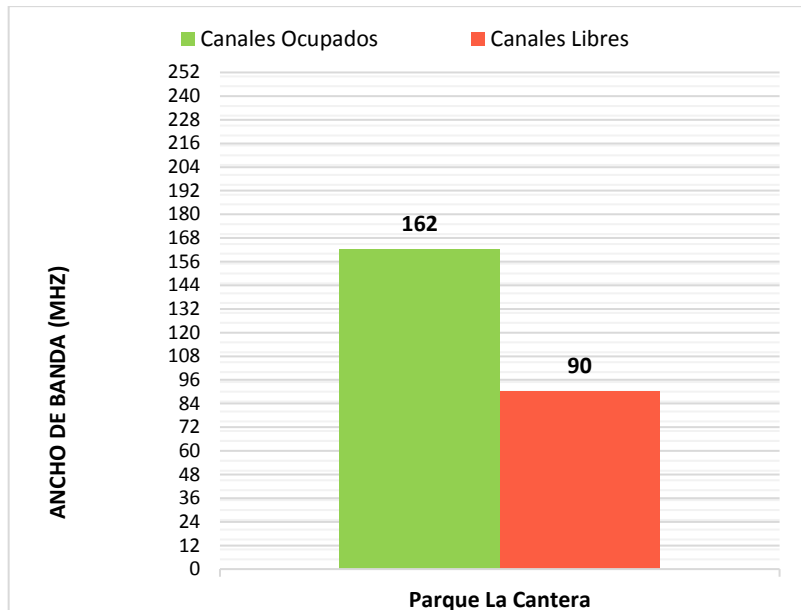
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 38-5.**Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona parque La Cantera, Parroquia La Matriz.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 37-5 y figura 38-5 muestran que existe un total de 27 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 64,29% del total del espectro.

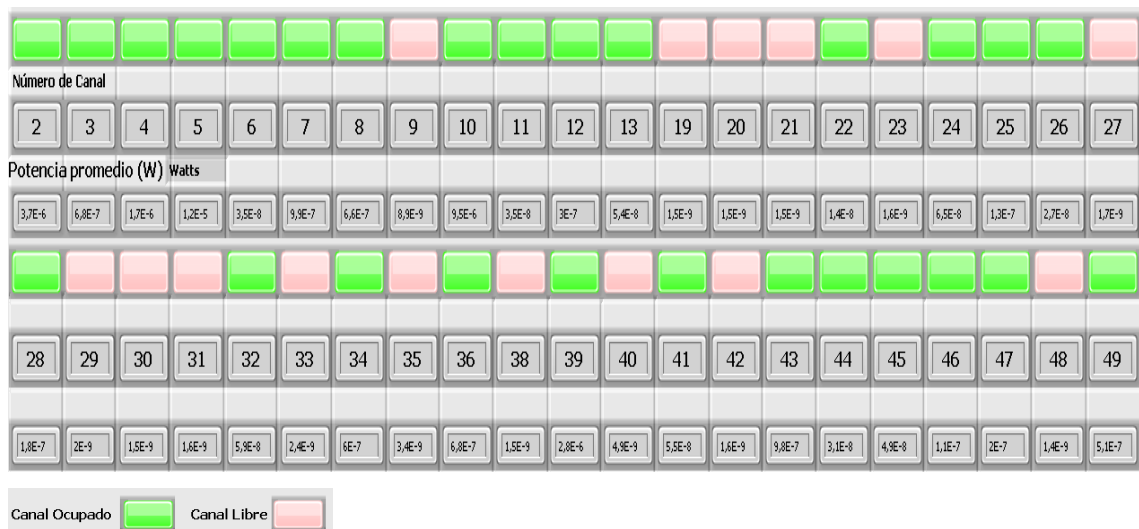


**Figura 39-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona parque La Cantera, Parroquia La Matriz.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

Existen 15 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 90 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 35,71% disponible.

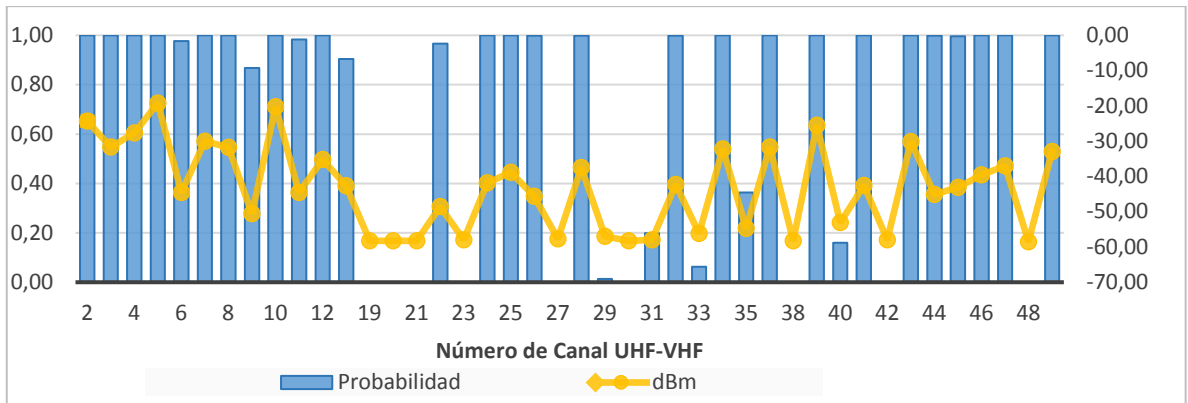
- Parque Montalvo con referencia 1°14'31.44" S 78°37'44.37" O 2582msnm



**Figura 40-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona del parque Montalvo, Parroquia La Matriz.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

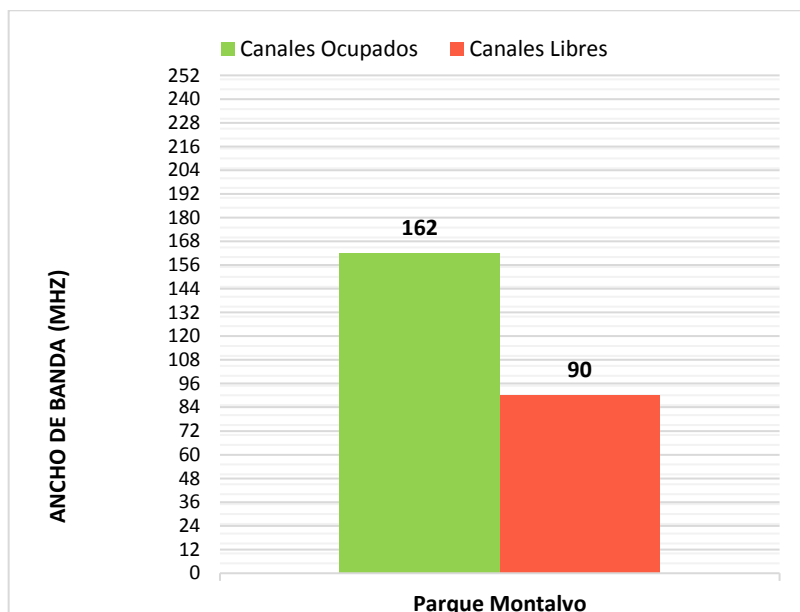




**Figura 41-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del parque Montalvo, Parroquia La Matriz.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 40-5 y figura 41-5 muestran que existe un total de 27 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 64,29% del total del espectro.



**Figura 42-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del parque Montalvo, Parroquia La Matriz.

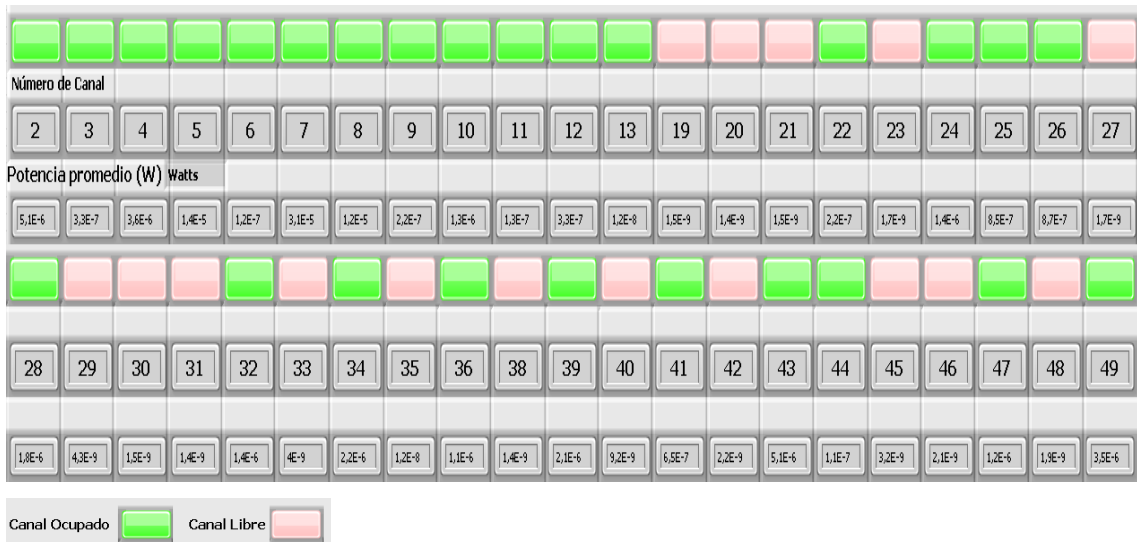
Realizado por: (Jiménez, 2017).

Existen 15 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 90 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 35,71% disponible.

### 5.2.7 Indicador 7

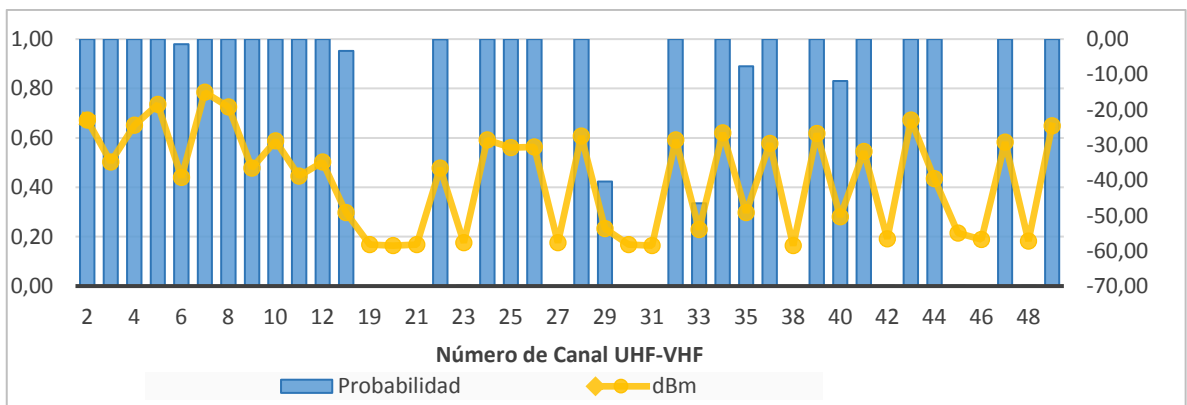
En la parroquia La Península los puntos considerados son:

- Cancha Tres Juanes con referencia 1°14'33.31" S 78°35'46.90" O 2548msnm.



**Figura 43-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona de la cancha Tres Juanes, Parroquia La Península.

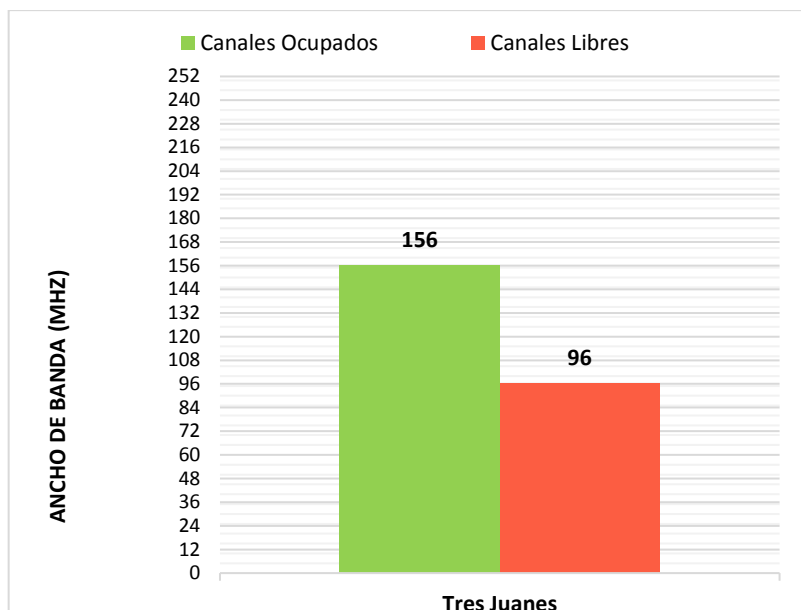
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 44-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de la cancha Tres Juanes, Parroquia La Península.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 43-5 y figura 44-5 muestran que existe un total de 26 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 61,90% del total del espectro.

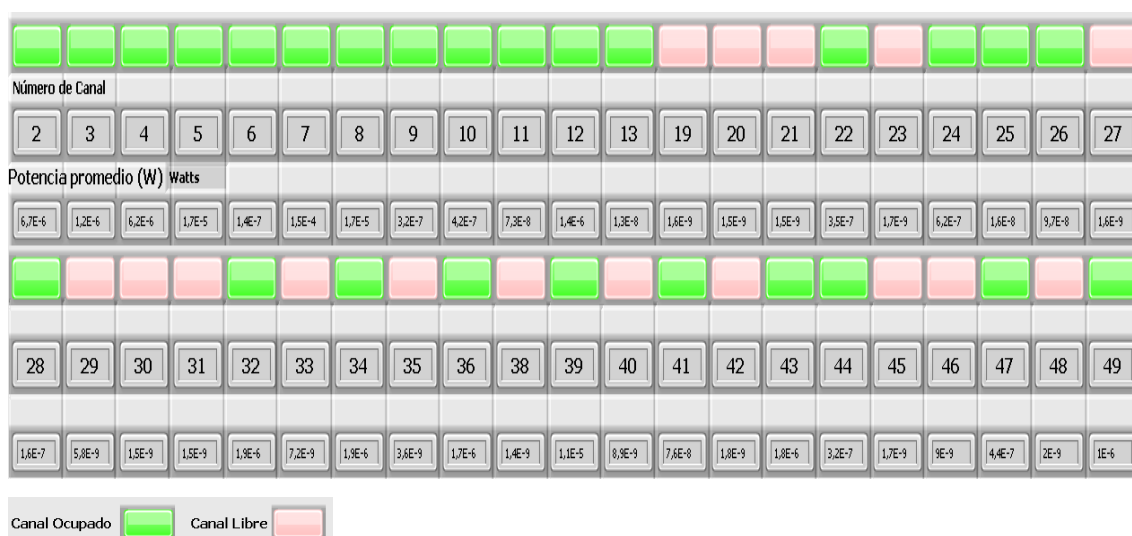


**Figura 45-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de la cancha Tres Juanes, Parroquia La Península.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

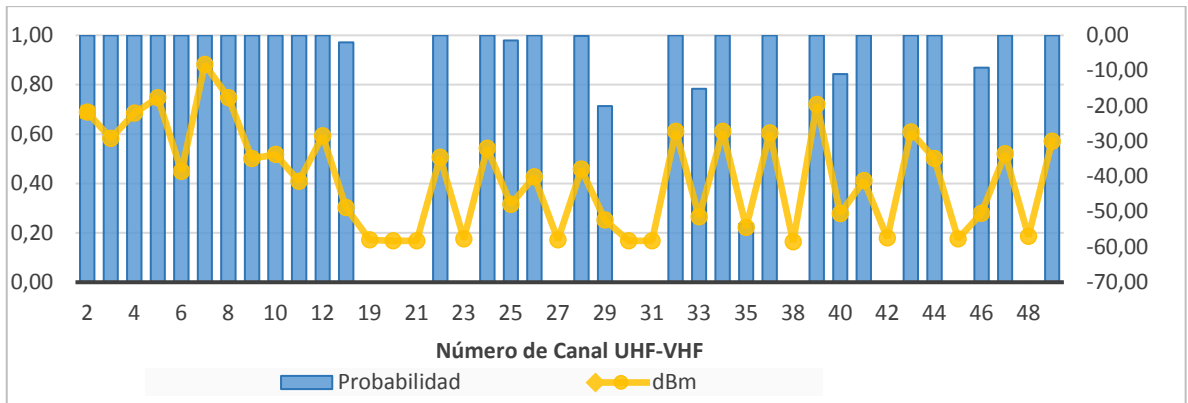
Existen 16 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 96 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 38,10% disponible.

- Calle El Olmo con referencia 1°13'22.79" S 78°36'44.80" O 2589msnm



**Figura 46-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona de la calle El Olmo, parroquia La Península.

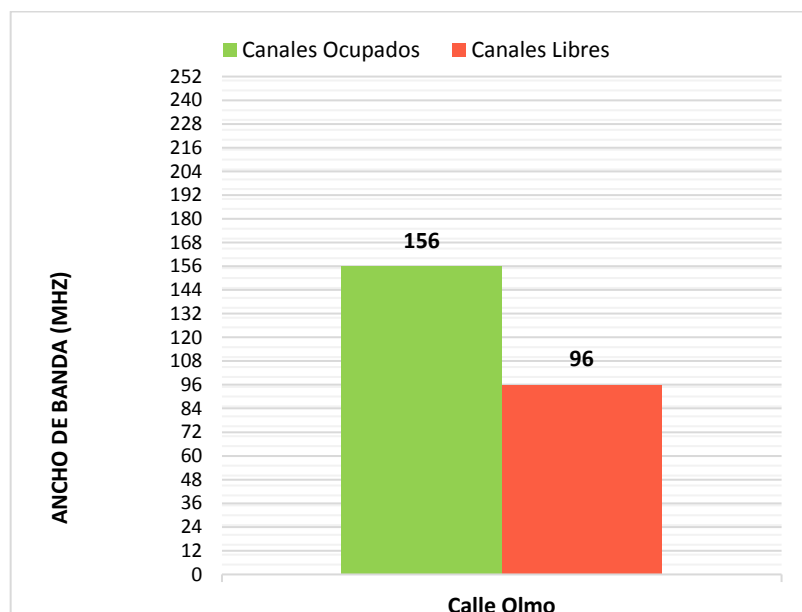
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 47-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de la calle El Olmo, parroquia La Península.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 46-5 y figura 47-5 muestran que existe un total de 26 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 61,90% del total del espectro.



**Figura 48-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de la calle El Olmo, parroquia La Península.

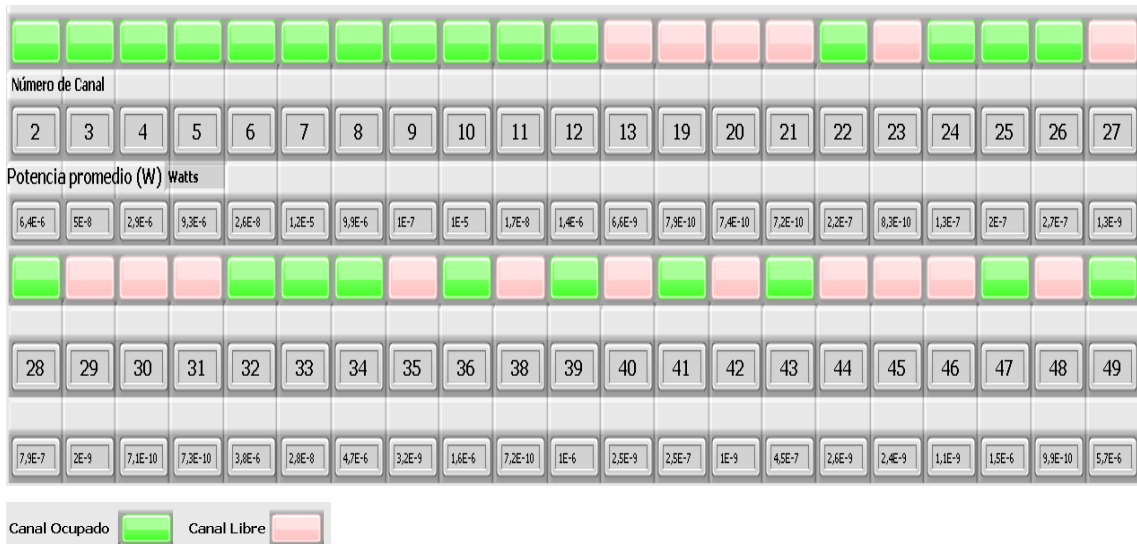
Realizado por: (Jiménez, 2017).

Existen 16 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 96 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 38,10% disponible.

### 5.2.8 Indicador 8

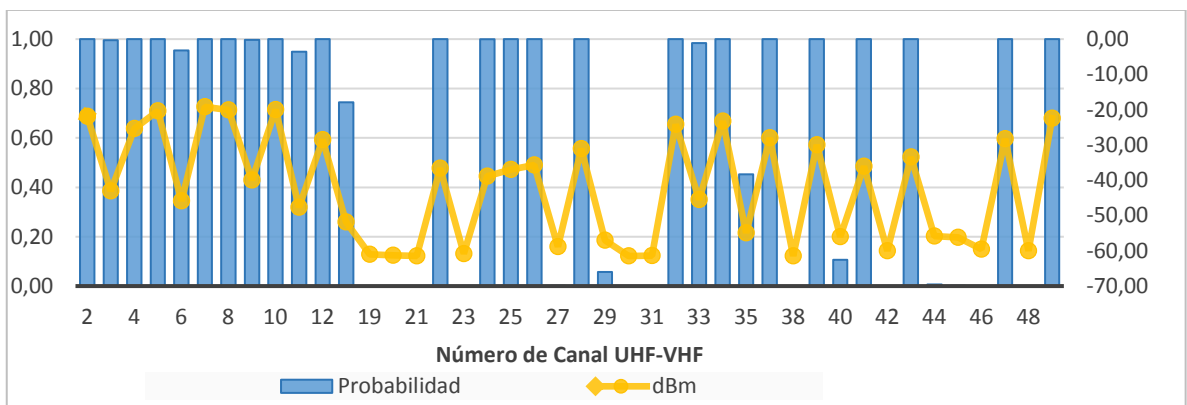
En la parroquia Pishilata los puntos considerados son:

- Techo Propio con referencia 1°15'18.24" S 78°34'53.26"O 2630msnm



**Figura 49-5.**Indicador de canales libres y ocupados para la zona de Techo Propio, Parroquia Pishilata.

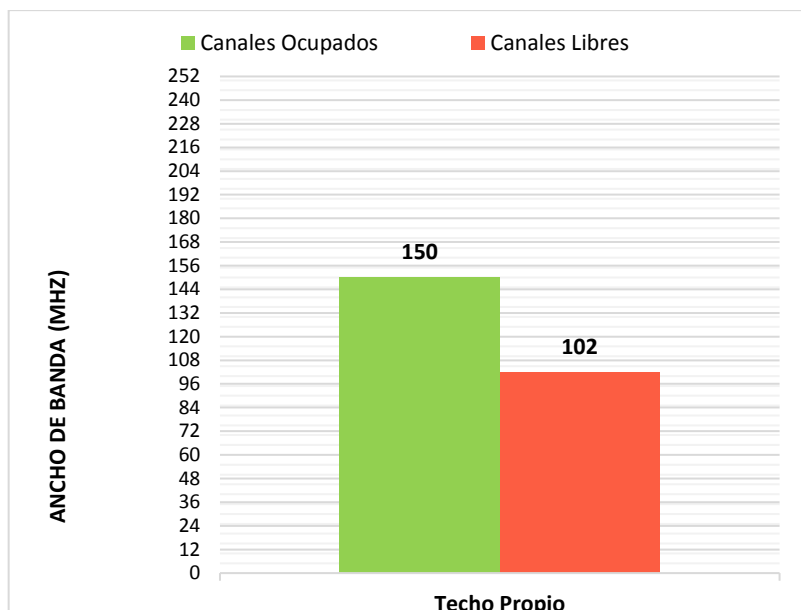
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 50-5.**Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de Techo Propio, Parroquia Pishilata.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 49-5 y figura 50-5 muestran que existe un total de 25 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 59,52% del total del espectro.

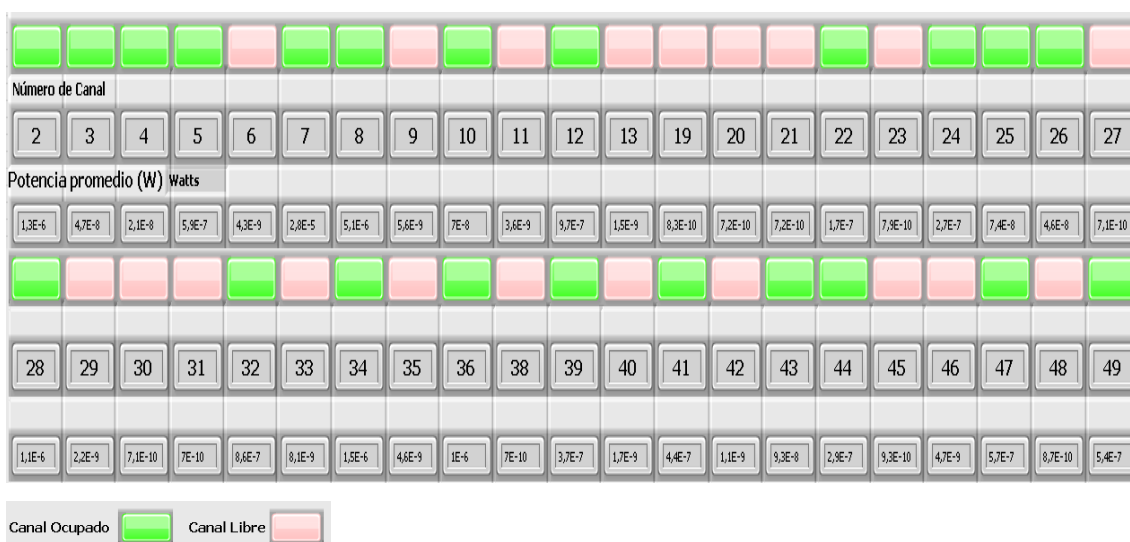


**Figura 51-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de Techo Propio, Parroquia Pishilata.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

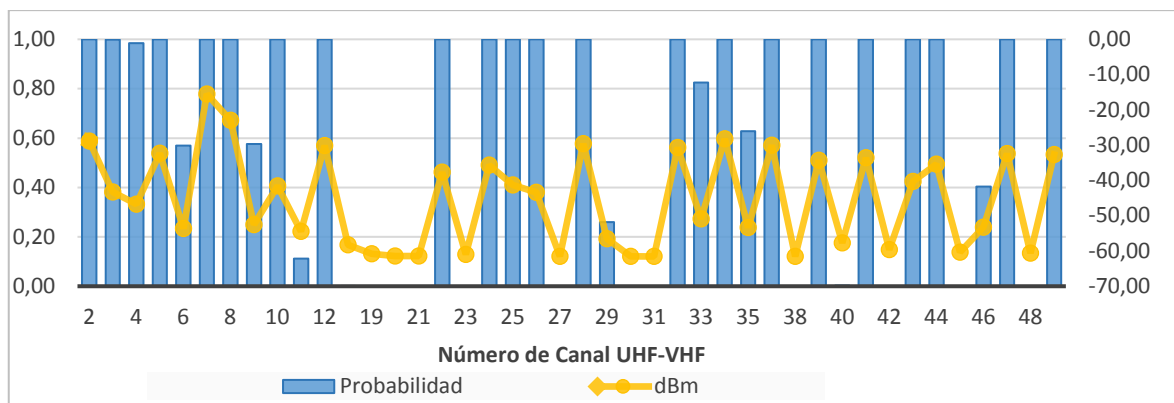
Existen 17 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 102 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 40,48% disponible.

- Santa Cruz con referencia  $1^{\circ}16'55.02''$  S  $78^{\circ}36'10.38''$  O 2662msnm



**Figura 52-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona de Santa Cruz, Parroquia Pishilata.

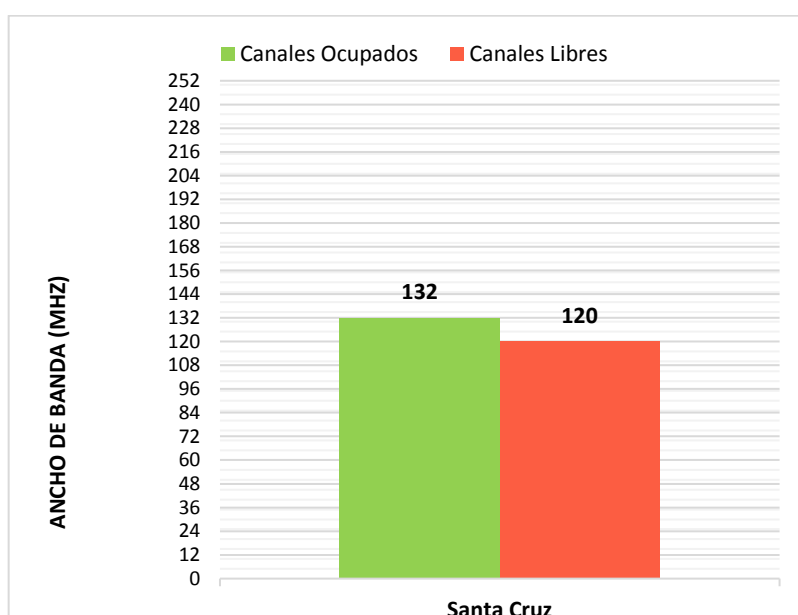
Realizado por: (Jiménez, 2017).



**Figura 53-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de Santa Cruz, Parroquia Pishilata.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 52-5 y figura 53-5 muestran que existe un total de 22 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 52,38% del total del espectro.



**Figura 54-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de Santa Cruz, Parroquia Pishilata.

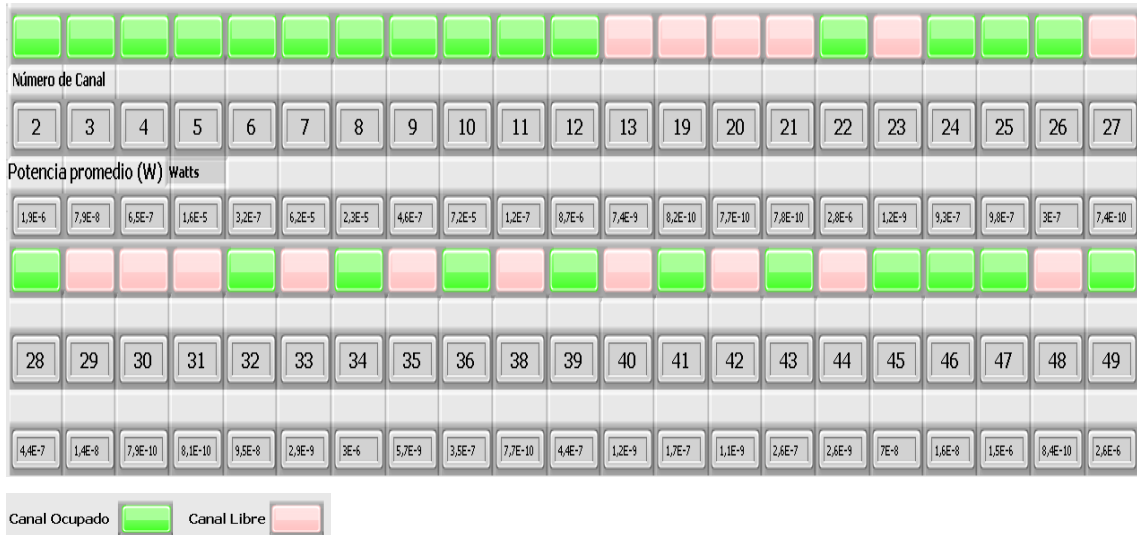
Realizado por: (Jiménez, 2017).

Existen 20 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 120 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 47,62% disponible.

### 5.2.9 Indicador 9

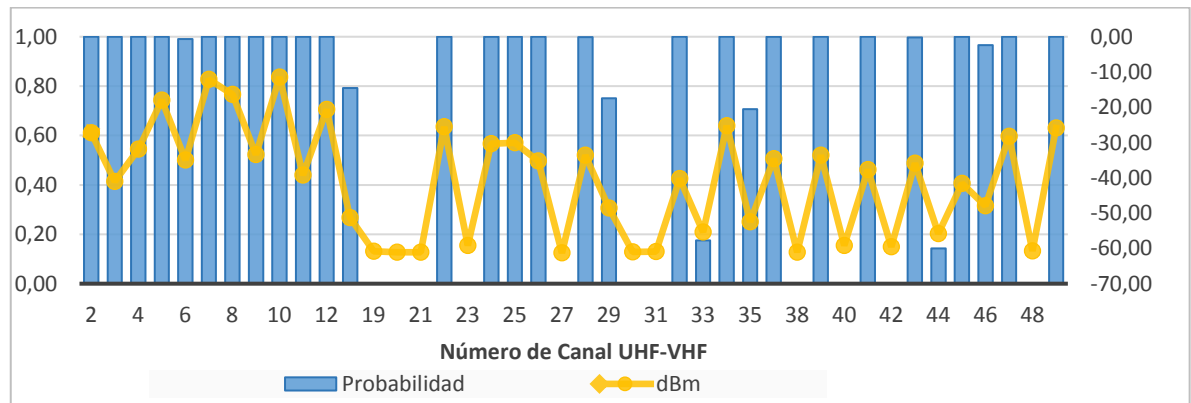
En la parroquia San Francisco los puntos considerados son:

- Calles Tomas Sevilla y Humberto Albornoz con referencia 1°14'7.25" S 78°37'39.38" O 2549msnm



**Figura 55-5.**Indicador de canales libres y ocupados para la zona de las calles Tomas Sevilla y Humberto Albornoz , Parroquia San Francisco.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

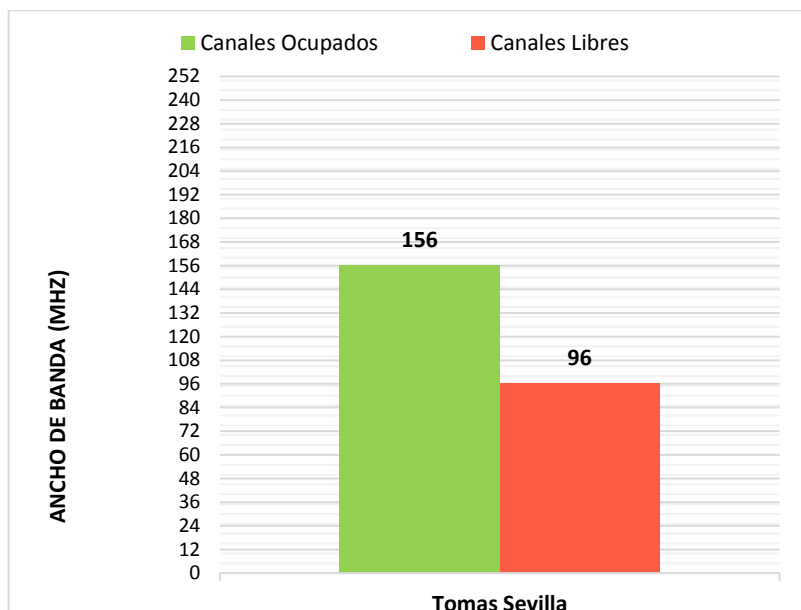


**Figura 56-5.**Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de las calles Tomas Sevilla y Humberto Albornoz , Parroquia San Francisco.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

La figura 55-5 y figura 56-5 muestran que existe un total de 26 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 61,90% del total del espectro.



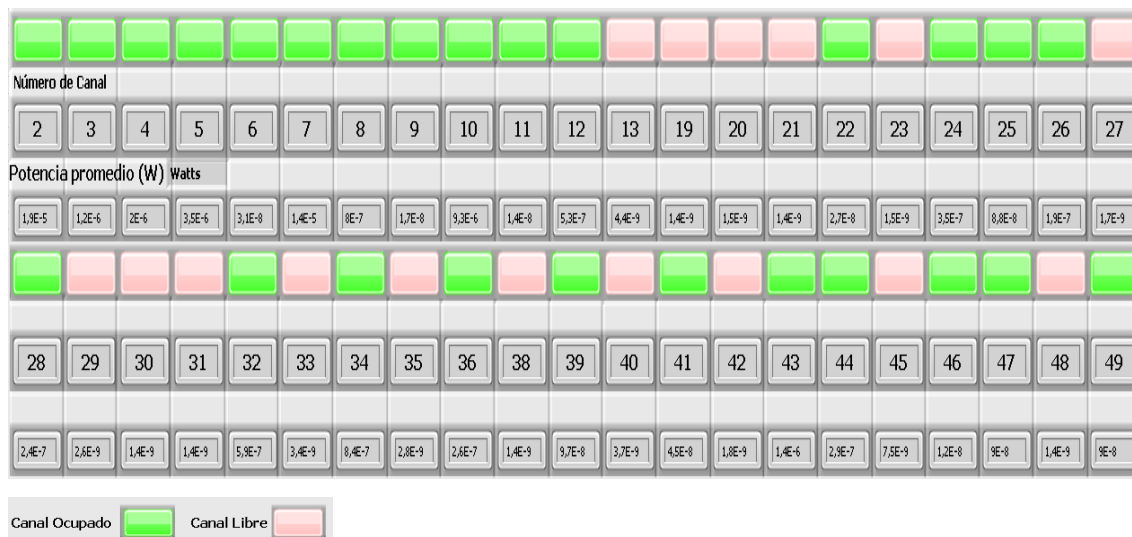


**Figura 57-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona de las calles Tomas Sevilla y Humberto Albornoz.

Realizado por: (Jiménez, 2017).

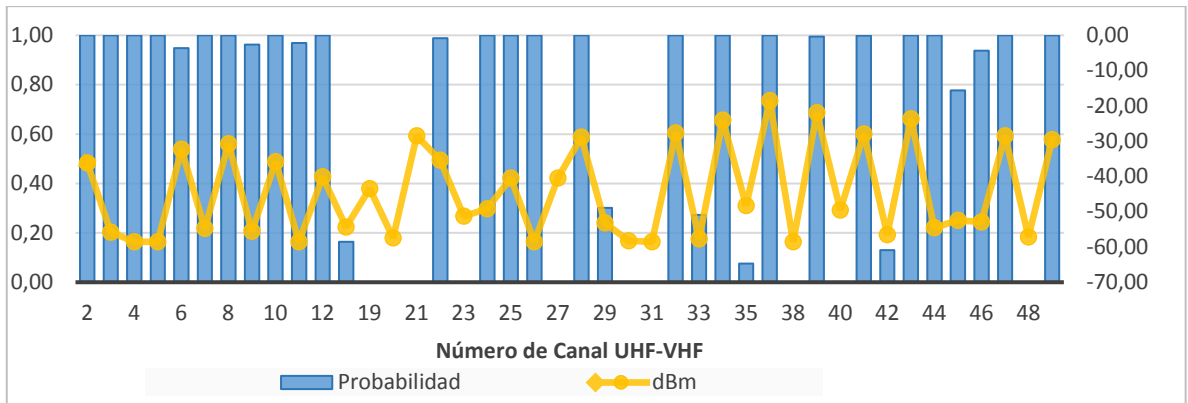
Existen 16 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 96 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 38,10% disponible.

- Parque Cevallos con referencia 1°14'29.43" S 78°37'37.8" O 2580msnm



**Figura 58-5.** Indicador de canales libres y ocupados para la zona del parque Cevallos, Parroquia San Francisco.

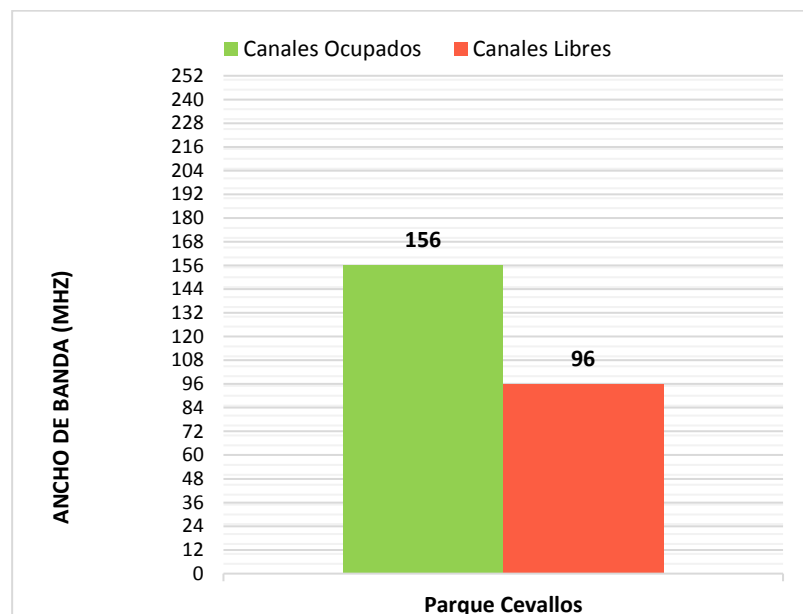
Realizado por: (Jiménez, 2017)



**Figura 59-5.** Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona del parque Cevallos, Parroquia San Francisco.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

La figura 58-5 y figura 59-5 muestran que existe un total de 26 canales ocupados con una probabilidad mayor al 90%, equivalente al 61,90% del total del espectro disponible.



**Figura 60-5.** Ancho de banda libre para utilizar con el estándar, zona del parque Cevallos, Parroquia San Francisco.

Realizado por: (Jiménez, 2017)

Existen 16 canales libres dando un total de ancho de banda disponible de 96 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 38,10% disponible.

## CONCLUSIONES

Luego de analizar la arquitectura del estándar IEEE 802.11af se determina que es una evolución del sistema LAN inalámbrico IEEE802.11 que trabaja sobre los espacios de televisión en blanco TVWS y que maneja sus propios conceptos de capa física PHY y de control de acceso al medio MAC, siendo las bases de datos GDB y el servidor RLSS los elementos característicos que permiten a los dispositivos GDD habilitadores-dependientes trabajen coordinadamente y de forma cognitiva.

El diseño del algoritmo en la USRP fue realizado en base al de censado de energía, aplicado sobre la portadora de video de los canales de televisión analógicos en las frecuencias establecidas y asignadas para la provincia de Tungurahua, con un umbral de decisión de -50dBm y que debido a la viabilidad de reconfiguración sobre el algoritmo, agrega diferentes indicadores de espectro como el de potencia general, por canal y de intensidad permitiendo realizar una adecuada evaluación para determinar que el estándar IEEE802.11af es potencialmente utilizable.

Una vez evaluado el espectro se nota que existe una media del 41,53% de espacio libre en las frecuencias en la banda I y II de VHF y banda IV y V en UHF para la zona urbana del Cantón Ambato y que potencialmente puede ser utilizado para la implementación del estándar IEEE 802.11af, siendo la parroquia urbana Atocha Ficoa la que mayor espacio libre dispone con un total de 27 canales equivalente a un 64.29%. La parroquia urbana que menos espacio libre dispone es la de Huachi Loreto en la zona del Redondel de Cumandá con un total de 12 canales equivalente al 28.57%, pero de igual manera el estándar potencialmente puede ser implementado.

La zona urbana correspondiente a la Parroquia Atocha-Ficoa al ser la que más disponibilidad de espectro presenta, da apertura para implementación del estándar IEEE 802.11af, teniendo un ancho de banda total de 162 MHz, considerando además que los modos de canalización que se utilizarían con mayor frecuencia serían los modos TVHT\_4W y TVHT\_2W+2W en los espacios de los canales destinados a los canales 19-20-21-22 y 28-29-30-31. La zona urbana con referencia Redondel de Cumandá correspondiente a la Parroquia Huachi Loreto, posee el menor número de canales disponibles, dando un total de 72 MHz disponible para que el estándar IEEE802.11af pueda ser implementado, considerando además que el modo de canalización que se utilizaría con mayor frecuencia sería el TVHT\_W.

Las tecnologías que utilizan los espacios de televisión en blanco, tienen un gran futuro para ser implementadas en el Ecuador, siendo aplicable en cualquier tipo de zona urbana, para llegar a cumplir con el objetivo de brindar servicios tecnológicos de telecomunicación de calidad, bajo costo y reutilizando, en este caso espacios de espectro subutilizados y en especial mediante la aplicación de las técnicas de radio cognitiva que permiten el cambio de paradigma en cuanto a la asignación de espectro.

## RECOMENDACIONES

Para evaluar el espectro hay que tomar en consideración que la USRP NI 2920 posee por defecto una antena tri banda diseñada para interiores con las frecuencias 144, 400 y 1200 MHz, por lo que para este trabajo de investigación las frecuencias bajas en banda I de VHF no pueden ser medidas, es así que se hace necesario utilizar otro tipo de antena, tal como la discono multibanda para exteriores que ofrece mejor recepción y rendimiento.

Los entes encargados del manejo del espectro en Ecuador deben priorizar esfuerzos que conlleven a realizar estudios prospectivos sobre la implementación de la arquitectura del estándar, empezando por publicar bases de datos GDB y WSD que permitan identificar de manera adecuada los espacios de televisión TVWS, validando este paradigma de reutilización del espectro y abriendo oportunidades para la implementación de nuevas tecnologías inalámbricas.

En el diseño del algoritmo se recomienda que el censado de energía, a pesar de no requerir conocimiento previo del tipo de señal a detectar, depende mucho de los niveles de ruido que están presentes, por lo que los errores en la estimación hacen que se pueda llegar a tener un elevado número de falsos positivos.

En la evaluación del espectro el tiempo de censado, debe ser mayor a un 1(un) segundo debido a que la USRP no procesa ningún tipo de datos al tener menos del tiempo indicado, llegando a establecer un promedio de censado igual a los 4 segundos para llegar a obtener mejores resultados.

Utilizar un computador que disponga únicamente de controladores 100/1000 Mbps no garantiza una buena comunicación con la USRP, es así que se requiere de una interfaz física dedicada tipo Giga-ethernet para mantener una conexión ideal.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (5 de Agosto de 2016). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de Espectro Radioeléctrico: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (31 de Diciembre de 2016). *Radiodifusión Sonora Y Televisión Abierta*. Obtenido de Estadísticas, Indicador: Número de Estaciones Concesionadas de TV Abierta : <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas-2/>
- Baykas, T., Kasslin, M., Cummings, M., Kang, H., Kway, J., Paine, R., . . . Shellhammer, S. (2012). Developing A Standard For Tv White Space Coexistence: Technical Challenges And Solution Approaches. *IEEE Wireless Communications*, 10-22.
- Cordeiro, K. C. (s.f.). *IEEE 802.22: The first Worldwide Wireless Standard based on Cognitive Radios*. NY 10510: Philips research USA Briarcliff Manor.
- Ecuador. Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2010). *Resolución TEL-560-18-Conatel-2010*. Quito: CONATEL.
- Ecuador, Grupo de aspectos técnicos y regulatorios . (2012). *Metodología de asignación de frecuencias temporales para la operación de estaciones de televisión digital terrestre*.
- Ecuador. Ministerio de Telecomunicaciones MINTEL, D. d.-U. (2014). *Servicio Movil Avanzado* . Ecuador: Secretaria Nacional de Telecomunicaciones.
- Espinosa, M., Castro, V., Díaz, I., González, M., Villate, C., & Roncario, G. (2014). Propuesta de Diseño de un Radio Definido Por Software. *Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 48-53.
- Federal Communications Commission. (2012). *FCC 12-36, Third Memorandum Opinion and Order, Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands*. Washington, D.C: FCC.
- Federal Communications Commission. (2013). *Office of Engineering and Technology Authorizes TV White Space Database Administrators to Provide Service to Unlicensed Devices*

*Operating on Unused TV Spectrum Nationwide ET-Docket N° 04-186*. Washington, D.C. 20554: News Media Information 202/4180500.

Flores, A., Guerra, R., & Knightly, E. (2013). IEEE 802.11af: A Standard for TV White Space Spectrum Sharing. *IEEE Communications Magazine*, 92-100.

Frenzel E., L. (2003). *Communication Electronics, Principles and Applications*. México: Alfaomega Grupo Editor.

Google Inc. (10 de Diciembre de 2016). *Google Spectrum Database*. Obtenido de Google Spectrum Database: <https://www.google.com/get/spectrumdatabase/>

Holland, O., Bogucka, H., & Arturas, M. (2015). *Opportunistic Spectrum Sharing and White Space Access*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Iconectiv, inc. (12 de Diciembre de 2016). *Telcordia*. Obtenido de White Space Database: <https://spectrum.iconectiv.com/main/home/>

IEEE 802.11 af-2013: amendment 5: (2013). Television white spaces (TVWS) operation. *IEEE, Active Standard*. Wireless Local Area Network Working Group. Wireless Lan medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.

Key Bridge LLC. (11 de Diciembre de 2016). *Spectrum .simple*. Obtenido de White Space Portals: <https://keybridgeglobal.com/products/white-space-portals.xhtml#top>

Lan, Z., Mizutani, K., Villardi, G., & Harada, H. (2013). Design and Implementation of a Wi-Fi Prototype System in TVWS based on IEEE 802.11 af. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 750-755.

Lekomtcev, D., & Marsálek, R. (2012). Comparison of 802.11af and 802.22 standards physical layer and cognitive functionality. *Elektro Revue*, 12-18.

Mitola, J., & Maguire Jr., G. Q. (1999). Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal. *IEEE Personal Communications*, 13-18.

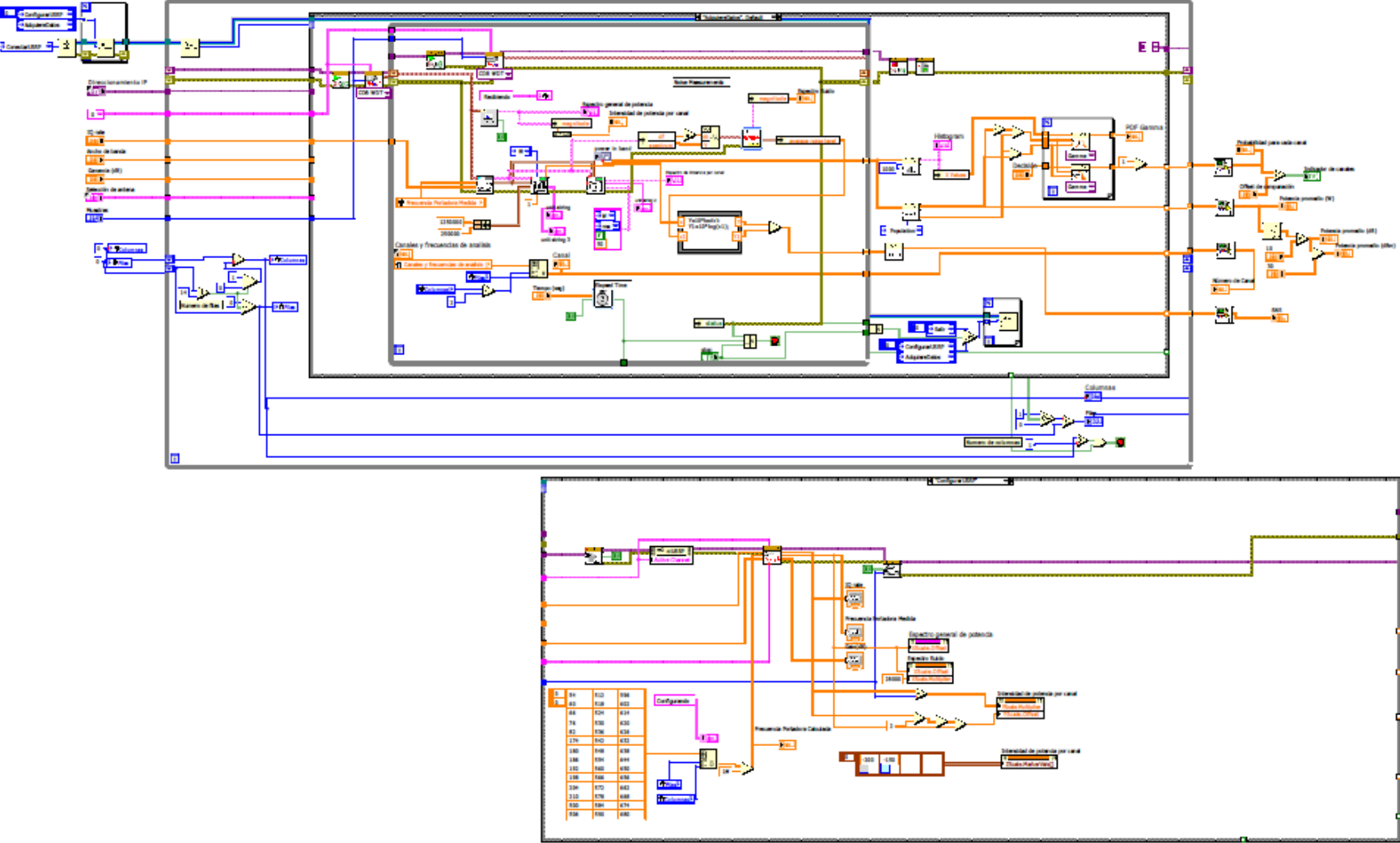
National Instruments Corporation. (2017). *National Instruments TM*. Obtenido de Radio Definido por software: <http://www.ni.com/sdr/esa/>

- National Instruments TM. (12 de Abril de 2012). *LabVIEW Communications System Design Suite 1.0 Manual*. Obtenido de NI USRP-2920: <http://www.ni.com/documentation/en/labview-comms/1.0/2920/overview/>
- Perahia, E., Cordeiro, C., Park, M., & Yang, L. (2010). IEEE 802.11ad: Defining the next generation multi Gbps Wifi. *Consumer Communications and Networking*, 1-5.
- Ponce, J. L. (2015). *Modelado de la disponibilidad de canales de la banda UHF-TV para el uso potencial de sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA) en una zona urbana*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Saeed, R. A., & Shellhammer, S. J. (2011). *TV White Space Spectrum Technologies Regulations, Standards, and Applications*; . Boca Ratón, FL: Taylor & Francis Group.
- Saeed, R., & Stephen, S. (2011). *TV White Space Spectrum Technologies*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Satish Dhope, T., & Simunic, D. (2012). Spectrum Sensing Algorithm for Cognitive Radio Networks for Dynamic Spectrum Access for IEEE 802.11 af standard. *International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks*, 77-84.
- Spectrum Bridge Inc. (11 de Diciembre de 2016). *Spectrum Bridge Enabling Universal Spectrum Access*. Obtenido de Spectrum Bridge, Inc. White Space Database: <http://whitespaces.spectrumbridge.com/Main.aspx>
- Stone, W. (1997). *Electromagnetic signal attenuation in construction materials*. Gaithersburg: National Instruments Standars Technol.
- Wyglinski, A., Nekovee, M., & Hou, T. (2010). *Cognitive Radio Communications and Networks*. San Diego, California: Elsevier.



**ANEXOS**

**Anexo A. Algoritmo de Censado del espectro Diagrama de Bloques**





## Anexo C.- Antena tipo Discono

### Outdoor Scanner - Ham Discone Antenna 25 — 1,300 MHz

OWNER'S MANUAL — Please read before using this equipment.



Your RadioShack Discone Scanner and Ham Base Station Antenna is our most efficient omnidirectional antenna system, combining a disc antenna with electrically matched radiators. You can use it to receive and transmit a wide range of signals, including amateur radio, aircraft, and other special services, on your scanner or other receiver. The antenna is designed to provide high efficiency when receiving and transmitting signals on selected frequencies.

Your antenna receives VHF and UHF frequencies between 25 MHz and 1300 MHz (1.3 GHz), and transmits effectively at 50, 144, 220, 440, 900, and 1296 MHz. It handles a maximum transmitting output power of 200 watts and provides a standing wave ratio (SWR) efficiency of 1.5:1 or better over the receiving and transmitting spectrum. It is 44-inches high overall, and fits on masts up to 1 1/2-inches in diameter. It also has these features:

**Compact Design** — allows flexibility when choosing an installation site.

**Low Wind Resistance and Lightweight** — allow higher mast mounting.

**Resonator and Tunable Whip** — for best 50 MHz performance.

**Easy Assembly and Connection** — uses rugged stainless steel hardware, radiator rods, and standard SO-239 and PL-259 connectors.





#### BEFORE YOU BEGIN




Before beginning assembly, read this manual and the separate "Safety Instructions" sheet.

**Warning:** When you install your antenna, use extreme caution. If the antenna starts to fall, let it go! It could contact overhead power lines. If the antenna touches the power line, contact with the antenna, mast, cable, or guy wires can cause electrocution and death. Call the power company to remove the antenna. DO NOT attempt to remove it yourself.

For your safety and convenience, plan each step of the installation. Organize the parts and check them against the following list. You need a suitable length of RG-58 coaxial cable fitted with a PL-259 connector at each end, mast mounting hardware, and a small wrench with a 5/16-inch opening (none of which is supplied with this product).

The item number of each part appears in the assembly instructions to help you identify the parts during assembly.

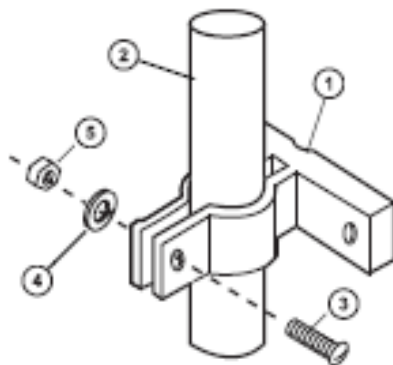
Item	Description	Quantity
①	Bracket	2
②	Support Tube	1
③	Screw, 8-32 × 1/2-inch 	2
④	Lockwasher, #8 	2
⑤	Nut, 8-32 	18
⑥	Screw, 4-40 × 3/16-inch 	3

Item	Description	Quantity
7	Lockwasher, #4 	3
8	Apex Assembly	1
9	Rod, Disk Element	8
10	Rod, Cone Assembly	8
11	Coil Assembly	1
12	Whip Assembly	1
13	Allen Wrench	1
14	U-bolt	2
15	Split Lockwasher, 1/4 inch 	4
16	Nut, 1/4-20 	4
17	Danger Label	1

## ASSEMBLING THE ANTENNA

Follow these instructions to assemble your antenna.

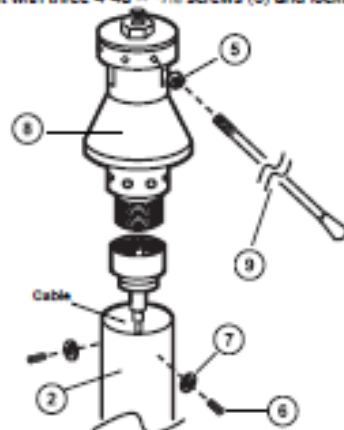
1. Install two brackets (1) on the support tube (2) using one 8-32 x 1/2-inch screw (3), one #8 lockwasher (4), and one 8-32 nut (5) for each bracket. Do not fully tighten the hardware yet.



Position one bracket at the midpoint of the tube. Position the other bracket at the bottom of the tube.

2. Slide the RG-58 coaxial cable through the support tube. Connect the PL-259 connector to the SO-239 terminal on the apex assembly (8).

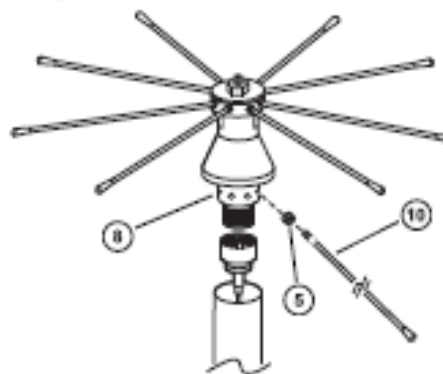
3. Install the apex assembly (8), into the end of the support tube (2) and secure it with three 4-40 x 3/16 screws (6) and lockwashers (7).



4. Screw one 8-32 nut (5) onto the threaded end of each of the eight disc element rods (9).

5. Screw each disc element rod (9) into the holes around the upper disc of the apex assembly (8), and hand tighten each rod. Rotate each 8-32 nut (5) until it fits snugly against the disc. Then use a 3/16-inch wrench to tighten each nut against the disc surface to secure each rod.

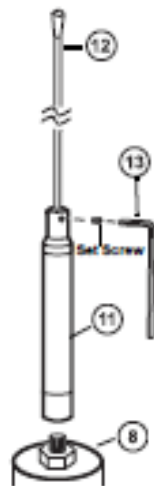
6. Screw one 8-32 nut (5) onto the threaded end of each of the eight cone assembly rods (10).



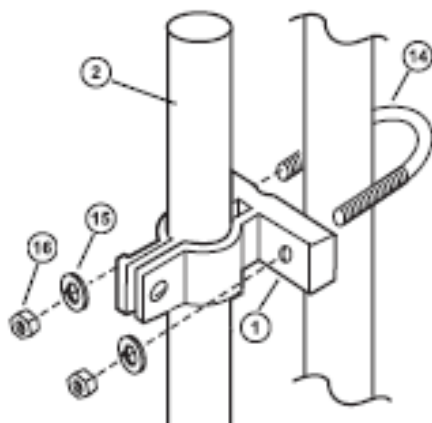
7. Screw each cone assembly rod into the base of the cone section of the apex assembly (8), and hand tighten each rod. Next, use a wrench to tighten each nut against the cone surface to secure each rod.

8. Screw the coil assembly (11) to the top of the apex assembly (8), and hand tighten. Insert the whip assembly (12) into the top of the coil

assembly. To secure the whip assembly, use the allen wrench (13) to tighten the set screw.



9. Place the mounting brackets (1) against the chosen section of the antenna mast, and secure each bracket with a U-bolt (14), two 1/4-inch split lockwashers (15), and two 1/4-20 hex nuts (16). When each bracket is in the correct position, tighten the nuts fully.



10. Use the appropriate mast mounting hardware (not supplied) to secure the coaxial cable to the antenna mast, leaving some slack in the cable. Mount the mast section to your chosen mast support system following the instructions that accompany the support system.

11. Route the remainder of the RG-58 cable to the receiver or transmitter.

A self-adhering Danger Label (17) is supplied. As a safety warning, affix this label at eye level on the mast holding the antenna.

## TUNING THE ANTENNA

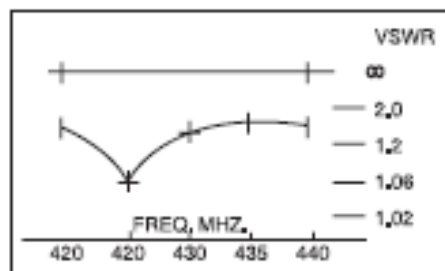
To ensure your antenna works with a minimum standing wave ratio (SWR) on all channels in the 6-meter amateur radio band, we allowed extra whip length for proper tuning.

To properly tune your antenna, you need an SWR meter. RadioShack stores sell many scanner and amateur radio accessories, including SWR meters.

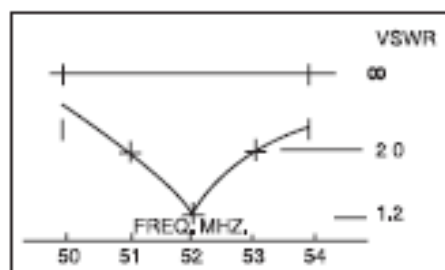
1. Connect the SWR meter between the transceiver and the antenna cable, as described in the meter's instructions.
2. Measure the SWR on the lowest and highest channels.
3. If the SWR reading on the lowest channel is higher than that specified in the meter's instructions, lengthen the antenna by loosening the set screw and pulling the whip out of the coil about 1/8-inch. If the SWR reading on the highest channel is higher than that specified in the meter's instructions, remove the whip from the coil and cut 1/8-inch from its lower end. You can cut the whip with a hacksaw or large wire cutters. You can also use a file to make a small groove around the whip and then break off the piece.
4. Measure the SWR again and repeat the adjustment, if necessary. Cut off only 1/8-inch at a time, checking the SWR each time.

## FREQUENCY CURVES

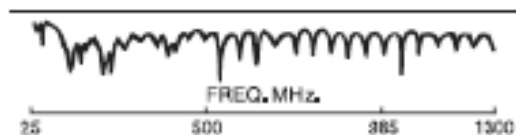
70 CM - VSWR VS. FREQUENCY



6 METER - VSWR VS. FREQUENCY



VSWR VS. FREQUENCY





#### Limited Ninety-Day Warranty

This product is warranted by RadioShack against manufacturing defects in material and workmanship under normal use for ninety (90) days from the date of purchase from RadioShack company-owned stores and authorized RadioShack franchisees and dealers. EXCEPT AS PROVIDED HEREIN, RadioShack MAKES NO EXPRESS WARRANTIES AND ANY IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING THOSE OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE LIMITED IN DURATION TO THE DURATION OF THE WRITTEN LIMITED WARRANTIES CONTAINED HEREIN. EXCEPT AS PROVIDED HEREIN, RadioShack SHALL HAVE NO LIABILITY OR RESPONSIBILITY TO CUSTOMER OR ANY OTHER PERSON OR ENTITY WITH RESPECT TO ANY LIABILITY, LOSS OR DAMAGE CAUSED DIRECTLY OR INDIRECTLY BY USE OR PERFORMANCE OF THE PRODUCT OR ARISING OUT OF ANY BREACH OF THIS WARRANTY, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, ANY DAMAGES RESULTING FROM INCONVENIENCE, LOSS OF TIME, DATA, PROPERTY, REVENUE, OR PROFIT OR ANY INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, EVEN IF RadioShack HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

Some states do not allow limitations on how long an implied warranty lasts or the exclusion or limitation of incidental or consequential damages, so the above limitations or exclusions may not apply to you.

In the event of a product defect during the warranty period, take the product and the RadioShack sales receipt as proof of purchase date to any RadioShack store. RadioShack will, at its option, unless otherwise provided by law: (a) correct the defect by product repair without charge for parts and labor; (b) replace the product with one of the same or similar design; or (c) refund the purchase price. All replaced parts and products, and products on which a refund is made, become the property of RadioShack. New or reconditioned parts and products may be used in the performance of warranty service. Repaired or replaced parts and products are warranted for the remainder of the original warranty period. You will be charged for repair or replacement of the product made after the expiration of the warranty period.

This warranty does not cover: (a) damage or failure caused by or attributable to acts of God, abuse, accident, misuse, improper or abnormal usage, failure to follow instructions, improper installation or maintenance, alteration, lightning or other incidence of excess voltage or current; (b) any repairs other than those provided by a RadioShack Authorized Service Facility; (c) consumables such as fuses or batteries; (d) cosmetic damage; (e) transportation, shipping or insurance costs; or (f) costs of product removal, installation, set-up service adjustment or reinstallation.

This warranty gives you specific legal rights, and you may also have other rights which vary from state to state. RadioShack Customer Relations, 200 Taylor Drive, 9th Floor, Fort Worth, TX 76102

We Service What We Sell

1298

**Anexo D.-** Fotografías de aplicación del algoritmo en la USRP

