



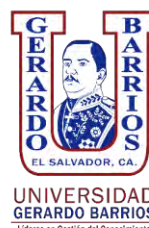
**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA

# “Diseño y despliegue de infraestructura TVWS para la mejora de servicios de conectividad y aplicaciones con Internet de las Cosas”

(Conforme al convenio de donación)

Proyecto de USAID de Educación Superior para el Crecimiento Económico

«Fotografías emblemáticas del proyecto»



Enero 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Este es un trabajo que creemos que sus efectos de implementación ayudará favorablemente al crecimiento de El Salvador. Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de una diversidad de instituciones, empresas y personas; ante lo cual nos gustaría ofrecer nuestros más sinceros agradecimientos.

A Proyecto de USAID de Educación Superior para el Crecimiento Económico Número de Grant: 0214405-G-2017-018-00, por haber financiado parcialmente este proyecto, las capacitaciones recibidas y las colaboraciones para que este trabajo fuera presentado internacionalmente.

A Microsoft El Salvador S.A., por las capacitaciones recibidas en los inicios del proyecto, estas capacitaciones nos abrieron una ventana de posibilidades y que nos demostraron la aplicabilidad de TVWS.

A SVNet, por haber financiado parcialmente este proyecto y las capacitaciones recibidas para la utilización de herramientas de redes.

A SETISA, por capacitaciones recibidas en la manipulación de equipo de Radio Frecuencia.

A Conexión, por habernos otorgados capacitaciones.

A “Universidad de Estados Unidos”, por las capacitaciones brindadas respecto a las tecnologías del Internet de las Cosas.

Al Ministerio de Educación de El Salvador, por permitirnos trabajar con ellos y darnos acceso algunos de sus centros escolares para implementar este proyecto.

A Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones, por las capacitaciones legales y técnicas recibidas.

A Universidad Don Bosco, por el financiamiento parcial y los espacios de trabajo que nos han otorgado.

A Universidad Gerardo Barrios, por el financiamiento parcial y los espacios de trabajo que nos han otorgado.

## **RESUMEN**

En este trabajo se presenta como fue implementado la conexión de Internet algunos centros escolares en las ciudades de San Miguel y Usulután de El Salvador con el cumplimiento de objetivo de desarrollar una infraestructura experimental de última milla de TV White Spaces para desplegar servicios de banda ancha a zonas de difícil acceso y facilitar el desarrollo de nuevas aplicaciones usando tecnología de Internet de las cosas.

Los resultados con esta implementación es que se ha logrado establecer una conexión de hasta 10 Mbps por enlace y una cobertura superior a 10Km de radio. Estos resultados evidencian también que TVWS pueden ser utilizado para otras aplicaciones como: sistemas de alertas temprana, sistema de emergencias, etc. Pero antes de implementar esta tecnología se recomienda informarse con la entidad o agencia reguladora nacional de telecomunicaciones respecto a los canales libres de televisión y los requerimientos para su utilización.

## **PALABRAS CLAVES**

Ancho de Banda del Canal.  
Canales de Televisión.  
Centros Escolares.  
Equipo Local del Cliente (CPE).  
Espectro Radioeléctrico.  
Estación Base (BTS).  
Frecuencia del Canal de Televisión.  
Infraestructura de Red.  
TV White Space (TVWS).  
Rango de Cobertura.  
Tasa de Transmisión.

## RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente las escuelas públicas en el área rural de El Salvador no cuentan con un servicio fijo o estable de internet, el principal motivo del problema es que las instalaciones de telecomunicaciones principalmente se encuentran en áreas de mayor densidad poblacional; por tanto, es difícil encontrar conexiones de última milla (conexión hasta el lugar) para los servicios de internet.

Con el desarrollo tecnológico de los últimos años, se puede buscar alternativas para el ofrecimiento de servicios de internet. Debido a la transición de la era analógica hacia la era digital, o siendo más preciso la utilización de televisión digital, permitirá que canales libres de televisión que no se podían utilizar queden libres para su utilización.

Tv-WhiteSpace es una tecnología que permite realizar comunicaciones de datos o establecer una conexión hacia internet utilizando los canales libres de televisión y establecer conexión WI-FI en el punto final de la conexión.

La finalidad del proyecto consiste en establecer conexión hacia internet a las escuelas públicas en el área rural de El Salvador usando la tecnología de TV-WhiteSpace.

Con el auge de las computadoras y el acceso a internet, el desarrollo de un país se ve directamente afectado a tal punto que el acceso a internet ahora es reconocido como un derecho por la ONU (Organización de las Naciones Unidas).

El acceso a internet permite desarrollar nuevos modelos de educación como educación, y no solamente ello, esto permite mejorar la calidad de educación y la formación profesional para cada salvadoreño porque el acceso a internet es un medio para el acceso a información, rompiendo así la barrera geográfica. Por tanto, para mejorar la calidad de educación y asegurar el acceso a la información es necesario que cada institución educativa de El Salvador cuente con acceso a internet.

Por lo mencionado con anterioridad, el objetivo de este proyecto es **Desarrollar una infraestructura experimental de última milla de TV White Spaces para desplegar servicios de banda ancha a zonas de difícil acceso y facilitar el desarrollo de nuevas aplicaciones usando tecnología de Internet de las cosas.**

Para el cumplimiento del objetivo se han desarrollado 5 objetivo específicos:

1. Determinar la base datos del espectro disponible para la zona de despliegue, evaluación del alcance/potencia y diseño de la topología.
2. Analizar en laboratorio y campo las características de las alternativas tecnológicas para los equipos de base, CPE. de enlace directo y WIFI de alta densidad.
3. Diseño del sistema remoto de gestión dinámico de canales libres de TVWS sobre sistemas embebidos.

4. Desplegar en campo la infraestructura de última milla con TVWS y seleccionar el proveedor del Backbone para el acceso a Internet.
5. Desarrollar al menos dos aplicaciones de demostración de tecnologías o servicios que pueden potenciarse usando modelos de conexión M2M, M2P y P2P de Internet de las Cosas.

Para asegurar el cumplimiento de los objetivos se han desarrollado las actividades listadas con sus respectivos resultados.

#### Objetivo Especifico 1:

- Evaluación de alternativas de zonas para el despliegue de la infraestructura. Conforme a las simulaciones realizadas con la aplicación RadioMobile las zonas de Usulután y San Miguel son adecuadas para sus despliegues.
- Medición del espectro de frecuencia en la zona seleccionada, para construcción de base de datos manual de bandas white space disponibles. Para esta medición los resultados han mostrados que los canales adecuando para la implementación de TVWS son de la banda de frecuencias de televisión UHF.
- Diseño de la topología de despliegue desde el backbone hasta los CPE y organización del espacio de direccionamiento. Debido al funcionamiento de los equipos de TVWS la topología de despliegue entre BTS y CPE es de estrella.

#### Objetivo Especifico 2:

- Evaluación de las hojas técnicas de las distintas alternativas tecnológicas para el equipamiento. Comparando los equipos en relación ancho de banda, tasa de transmisión, sensibilidad, tipo de consola y potencia de transmisión ha dado como resultado que el equipo más adecuado para este proyecto es el de 6Harmonics.
- Evaluación en laboratorio de pares Estación-CPE para determinar su rendimiento en condiciones ideales. El ancho de banda más estable es de 32 Mbps.
- Evaluación en campo de pares Estación-CPE para determinar su rendimiento en condiciones reales. El ancho de banda máximo para múltiples CPE fue de 30 Mbps.
- Ajustes en la topología de despliegue de la solución TVWS. No hubieron modificaciones debido que la topología indicada previamente y las características del equipo eran suficientes para implementar el proyecto.

#### Objetivo Especifico 3:

- Investigación de mecanismos de bajo costo para la medición de espectro de frecuencias. Utilizando sintonizadores RTL-SDR permite medir el espectro aún costo relativamente bajo.
- Diseño e implementación de prototipo para la medición del espectro de frecuencias. Se ha logrado implementar un analizador de TVWS con Raspberry PI y sintonizador RTL-SDR con el cuál se escribió un paper que fue presentado en LatinCom 2018.

- Diseño e implementación de la interfaz de gestión usando IoT over GSM/UMTS. Se implementó un pequeño, pero no se recomienda su utilización en zonas donde la cobertura de GSM no cubra la cobertura de los equipos de TVWS.
- Pruebas en laboratorio y en campo de la solución. Se ha logrado implementar un mapa de visualización para algunas de las zonas de El Salvador.

Objetivo Especifico 4:

- Evaluación de las alternativas para el backbone de la solución. Se realizó negociaciones con los proveedores de Internet de las zonas de San Miguel y Usulután.
- Instalación y configuración de la estación base/ enlace multicanal. Estos dispositivos fueron instalados en las sedes de la Universidad Gerardo Barrios.
- Instalación y configuración de los CPE. Se instalaron en cinco escuelas de San Miguel y 5 escuelas de Usulután, las cuales se encuentran en funcionamiento.
- Pruebas, depuración y ajustes. La consola de administración que tiene los equipos permite realizar estas pruebas, ajustes y configuración.

Objetivo Especifico 5:

- Evaluación de necesidades y/o problemas que puede resolverse con tecnología de IoT. Se determinó que los sistemas de seguridad y alerta temprana aportaría de mejor manera la seguridad de los estudiantes e infraestructura.
- Diseño de solución tecnológica o servicio con tecnología de IoT. Se diseñaron servicios de video vigilancia, detección incendios y detección de intrusos.
- Despliegue de solución o servicio sobre la infraestructura de TVWS. Se implementó una plataforma de gestión con un modelo M2P.

Todas las actividades y resultados anteriores nos han dejado una serie de aprendizaje, por lo cual al momento de implementar un proyecto de TVWS debe tomar en cuentas las siguientes recomendaciones:

- Al momento de simular las conexión de TVWS se deben considerar los edificios y árboles que se encuentre en la zona de despliegue, debido que la cobertura real no sería similar a la simulada provocando que hay secciones dentro del radio de cobertura previsto donde no se puedan establecer las conexiones; esto fue una de las causas por el cual se cambió las escuelas a las cuales se les brinda el servicio de conectividad en este proyecto..
- Consideraciones en los tiempos de envío: al momento de cobrar equipos de TVWS se debe considerar que estos equipos son elaborados conforme a pedido, lo que provoca que el tiempo de recepción se extienda, para el caso de El Salvador se recibían los equipos en un periodo aproximado de 4 meses.

- Utilizar tecnología GSM puede añadir costos adicionales durante el tiempo que el proyecto esté en ejecución, debido que se le debe contratar un servicio de navegación con las empresas de telefonía.
- Para implementar tecnología de GSM para el control automático de los equipos de TVWS debe de verificar que todos los equipos de TVWS estén dentro de la cobertura GSM, de no ser así los equipos no se configurarían correctamente provocando que más de un equipo se quede sin conexión.
- El ancho de banda total que reciba la escuela mediante el equipo CPE está relacionada a la potencia y a la distancia que se encuentre de la estación base.
- El ancho de banda que reciba cada equipo CPE es porcentual a la cantidad de equipos CPE que estén conectados a la misma BTS.
- Para obtener el máximo de rendimiento de los equipos de TVWS para una cobertura de 360°, se recomienda utilizar antenas sectoriales con su respectivo BTS en el punto de conexión al backbone.

Aplicaciones para la industria.

En base a las experiencias de la investigación del proyecto TVWS se recomienda utilizar TVWS para las siguientes situaciones:

- A proveedores de servicios de internet permite mejorar la cobertura de su conexión o crear enlaces entre zonas geográficas para difusión.
- Permite establecer conexión de internet en zonas donde las industrias son territorialmente extensas, ejemplos de algunas de estas industrias son: extracción de minerales, ingenio, agricultura, pesquera, etc.
- Permite establecer una red LAN en la industria que son territorialmente extensas como las expresadas anteriormente.

Conclusiones:

- TVWS es una tecnología que podría ser implementado en cualquier país, conforme a los resultados obtenidos permite establecer una conexión estable de hasta 30 Mbps en El Salvador utilizando equipo de 6harmonics y con una distancia superior a 10 Km. Además, son ideales para cualquier aplicación.
- TVWS permite establecer conexiones para trabajar de dos maneras. La primera es establecer una red de área local donde todos los equipos conectados no necesitan de conexión a internet para comunicarse entre ellos; y, la segunda establecer una conexión a internet con cada uno de los equipos de TVWS.

- Para asegurar el correcto funcionamiento del despliegue de TVWS es necesario una base de datos de canales de TVWS, lo cual permite una gestión mucho más eficiente de la configuración de los equipos y asegura una conexión estable.
- Utilizando las maneras de conexión que permiten los equipos de TVWS se pueden implementar las siguientes aplicaciones: Sistemas de Alertas Temprana, Sistemas de Protección Contra Desastres Naturales, Mejorar en los procesos agricultura, etc.

**TABLA DE CONTENIDOS**

- CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN ..... 1
- CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE ..... 2
- CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA ..... 4
  - Selección de Área de Implementación. .... 4
  - Selección del Equipo de TVWS..... 4
  - Evaluación e Instalación del Equipo de TVWS. .... 5
- CAPÍTULO 4: RESULTADOS ..... 6
  - Objetivo 1 ..... 6
  - Objetivo 2..... 8
  - Objetivo 3..... 9
  - Objetivo 4..... 11
  - Objetivo 5..... 15
- CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN ..... 19
  - ¿Cómo se evalúa el rendimiento del equipo de TVWS?..... 19
  - ¿Se logra brindar internet a los centros escolares con TVWS? ..... 19
  - Mejoras al Proyecto de TVWS ..... 19
- CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES..... 20
  - ALIANZAS DESARROLLADAS..... 21
  - PRÓXIMOS PASOS..... 21
  - LECCIONES APRENDIDAS ..... 21
- CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES DEL TRABAJO Y DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN PARA USAID Y LA INDUSTRIA..... 22
- REFERENCIAS ..... 23
- APÉNDICE ..... 26
  - ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL..... 26
  - INVENTARIO DE ACTIVIDADES MÁS IMPORTANTES..... 37
  - IMPACTO EN EL DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS..... 39
  - IMPACTO EN LA INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA ..... 41
  - LISTA DE CONTACTOS ..... 42
  - RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 43
  - PRODUCTOS GENERADOS CON LA INVERSIÓN DE USAID..... 43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Simulación de Cobertura en San Miguel y Usulután.....	6
Fig. 2 Topología General de Red para TVWS.....	7
Fig. 3 Topología de Red por Centro Escolar. ....	7
Fig. 4 Ancho de Banda entre BTS y CPE.....	9
Fig. 5: Cobertura entre BTS y CPE de 6.5 Km. ....	9
Fig. 6 Sintonizadores RTL-SDR.....	10
Fig. 7 Analizador Espectral de Bajo costo Implementado. ....	10
Fig. 8 Conexión de Módulo GSM y Raspberry PI.....	11
Fig. 9 Cobertura de Canal 29 en El Salvador.....	11
Fig. 10 Instalación de BTS en Universidad Gerardo Barrios San Miguel.....	12
Fig. 11 Instalación de BTS en Universidad Gerardo Barrios Usulután.....	12
Fig. 12 Instalación de Antena en Centro Escolar Cantón Hato Nuevo.....	13
Fig. 13 Instalación de Red en Centro Escolar Confederación Suiza.....	13
Fig. 14 Complejo Educativo Ofelia Herrera.....	14
Fig. 15 Centro Escolar Cantón El Papalón.....	14
Fig. 16 Consola de 6Harmonics de Status de Equipo de TVWS.....	15
Fig. 17 Escuelas ajustadas y conectas a BTS con ancho de banda superior a 19 Mbps. ....	15
Fig. 18 Pruebas de Sistema Alerta de Protección contra Incendios. ....	16
Fig. 19 Esquema de la solución IoT implementada.....	17
Fig. 20 Plataforma de Gestión de Sistemas de Alertas IoT. ....	17
Fig. 21 Toma en vivo de las cámaras de video vigilancia.....	18
Fig. 22 Listado de Cámaras de Video Vigilancia Instaladas en los Centros Escolares.....	18

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Canales Libres de Televisión en San Miguel y Usulután. ....	6
Tabla 2: Tabla de Evaluación de Equipos de TVWS. ....	8



## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El sector de las telecomunicaciones en El Salvador ha sido muy dinámico en su evolución en los últimos años, al igual que en distintos países de América Latina; es notorio el avance que se ha logrado en la penetración de la telefonía celular y que ha mejorado el acceso a servicios de datos que permiten que más sectores puedan obtener los beneficios del Internet.

El acceso a Internet está diversificado con diferentes tecnologías, 3G, 4G, xDSL, Cable Módem, USB módem, lo que hace posible que más del 88% de usuarios de Internet accedan con servicios dedicados, sin embargo la relación de costos de los servicios y el ancho de banda recibido todavía es modesto para zonas rurales y urbanas, donde por diversas causas el servicio es relativamente pobre.

Muchos de los usos del Internet se ven limitados a servicios de mensajería en texto o multimedia y redes sociales; muy pocas son las aplicaciones que integran las cosas, datos, procesos y personas en relaciones Persona a Persona (P2P), Persona a Máquina (P2M) y Máquina a Máquina (M2M) que constituyen el Internet del todo (IoE) por sus siglas en Inglés, con lo que se tiene un amplio espectro de oportunidades para el desarrollo de soluciones hardware-firmware-software que se pueden traducir en nuevos producto y servicios para la industria, el comercio y la gestión pública.

Por otro lado las escuelas públicas en el área rural de El Salvador no tienen acceso a un servicio de calidad del Internet, lo que restringe el desarrollo de la población estudiantil generando una brecha entre el sector rural y urbano; el principal motivo del problema es que las instalaciones de telecomunicaciones principalmente se enfocan en las áreas de mayor densidad poblacional, por lo que es difícil encontrar conexiones de última milla (conexión hasta el lugar) de calidad y a una relación precio ancho de banda favorable.

Es con esta necesidad que surge la idea de implementar este proyecto, por lo cual durante el documento se mencionan las metodologías a utilizar para llevar acceso de Internet a estos centro escolares, los resultado obtenido, la importancia de los datos recolectados y las posibles mejoras que podría tener este proyecto.

## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

Con el crecimiento de la tecnología también ha mejorado la televisión, donde la televisión analógica está pasando a ser televisión digital, este cambio o transformación es parcialmente debido que la televisión digital hace un uso mucho más eficiente de los recursos radioeléctrico, un ejemplo de ello es donde antes era un canal analógico ahora podrían ser hasta 3 canales digital.

El uso eficiente de los recursos de televisión permite que se puedan transmitir más canales de televisión, pero también ha dejado unos espacios que no son utilizados, son a estos canales no utilizados o libres a los que se le conoce como **TV White Space** o **TVWS**.

Algunos países han estado investigando de cómo hacer uso de estos canales de televisión sea para la agricultura, educación u otras áreas, entre una de los resultados actuales es la de uso como medio inalámbrico para establecer conexión a internet. Entre los equipos que han logrado estos resultados se pueden mencionar los que han sido desarrollados por: **Carlson Wireless Technologies**, **6Harmonics**, **Metric Systems Corporation**, **Adaptrum**.

En relación al estado actual de TVWS en algunos países a nivel mundial se pueden mencionar.

- Estados Unidos, FCC (Federal Communications Commission) en el 2010 aprobó la normativa final para permitir el uso de bandas no licenciadas para TVWS. En 2013 La FCC aprueba la base de datos de TVWS de Google para definir los canales que pueden ser usados para TVWS.
- Jamaica, El Ministerio de Ciencia, Tecnología, Energía y Minería de Jamaica junto con Microsoft y el Consorcio NetHope, lanzó un proyecto piloto que se enfoca en el uso de la tecnología TVWS para expandir el acceso a Internet en los principales centro de población, así como en los municipios y aldeas, especialmente del área rural.
- Namibia, TVWS fue implementado en Namibia como un esfuerzo activo para permitir el desarrollo económico de África usando tecnología relevante y accesible. Este proyecto es parte de la Iniciativa 4Africa de Microsoft. La prueba piloto inicial llamada Ciudadanos Conectados, del inglés Citizen Connect, consistió en el despliegue de una red sobre 62 Km x 152 Km (9,424 Km<sup>2</sup>) de área y con conexión a 28 Centros Escolares.
- Filipinas, La prueba piloto fue montado por el Gobierno de Filipinas y Microsoft para ofrecer una conexión WIFI con un costo menor que la tecnología celular tradicional. La prueba piloto fue implementada después del terremoto Bohol y destrucción de Yolanda en Visayas otorgando comunicaciones críticas para el alivio y los esfuerzos de los ciudadanos.

- Tanzania, Este es una prueba piloto y que también forma parte de la Iniciativa 4Africa de Microsoft. Este es un esfuerzo de \$70 Millones para llevar dispositivos inteligentes, conectividad y capacitaciones tecnológicas a empresarios, estudiantes y empresas africanas.
  
- Taiwán, El Grupo Piloto de Acceso Dinámico al Espectro de TAIWÁN y Microsoft se unieron para desarrollar la tecnología de banda ancha de TVWS. Esta tecnología está destinada a la demostración de tecnología a la aceleración de la implementación del Simposio de redes de banda ancha móvil; llevada a cabo del 15 al 16 de Octubre del 2015 en Taipei, Taiwán.
  
- Colombia, Es el primer país de América Latina en contar con una regulación de TVWS. La normativa fue desarrollada por la Agencia Nacional del Espectro (ANE) y la Dynamic Spectrum Alliance.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

### Selección de Área de Implementación.

Debido a la naturaleza del proyecto, llevar servicio de Internet a Centros Escolares Salvadoreños, el primer paso para la implementación del proyecto es seleccionar las áreas de implementación, centros escolares y la conexión al backbone de Internet.

Áreas de Implementación, para la prueba piloto se seleccionaron las zonas conforme a los siguientes criterios.

- ✓ Cercanía a las sedes de Universidad Gerardo Barrios y Universidad Don Bosco para soporte.
- ✓ Cercanía a las sedes de Universidad Gerardo Barrios y Universidad Don Bosco para mantenimiento.

Centros Escolares, estos centros deben cumplir con los siguientes criterios:

- ✓ Computadoras disponibles.
- ✓ No poseer acceso de Internet actualmente ó el ancho de banda del internet con el que se cuenta no pueda cubrir la demanda estudiantil.
- ✓ Cuento con el mínimo de requerimiento con infraestructura de red ó permita la instalación de la infraestructura de red sin modificar la estructura del centro escolar.
- ✓ Que se encuentren dentro del rango de cobertura de los equipos de TVWS, aproximadamente 10 Km de Radio.

Conexión al backbone de Internet, esta zona de instalación es donde se conecta el acceso a internet y el equipo a instalar es la BTS, esta zona de instalación debe encontrarse de manera céntrica conforme al área de cobertura que se desea generar.

### Selección del Equipo de TVWS.

Como segunda etapa para la implementación del proyecto, se deben verificar los equipos que existen actualmente en el mercado, una vez verificado los equipos se proceder a evaluar conforme a la ficha técnica hasta obtener el equipo que más se adapte a las necesidades del proyecto.

Para la evaluación de los equipos se debe poner atención principalmente a las siguientes características:

- ✓ Potencia de transmisión y sensibilidad del receptor: estas características son necesarias para definir el alcance que se tendrá en la comunicación entre los equipos, a mayor sensibilidad y potencia mayor será el alcance de transmisión.
- ✓ Tipo de consola: conforme al tipo de consola se tendrá facilidad para configurar los equipos con hardware externo en relación al identificador de canales libres.

- ✓ Ancho de banda de canal: se debe considerar el ancho de banda de los canales debido que cada país cuenta con sus propias normas de regulación del espectro radioeléctrico.
- ✓ Tasa de transmisión: la tasa de transmisión define la velocidad en que los usuarios se pueden hacer conexión hacia internet, se debe tener en cuenta que la velocidad final de conexión influye la cantidad de usuario conectados, el ancho de banda de la backbone y el destino de conexión.

Finalmente, para obtener el equipo más adaptable se recomienda realizar una tabla de ponderaciones, en las cuales se ponderan las características mencionadas conforme a las siguientes consideraciones:

- ✓ Potencia de transmisión: 10%, se asignó el menor porcentaje debido que no afecta adversamente al cumplimiento de varios objetivos.
- ✓ Sensibilidad del receptor: 10%, se asignó el menor porcentaje debido que no afecta adversamente al cumplimiento de varios objetivos.
- ✓ Tipo de consola: 20%, se asignó el segundo mayor porcentaje debido que no todos los equipos utilizan métodos de consola para su configuración lo cual dificultará la adaptación del módulo del detector de canales libres para realizar un ajuste automático.
- ✓ Ancho de banda del canal: 40%, se asigna el mayor porcentaje debido que se debe cumplir con normas de regulación de El Salvador.
- ✓ Tasa de transmisión: 20%, se asignó el segundo mayor porcentaje debido que la tasa de transmisión influye la velocidad de conexión que tendría cada usuario.

### **Evaluación e Instalación del Equipo de TVWS.**

Verificado el equipo a utilizar y su adquisición se prosigue a verificar con pruebas que en efecto el equipo adquirido es adecuado para nuestro proyecto.

Para la evaluación del equipo.

1. Verificar los canales de televisión disponibles.
2. Configurar el equipo utilizando los canales disponibles.
3. Verificar la conectividad del equipo con diferentes distancias entre BTS y CPE.
4. Verificar la tasa de transmisión entre BTS y CPE en diferentes distancias.

Para la instalación del equipo.

1. Verificar la infraestructura de los centros escolares.
2. Definir un diseño de red básico.
3. Instalar CPE en los centros escolares.
4. Instalar BTS en las sedes de Universidad Gerardo Barrios.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS

### Objetivo 1

Determinar la base datos del espectro disponible para la zona de despliegue, evaluación del alcance/potencia y diseño de la topología.

- Evaluación de alternativas de zonas para el despliegue de la infraestructura. Conforme a las simulaciones realizadas con la aplicación RadioMobile las zonas de Usulután y San Miguel son adecuadas para sus despliegues.

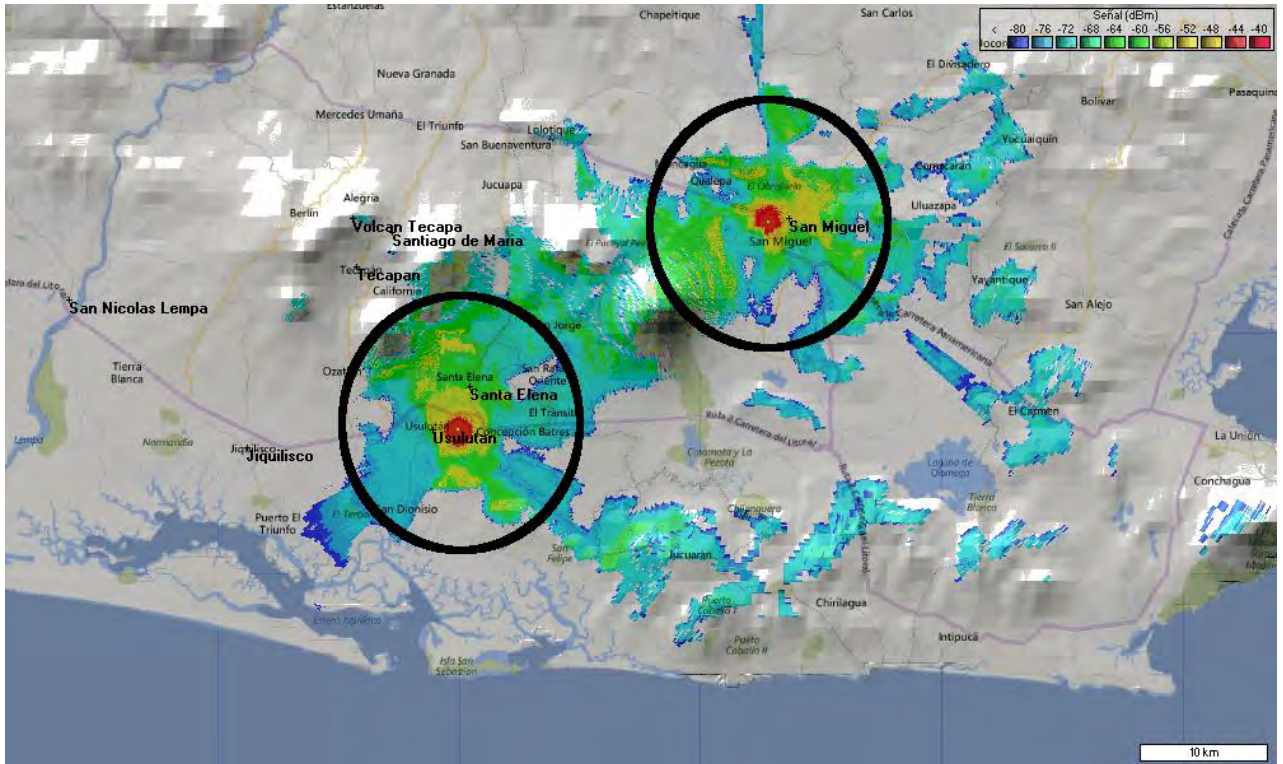


Fig. 1 Simulación de Cobertura en San Miguel y Usulután.

- Medición del espectro de frecuencia en la zona seleccionada, para construcción de base de datos manual de bandas white space disponibles. Para esta medición los resultados han mostrados que los canales adecuando para la implementación de TVWS son de la banda de frecuencias de televisión UHF.

Tabla 1: Canales Libres de Televisión en San Miguel y Usulután.

Banda de Canales	San Miguel	Usulután
VHF	5, 7, 9, 10, 11, 13	11,13
UHF	14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60,	14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60,

Se determinaron los canales libres utilizando un analizador espectral y verificando que no se encuentre ningún tipo de señal en dicha frecuencia, Agosto 2017.

- Diseño de la topología de despliegue desde el backbone hasta los CPE y organización del espacio de direccionamiento. Debido al funcionamiento de los equipos de TVWS la topología de despliegue entre BTS y CPE es de estrella.

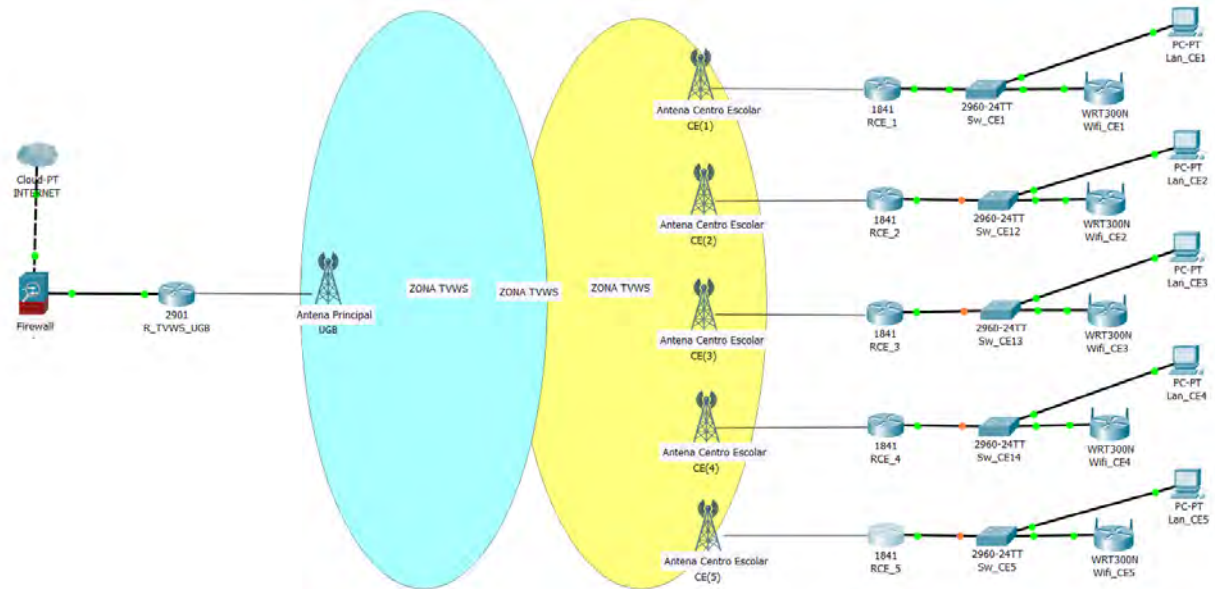


Fig. 2 Topología General de Red para TVWS

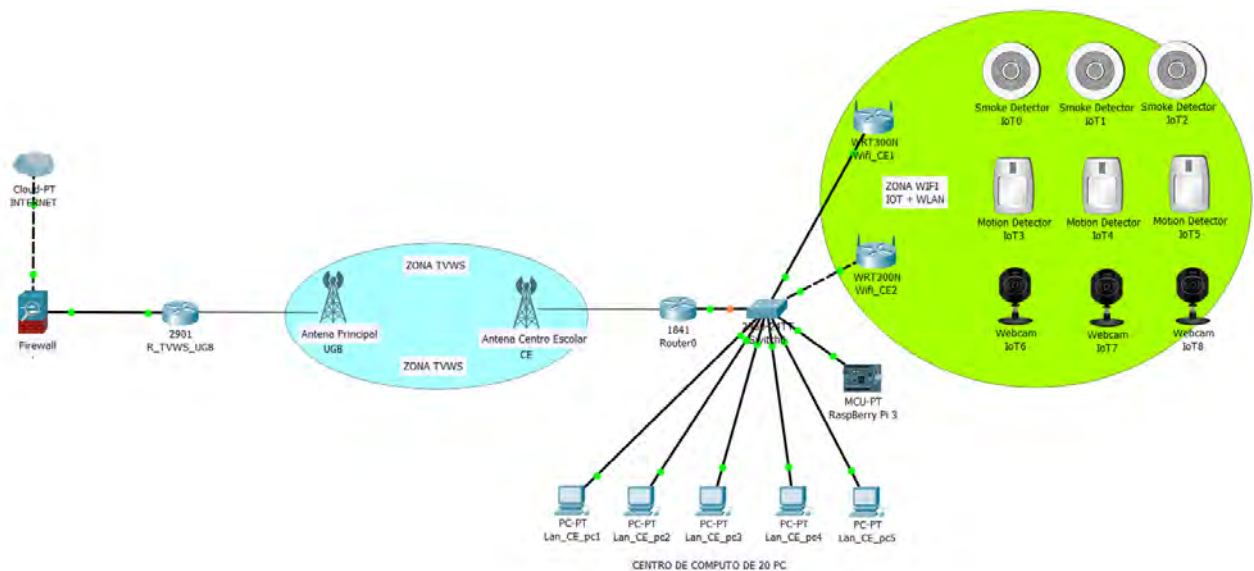


Fig. 3 Topología de Red por Centro Escolar.

## Objetivo 2.

Analizar en laboratorio y campo las características de las alternativas tecnológicas para los equipos de base, CPE. de enlace directo y WIFI de alta densidad.

- Evaluación de las hojas técnicas de las distintas alternativas tecnológicas para el equipamiento. Comparando los equipos en relación ancho de banda, tasa de transmisión, sensibilidad, tipo de consola y potencia de transmisión ha dado como resultado que el equipo más adecuado para este proyecto es el de 6Harmonics.

Tabla 2: Tabla de Evaluación de Equipos de TVWS.

Ponderación	10.00%	10.00%	20.00%	40.00%	20.00%	
Proveedor/Características de evaluación	Sensibilidad	Potencia de transmisión	Tipo de Consola	Ancho de banda del canal	Tasa de transmisión.	Nota Final
6harmonics	10	9	10	10	10	9,9
RAPTOR X	8	10	5	10	0	6,8
Carlson Wireless	5	9	10	0	10	5,4
Adaptrum	8	0	0	10	3	5,4

Conforme a la tabla 1, el equipo que puede permitir la implementación exitosa del proyecto es el de *6harmonics*.

La definición para las ponderaciones fueron las siguientes:

- ✓ Potencia de transmisión, 10 para el equipo que posea la mayor potencia de transmisión, la ponderación para los equipos restantes es la relación entre la potencia de transmisión del equipos a evaluar y la potencia de transmisión del equipo de referencia (equipo de mayor potencia) multiplicado todo por 10.
- ✓ Sensibilidad, 10 para el equipo que posea la mayor sensibilidad, la ponderación para los equipos restantes es la relación entre la sensibilidad del equipos a evaluar y la sensibilidad del equipo de referencia (equipo de mayor sensibilidad) multiplicado todo por 10.
- ✓ Tipo de consola, 10 para la consola que es estándar, 5 para las consolas libres y 0 para las consolas propietarias.
- ✓ Ancho de banda: 10 si permite utilizar ancho de banda de 6 MHz de lo contrario es 0.
- ✓ Tasa de transmisión: 10 para el equipo que posea la mayor tasa de transmisión, la ponderación para los equipos restantes es la relación entre la tasa de transmisión del equipos a evaluar y la tasa de transmisión del equipo de referencia (equipo de mayor tasa de transmisión) multiplicado todo por 10.

- Evaluación en laboratorio de pares Estación-CPE para determinar su rendimiento en condiciones ideales. El ancho de banda más estable es de 32 Mbps.

Se verificó un ancho de banda de 10 Mbps para Doble Canal.

### Down Link

Status at EAR

x	IP	RSSI / Noise Floor / SNR	TX Rate	RX Rate	Temperature	Location	System Up Time	Tx Power
x	192.168.1.4	-87 dBm / -104 dBm / 17	TX: 3.6 MBit/s, MCS 0, short GI	RX: 3.3 MBit/s, MCS 0	76.00 C	(44.429534, -75.15075)	0:42:43.0 d 0 m 0 y	33 dBm

### Up Link

Status at CAR

—	IP/MAC	RSSI / Noise Floor / SNR	Tx Rate / Modulation / Tx Packets	Rx Rate / Modulation / Rx Packets	Radio Link Up Time
—	192.168.1.4	-80 dBm / -84 dBm / SNR 4.2360 ms ago	7.2 MBit/s, MCS 1, short GI 5277 Pkts.	3.3 MBit/s, MCS 0 2655 Pkts.	0:0:42.0 d 0 m 0 y

Fig. 4 Ancho de Banda entre BTS y CPE.

- Evaluación en campo de pares Estación-CPE para determinar su rendimiento en condiciones reales. El ancho de banda máximo para múltiples CPE fue de 30 Mbps.



Fig. 5: Cobertura entre BTS y CPE de 6.5 Km.

- Ajustes en la topología de despliegue de la solución TWWS. No hubieron modificaciones debido que la topología indicada previamente y las características del equipo eran suficientes para implementar el proyecto.

### Objetivo 3.

Diseño del sistema remoto de gestión dinámica de canales libres de TWWS sobre sistemas embebidos.

- Investigación de mecanismos de bajo costo para la medición de espectro de frecuencias. Utilizando sintonizadores RTL-SDR permite medir el espectro aún costo relativamente bajo.

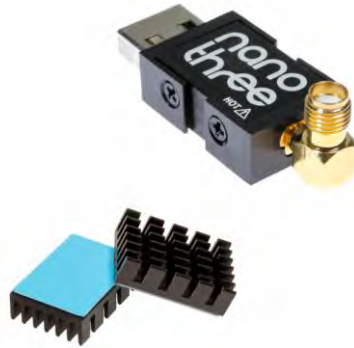


Fig. 6 Sintonizadores RTL-SDR

- Diseño e implementación de prototipo para la medición del espectro de frecuencias. Se ha logrado implementar un analizador de TVWS con Raspberry PI y sintonizador RTL-SDR con el cuál se escribió un paper que fue presentado en LatinCom 2018.



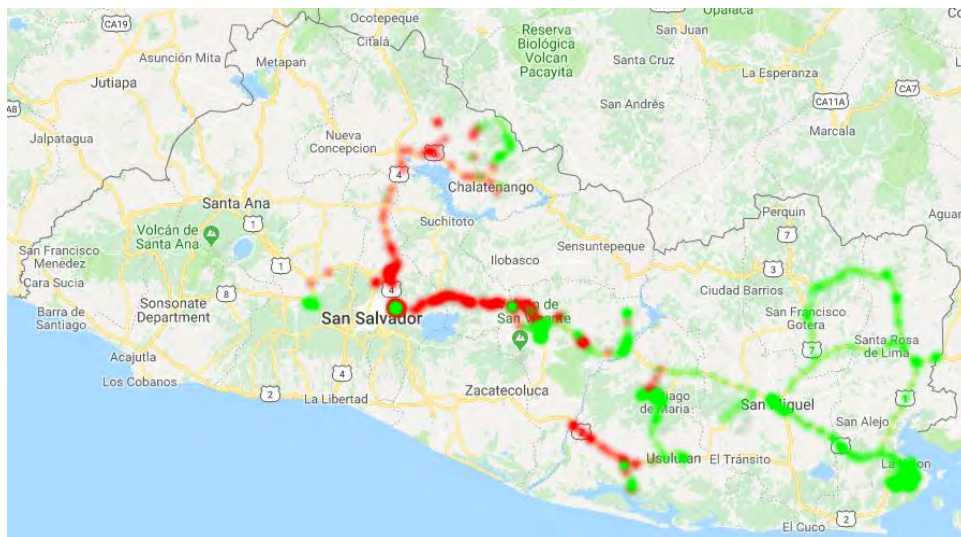
Fig. 7 Analizador Espectral de Bajo costo Implementado.

- Diseño e implementación de la interfaz de gestión usando IoT over GSM/UMTS. Se implementó un pequeño, pero no se recomienda su utilización en zonas donde la cobertura de GSM no cubra la cobertura de los equipos de TVWS.



**Fig. 8 Conexión de Módulo GSM y Raspberry PI**

- Pruebas en laboratorio y en campo de la solución. Se ha logrado implementar un mapa de visualización para algunas de las zonas de El Salvador.



**Fig. 9 Cobertura de Canal 29 en El Salvador**

Fig.9 representa los datos obtenidos hasta el 29 de Junio de 2018 en algunas de las ciudades de los departamentos de: Chalatenango, San Salvador, San Miguel, Usulután y LA Unión.

#### Objetivo 4

Desplegar en campo la infraestructura de última milla con TVWS y seleccionar el proveedor del Backbone para el acceso a Internet.

- Evaluación de las alternativas para el backbone de la solución. Se realizó negociaciones con los proveedores de Internet de las zonas de San Miguel y Usulután.
- Instalación y configuración de la estación base/ enlace multicanal. Estos dispositivos fueron instalados en las sedes de la Universidad Gerardo Barrios.



Fig. 10 Instalación de BTS en Universidad Gerardo Barrios San Miguel

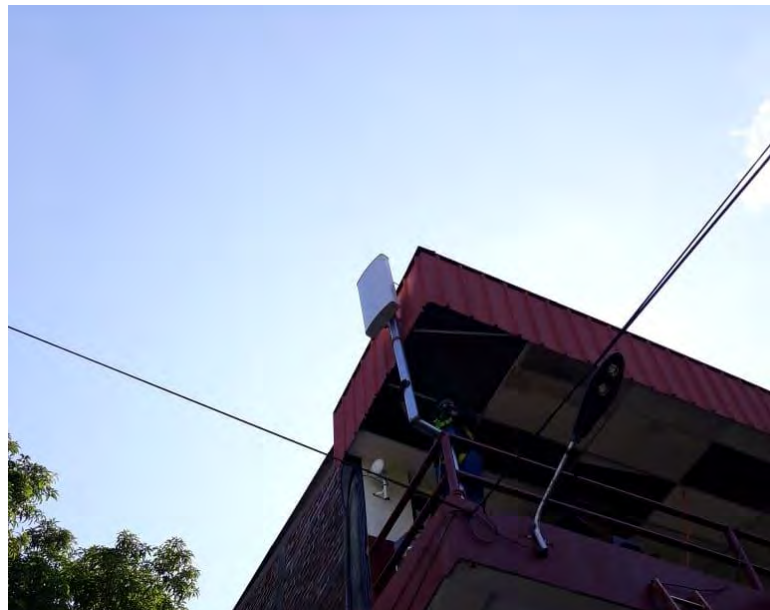


Fig. 11 Instalación de BTS en Universidad Gerardo Barrios Usulután

- Instalación y configuración de los CPE. Se instalaron en cinco escuelas de San Miguel y 5 escuelas de Usulután, las cuales se encuentran en funcionamiento.

Los Centros Escolares que estarán participando dentro de esta prueba piloto son:

- Usulután,
  - Instituto Santa Elena
- San Miguel,
  - Centro Escolar Cantón Hato Nuevo.

- Centro Escolar Confederación Suiza.
- Complejo Educativo Ofelia Herrera.
- Centro Escolar Cantón El Papalón.
- Centro Escolar Dolores Souza.



**Fig. 12** Instalación de Antena en Centro Escolar Cantón Hato Nuevo



**Fig. 13** Instalación de Red en Centro Escolar Confederación Suiza



Fig. 14 Complejo Educativo Ofelia Herrera



Fig. 15 Centro Escolar Cantón El Papalón

- Pruebas, depuración y ajustes. La consola de administración que tiene los equipos permite realizar estas pruebas, ajustes y configuración.

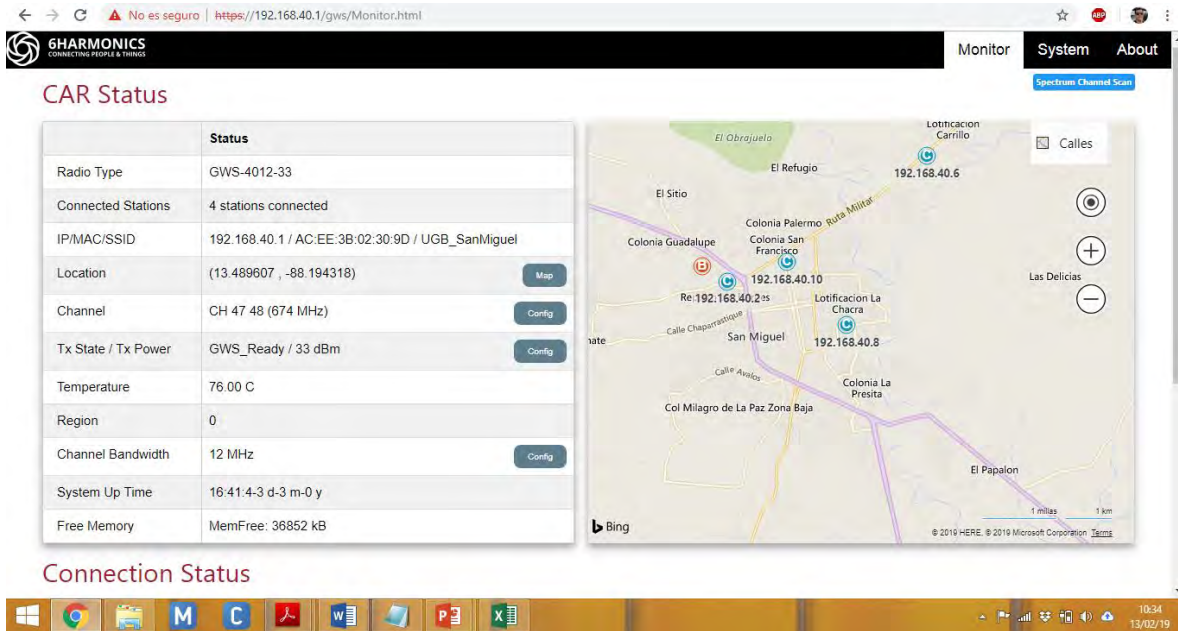


Fig. 16 Consola de 6Harmonics de Status de Equipo de TVWS.

Connection Status

Up Link

Status at CAR

+	IP/MAC	RSSI / Noise Floor / SNR	Tx Rate / Modulation / Tx Packets	Rx Rate / Modulation / Rx Packets	Radio Link Up Time
+	192.168.40.10	-75 dBm / -100 dBm / SNR 25 80 ms ago	28.9 MBit/s, MCS 5, short GI 5651283 Pkts.	21.6 MBit/s, MCS 4, short GI 3719395 Pkts.	11:19:30-17 d-0 m-0 y
+	192.168.40.2	-84 dBm / -100 dBm / SNR 16 0 ms ago	19.5 MBit/s, MCS 4 17710168 Pkts.	13.0 MBit/s, MCS 3 11036241 Pkts.	7:7:42-10 d-0 m-0 y
+	192.168.40.6	-61 dBm / -100 dBm / SNR 39 80 ms ago	28.9 MBit/s, MCS 5, short GI 255 Pkts.	3.3 MBit/s, MCS 0 122 Pkts.	0:0:19-0 d-0 m-0 y
+	192.168.40.8	-73 dBm / -100 dBm / SNR 27 80 ms ago	32.5 MBit/s, MCS 6, short GI 13716513 Pkts.	26.0 MBit/s, MCS 5 7676266 Pkts.	19:14:50-9 d-0 m-0 y

Fig. 17 Escuelas ajustadas y conectas a BTS con ancho de banda superior a 19 Mbps.

### Objetivo 5.

Desarrollar al menos dos aplicaciones de demostración de tecnologías o servicios que pueden potenciarse usando modelos de conexión M2M, M2P y P2P de Internet de las Cosas.

- Evaluación de necesidades y/o problemas que puede resolverse con tecnología de IoT. Se determinó que los sistemas de seguridad y alerta temprana aportaría de mejor manera la seguridad de los estudiantes e infraestructura.

Nuestro sistema integra módulos los cuales están en cada escuela conformados por:

- ESP32 como backbone que integrara el procesamiento de señales de los sensores de humo y sensores de detención de movimiento (infrarojos). Cada uno de los ESP32 instalados en

los centros escolares transmitirá los datos de los sensores a un servidor central localizado en la UGB – San Miguel en el que se almacenarán registros de cada uno de los eventos detectados por los sensores para realizar una analítica de datos para cada escuela.

- El ESP32. Está en un módulo que integra con dos sensores: un de humo y otro de movimiento, los valores detención de humo y movimiento se transmitirán vía WiFi al enrutador de cada escuela, y luego vía TVWS al sistema Alerta temprana(SAT).
- Cámara IP. Se conecta via wifi al enrutador de cada escuela; luego el enrutador enviara el streaming de video por medio la red de TVWS para tener acceso de FTP al SAP alojado en UGB server.

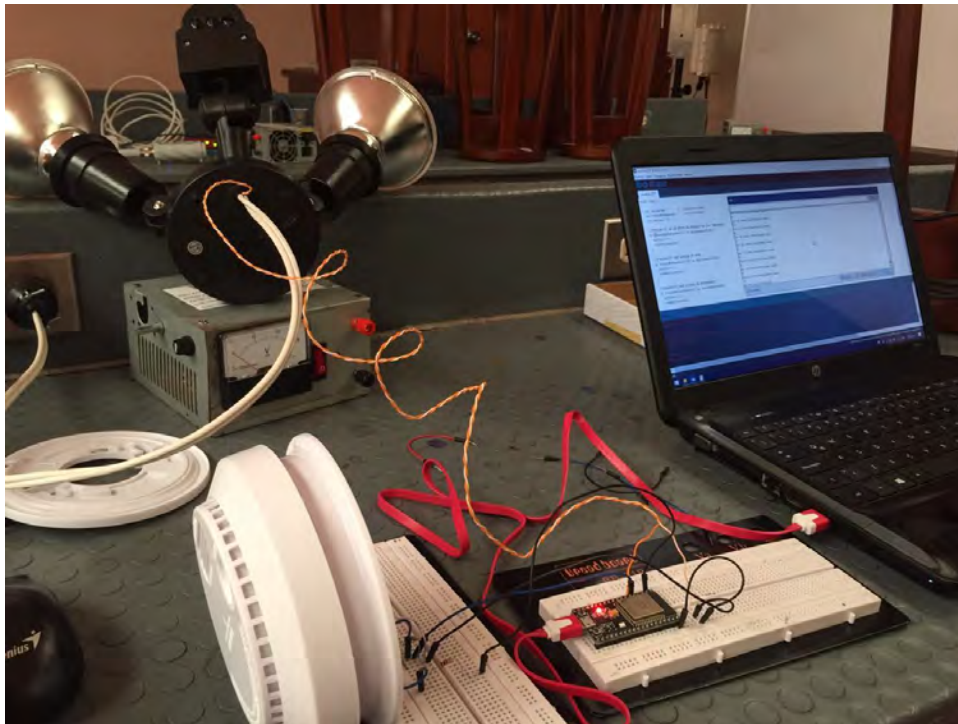


Fig. 18 Pruebas de Sistema Alerta de Protección contra Incendios.

- Diseño de solución tecnológica o servicio con tecnología de IoT. Se diseñaron servicios de video vigilancia, detección incendios y detección de intrusos.



Fig. 19 Esquema de la solución IoT implementada.

- Despliegue de solución o servicio sobre la infraestructura de TVWS. Se implementó una plataforma de gestión con un modelo M2P.

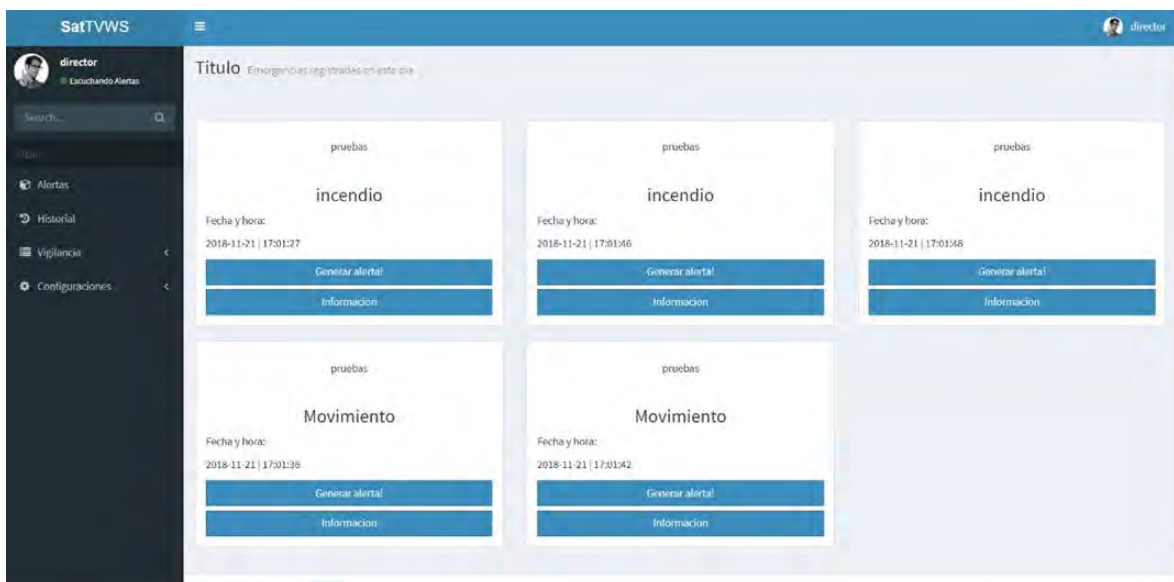


Fig. 20 Plataforma de Gestión de Sistemas de Alertas IoT.



Fig. 21 Toma en vivo de las cámaras de video vigilancia.

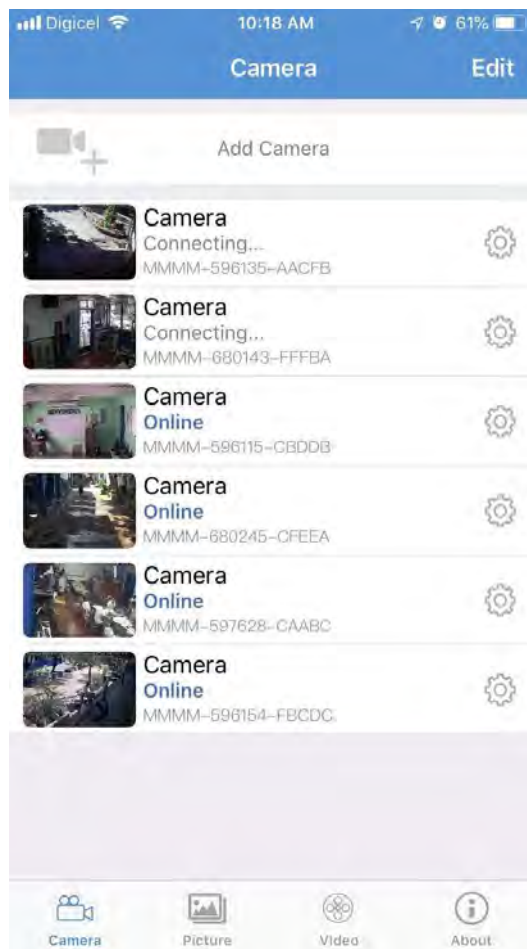


Fig. 22 Listado de Cámaras de Video Vigilancia Instaladas en los Centros Escolares.

## CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN

### ¿Cómo se evalúa el rendimiento del equipo de TVWS?

Durante la realización de mediciones no se ha logrado obtener un resultado estable debido a: las condiciones territoriales, temporales y climatológicas. Estas mediciones de corta duración no permiten verificar el rendimiento exacto de los equipos de TVWS adquiridos. El rendimiento esperado era obtener una tasa de 36 Mbps por enlace; no obstante, la tasa de transmisión obtenida era hasta 10 Mbps por enlace. A pesar de que este resultado no es el esperado es aceptable para implementar TVWS en El Salvador, con el objetivo de brindar acceso a internet en centros escolares pequeños.

Por lo cual las condiciones que fue probado no son las óptimas, es recomendable realizar pruebas de al menos unos meses para que el equipo pueda estar sometido a diferentes condiciones y obtener el rendimiento real.

### ¿Se logra brindar internet a los centros escolares con TVWS?

Con TVWS se ha logrado establecer una conexión desde los centro escolares hacia internet, no solo ha permitido establecer una conexión hacia internet si no una conexión entre escuelas independiente de la conexión de internet. Sin embargo, entre mayor sea la cantidad de centros escolares conectadas al mismo punto de BTS el rendimiento de la conexión se ve negativamente afectada, esto es debido que la tasa de transmisión total es dividida entre los centros escolares conectados.

### Mejoras al Proyecto de TVWS

Los resultados de la instalación de los equipos de TVWS en las escuelas demuestran que no se necesita una instalación de telecomunicaciones previamente instalada. Esta característica permite que el proyecto pueda hacer ampliado. Entre las mejoras que podría tener el proyecto es incluir un sistema de emergencia para desastres naturales.

Este sistema de emergencia puede ser desarrollado como una conexión común para que los centros de emergencias (PNC, Cruz Rojas, Hospitales, etc.) y la ciudadanía en general siempre se encuentren conectados.

El sistema de emergencia puede conectar cada centro de emergencia y puntos de ciudadanía en común (puntos de WIFI) como una especie de red de área local más una aplicación móvil aseguraría que la población este comunicado sin una dependencia de conexión directa hacia internet.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

TVWS es una tecnología que podría ser implementado en cualquier país, conforme a los resultados obtenidos permite establecer una conexión estable de hasta 30 Mbps en El Salvador utilizando equipo de 6harmonics y con una distancia superior a 10 Km. Además, son ideales para cualquier aplicación.

TVWS permite establecer conexiones para trabajar de dos maneras. La primera es establecer una red de área local donde todos los equipos conectados no necesitan de conexión a internet para comunicarse entre ellos; y, la segunda establecer una conexión a internet con cada uno de los equipos de TVWS.

Para asegurar el correcto funcionamiento del despliegue de TVWS es necesario una base de datos de canales de TVWS, lo cual permite una gestión mucho más eficiente de la configuración de los equipos y asegura una conexión estable.

Un sistema de análisis espectral integrado o equipado con los equipos de TVWS, puede permitir un ajuste dinámico de la configuración. Esto puede evitar que fallas prolongadas en la conexión si hay inconveniente con los canales de televisión utilizados.

La implementación de un analizador espectral en un sistema embebido permite que se pueden equipar a los equipos de TVWS debido al bajo costo y el beneficio de asegurar conexiones estables prolongadas.

Al instalar los equipos de TVWS el ancho de banda de la backbone es distribuido entre cada CPE conectado al BTS de la backbone, por lo que es recomendable verificar que el ancho de banda que se obtendrá por cada CPE sea adecuado para la aplicación a implementar, en caso contrario se recomienda utilizar más BTS's y/o aumentar el ancho de banda de internet con el proveedor de servicios.

Utilizando las maneras de conexión que permiten los equipos de TVWS se pueden implementar las siguientes aplicaciones con el Internet de las Cosas: Sistemas de Alertas Temprana, Sistemas de Protección Contra Desastres Naturales, Mejorar en los procesos agricultura, etc.

Los resultados obtenidos con los sistemas de alerta de temprana e IoT han demostrado que con una gestión de adecuada los tiempos de respuesta para siniestros o desastres naturales pueden ser reducidos. Estos es debido que con una aplicación en pantalla los cuerpos de socorro podrían detectar casi de inmediato la ubicación del problema y la causa. Sin estar consultando por llamada a los afectos.

La implementación de TVWS en Centros Escolares demuestra efectivamente que puede mejorar la calidad de estudios, especialmente en los centros escolares que no cuentan con este tipo de servicio. Además, puede mejorar los índices del país debido que aumentaría el nivel penetración del Internet, el cual ahora se considera como derecho según la Organización de la Naciones Unidas.

## **ALIANZAS DESARROLLADAS.**

Se desarrollaron alianzas con SETISA, empresa que nos brindó equipos de medición para pruebas y capacitaciones para poder desarrollar el proyecto.

## **PRÓXIMOS PASOS**

Microsoft implementará un servicio office 360 para las escuelas que poseen el servicio de internet por medio de TVWS, en propuesta.

JICA para sistemas de alerta temprana para prevención de deslaves en la carretera los chorros y el río Las Lajas en Volcán de San Salvador, en propuesta y simulación.

## **LECCIONES APRENDIDAS**

Se debe tomar en cuenta en los tiempos de los pedidos de los equipos de TVWS la manufacturación, por ser sistemas muy especializados no existen en stock, esto demora el envío de los dispositivos.

Ahora se cuenta con nuevas herramientas para la comunicación en puntos lejanos con esta tecnología esto nos abre la puerta a nuevas ideas para comunicar tanto personas como máquinas en futuros proyectos.

## CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES DEL TRABAJO Y DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN PARA USAID Y LA INDUSTRIA

Cada persona natural o jurídica que desee implementar este trabajo deber verificar primeramente las regulaciones del espectro radio eléctrico del país a implementar. Y que los canales de televisión libres puedan ser utilizados para la aplicación.

Se recomienda verificar los canales libres de televisión especialmente los adyacentes; además, que los canales elegidos a utilizar estén disponibles en toda la zona de cobertura.

Debido que no todos los países del mundo trabajan con el mismo estándar de televisión, se debe verificar que el ancho de banda de los equipos de TVWS corresponda al ancho de banda de los canales de televisión; en el caso de El Salvador estos anchos de banda son de 6 MHz.

Utilizando los equipos de TVWS actuales se debe evitar la utilización de información sensible, el motivo es que cualquier equipo de la misma marca se puede conectar entre sí, esta característica permite que equipos de terceros se puedan conectar a nuestra red.

La industria debe evaluar con herramientas de red la tasa de transmisión requerida para su aplicación, si la tasa de red requerida es menor que la permitida por los equipos de TVWS el efecto que se tendrá que es la conectividad sea más lenta de lo esperado.

Para obtener mayor rango de cobertura se recomienda a utilizar antenas sectoriales; no obstante, al utilizar antenas sectoriales se deben utilizar 3 antenas sectoriales y 3 BTS en el mismo punto para lograr una cobertura de 360°.

## REFERENCIAS

- [1] Carlson Wireless, 2016  
[http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2016/04/Innovative-Use-Cases-for-Dynamic-Spectrum-Access-Technologies\\_Jim-Carlson-Espanol.pdf](http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2016/04/Innovative-Use-Cases-for-Dynamic-Spectrum-Access-Technologies_Jim-Carlson-Espanol.pdf)
- [2] 6Harmonic's, Feb 26, 2016, GWS-4006-23 GWS-4006-23 GWS-4012-23 User's Guide
- [3] Dia, 2004, <http://dia-installer.de/doc/en/dia-manual.pdf>
- [4] El Diario de Hoy, Jun 01, 2016,  
<http://www.elsalvador.com/noticias/nacional/193582/un-nino-una-nina-una-computadora-solo-un-eslogan/>
- [5] FCC , Mayo 2014,  
[http://dynamicspectrumalliance.org/assets/DSA\\_Presentations/DSASummit\\_May2014\\_Day2OpeningKeynote\\_AnnGallagher.pdf](http://dynamicspectrumalliance.org/assets/DSA_Presentations/DSASummit_May2014_Day2OpeningKeynote_AnnGallagher.pdf)
- [6] Radio Mobile, 2016, <http://www.ve2dbe.com/english1.html>
- [7] SIGET, Febrero 2017, <https://www.siget.gob.sv/?wpmact=process&did=Mjg5LmhhvdGxpbnms>
- [8] CLARA, January 2010, Redes Avanzadas en América Latina
- [9] FCC, White Space, <https://www.fcc.gov/general/white-space>
- [10] Jeff Blagdon, FCC Approves Google's TVWS Database for use, January 2013,  
<https://www.theverge.com/2013/6/29/4478424/google-tv-whitespace-database-approved-by-fcc>
- [11] Microsoft, White Spaces Database, 2015, <http://whitespaces.microsoftspectrum.com/>
- [12] E. Pietrosemoli and M. Zennaro, TV White Space a Pragmatic Approach, December 2013,  
<http://wireless.ictp.it/tvws/book/online/viewer.html>
- [13] Rashid Abdelhaleem Saeed, Stephen J. Shellhammer, *TV White Space Spectrum Technologies: Regulations, Standards, and Applications*, First Edition.
- [14] Ayon Chakraborty, Samir R. Das, and Milind Bud-dhikot, "Radio Environment Mapping with Mobile Devices in the TV White Space".  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.717.7094&rep=rep1&type=pdf>
- [15] Adriana B. Flores, Ryan E. Guerra, and Edward W. Knightly, "IEEE 802.11af: A Standard for TV White Space Spectrum Sharing", IEEE Communications Magazine [2013], pp. 92-100.
- [16] Centre for White Space Communications, "In-Home TVWS Measurements Using IEEE 802.11af ", (2015), p.4.  
[https://www.wirelesswhitespace.org/wp-content/uploads/2016/06/cwscreport for sky v01 01.pdf](https://www.wirelesswhitespace.org/wp-content/uploads/2016/06/cwscreport%20for%20sky%20v01%2001.pdf)
- [17] Keysight Technologies, "Spectrum Analysis Basics", Application Note 150, pp. 5-6.  
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5952-0292.pdf>

- [18] E.Pietrosemoli and M.Zennaro,"TV WHITE SPACES A PRAGMATIC APPROACH", 1st-ed,International Centre for Theoretical Physics: 2013
- [19] M. Zennaro, E. Pietrosemoli, J. Mlatho, M. Thodi and C. Mikeka, "An assessment study on white spaces in Malawi using affordable tools", 2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), San Jose, CA, 2013, pp. 2-5.
- [20] Carlson Wireless Technologies, "TV White Space Breakthrough Technology". <https://www.carlsonwireless.com/tv-white-space/>
- [21] Dag Grini, "RF Basics, RF for Non-RF Engineers", Texas Instrument, p. 43. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ml/slap127/slap127.pdf>
- [22] 6Harmonics, "GWS4000 Series", p. 1. <http://queenstvws.com/GWS%204000%20Series%20Datasheet%20FCC%20certified%20July%202016-2.pdf>
- [23] Andrés Arcia-Moret, Ermanno Pietrosemeli, Marco Zennaro, "WhisPi: White Space Monitoring with Raspberry Pi". <http://wireless.ictp.it/Papers/GIIS2013.pdf>
- [24] Alexander Nikolaev, "RF frequency heatmap using Google Maps API". <https://github.com/ati/heatmap>
- [25] Scott Armitage, "Low-Cost 2.4-GHz Spectrum Analyzer", Circuit Cellar. <http://bbs.21ic.com/upfiles/img/20093/200935225642743.pdf>
- [26] L. S. Nagurney, "Software dened radio in the electrical and computer engineering curriculum", 2009 39th IEEE Frontiers in Education Conference, pp. 16, 2009
- [27] J. L. E. Upton, R. Mullins and A. Mycroft, "What is a Raspberry Pi". <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#introWhatIs>
- [28] H. K. K. C. V. S. Markgraf, D. Stolnikov and H. Welte, "What is RTL-SDR". <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>
- [29] B. Uengtrakul and D. Bunnjaweht, "A Cost Efcient Software Dened Radio Receiver for demonstrating Concepts in Communication and Signal Processing using Python and RTL-SDR", pp. 1-6, 2014.
- [30] T. Dicola, "freqshow Rpi RTL-SDR frequency scanner". <https://learn.adafruit.com/freq-show-raspberry-pi-rtl-sdr-scanner/overview>
- [31] D. S. S. Markgraf and Hoernchen, " Osmocom sdr ". <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>
- [32] Sierra, E. G., and GA Ramrez Arroyave, "Low cost SDR spectrum analyzer and analog radio receiver using GNU radio, raspberry Pi2 and SDR-RTL dongle", Communications (LATINCOM), 2015 7th IEEE Latin - American Conference on IEEE, 2015.[20] H. Mohamed, P. Lazaridis, D. Upton, U. Khan, B. Saeed, A. Jaber, Y. Zhang, P. Mather, M. F. Q. Vieira, K. W. Barlee, D. S. W. Atkinson, A. Mihovska, L. Gavrilovska, and, I. A. Glover, "Partial Discharge Detection Using Low Cost RTL-SDR Model for Wideband Spectrum Sensing". Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/74252533.pdf>

[33] Pradeep Kumar, Nitin Rakheja, Aparna Sarswat, Himanshu Varshney, Prerna Bhatia, anddeep R. Goli, Vinay J. Ribeiro, Manish Sharma, "White Space Detection and Spectrum Characterization in Urban and Rural India".  
[http://www.sandeepgoli.com/resources/wsd\\_paper.pdf](http://www.sandeepgoli.com/resources/wsd_paper.pdf)

## APÉNDICE

### ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL

Los equipos transmisores se encuentran instalados en la Universidad Gerardo Barrios de San Miguel y Usulután

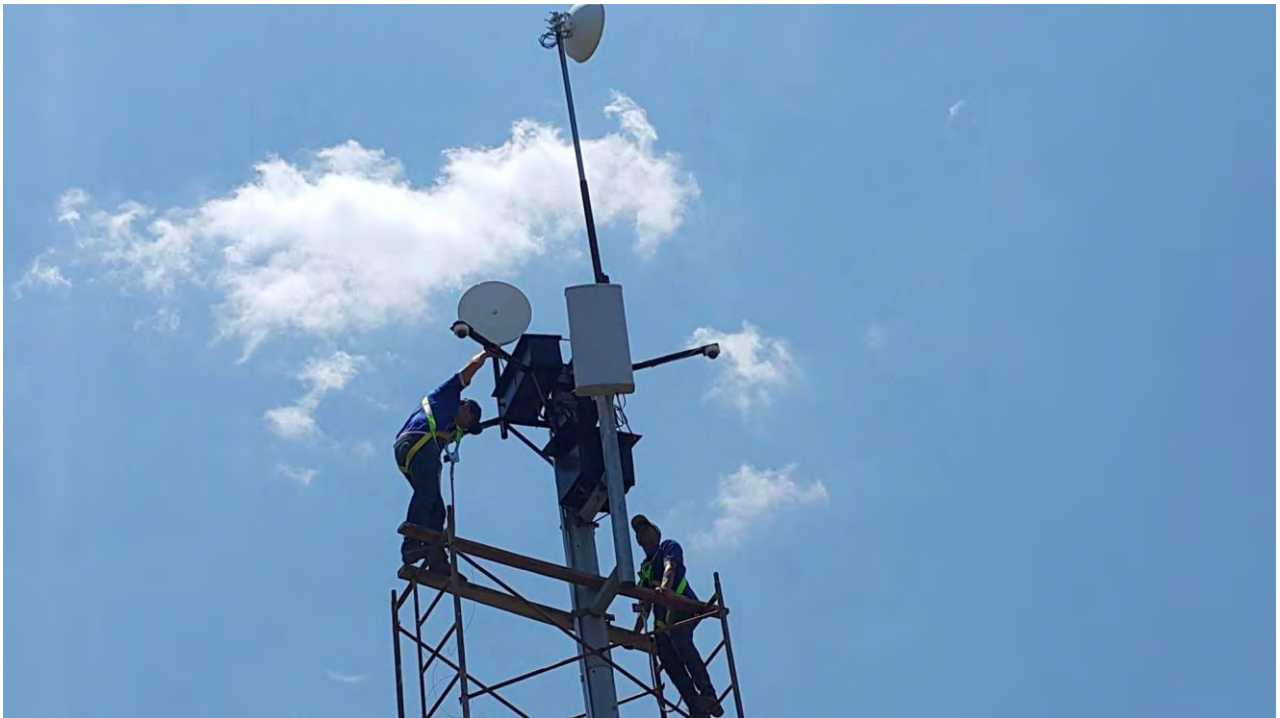


Fig. 1 Instalación de transmisor en UGB San Miguel.

**Antena Base UGB Usulután** Se instaló la antena base, a una altura considera de 15 metros, en el edificio sobre el laboratorio de internet, la conexión a internet proporcionado para tal uso es de 100mb, la cual es distribuida en los centros escolares de la zona.



Fig. 2 Instalación de transmisor en UGB Usulután.

**Centro Escolar Cantón Hato Nuevo.** Se hizo satisfactoriamente el despliegue TVWS. Se instaló cámaras, sensor de movimiento, sensor de humo. Se tuvo que dar seguimiento porque por momentos no tenían acceso a internet; después de varios intentos de reinicio del equipo, se solucionó pero al parecer en el lugar hay alguna descompensación de la señal por motivos desconocidos. El equipo de desarrollo y despliegue se comunicó con la compañía 6Harmonics y explicaron que cuando la antena se instala a más de 10 metros de altura, deberán instalarse filtros que entregan señal más pura y evita las interferencias. Hace falta tomar las recomendaciones del proveedor y hacer un estudio sobre las condiciones en las que están instaladas las antenas. Son especificaciones que no se conocían. Se está pendiente de resolver.



Fig. 3 Instalación de Receptor en Centro Escolar Cantón Hato Nuevo.



Fig. 4 Instalación Equipos de Red en Centro Escolar Cantón Hato Nuevo.



Fig. 5 Instalación Equipo de Red en Centro Escolar Cantón Hato Nuevo.



Fig. 6 Verificación de Equipo de Recepción.

**Centro escolar Confederación Suiza** Se instaló Antena TVWS, antena WIFI, router, cámaras, sensor de movimiento, sensor de humo. De las dos cámaras, una se instaló en el Laboratorio de Cómputo y otra afuera del pasillo. Todo Funciona bien, todo el tiempo está conectada.



Fig. 7 Instalación de Equipos de Red en Centro Escolar Confederación Suiza.



Fig. 8 Equipo de Red Instalado en Centro Escolar Confederación Suiza

**Complejo Educativo Ofelia Herrera,** Se instaló Antena TVWS, antena WIFI, router, cámaras, sensor de movimiento, sensor de humo. No presenta problemas. La cámara que se instaló en el Centro de Cómputo, la Directora del CE manifiesta que la moverá hacia afuera, al frente, casi a la entrada de la escuela. Al principio la antena WIFI no proporcionaba señal, pero se cambió. Esa antena wifi se enviará a cambio por garantía.



Fig. 9 Instalación de Equipos de Red en Complejo Educativo Ofelia Herrera.



Fig. 10 Antena de TVWS instalada en Complejo Educativo Ofelia Herrera.

**Centro Escolar Dolores Sousa.** Se instaló Antena TVWS, antena WIFI, router, cámaras, sensor de movimiento, sensor de humo. Luego de un mes de estar instalada, la antena TVWS falló. Se enviará a cambiar en garantía el CPE después de haber descartado otras posibilidades. Todo está funcionando bien.

**Centro Escolar Cantón El Papalón.** Se instaló Antena TVWS, antena WIFI, router, cámaras, sensor de movimiento, sensor de humo. No hubo dificultades para la instalación. A pesar de que es el CE ubicado a mayor distancia de la antena base en UGB San Miguel, se tiene cobertura con ancho de banda a 7MB. Se ha reportado la falta de WIFI. Remotamente se identifica que hay conexión pero en el lugar no transmite WIFI, por lo que tampoco se puede tener acceso a las cámaras y dispositivos IoT. Está pendiente el seguimiento.



Fig. 11 Instalación de Cable de Conexión en Centro Escolar Cantón El Papalón.



Fig. 12 Instalación de Antena de TVWS en Centro Escolar Cantón El Papalón.

**Centro Escolar Cantón Mejcapa** En este centro educativo se instaló Antena tvws, antena wifi, router, No presenta problemas de conexión, ya que es el más cercano a la antena base.



Fig. 13 Instalación de Antena de TVWS en Centro Escolar Cantón Mejcapa.



Fig. 14 Instalación de Equipos de Red y Equipo de TVWS en Centro Escolar Cantón Mejcapa.

**Centro escolar Cantón el Volcán** Se realizó la instalación de Antena tvws, antena wifi, router, este centro escolar es el que posee más distancia en cuanto a los demás centros, al principio cuando se realizaron las pruebas se tenía una conexión estable de 10mb, en las últimas pruebas de conexión que se realizaron

*se presentaban conexiones un poco bajas. Y caídas de conexión, se realizó prueba con otro equipo y se obtuvo el mismo resultado. Luego de un mes de estar instalada, la antena TVWS falló,*



Fig. 15 Instalación de Antena de TVWS Cantón El Volcán.

**Instituto Nacional Ereaguayquin** Se instaló Antena twws, antena wifi, router. Todo está funcionando bien. Al principio de la instalación se tuvo que mover la antena de varias posiciones para tener una buena recepción de señal.



Fig. 16 Antena de TVWS Instalada en Instituto Nacional Ereaguayquin.

**Centro Escolar Héroes de Chapultepec** Se instaló la Antena twws, se realizaron pruebas en diferentes puntos del centro en las cuales habían conexiones poco estables, queda pendiente realizar una revisión en la antena principal y la instalaciones wifi y router.

## INVENTARIO DE ACTIVIDADES MÁS IMPORTANTES

Tabla 1. Inventario de Actividades más Importantes.

<b>Objetivo 1:</b> Determinar la base datos del espectro disponible para la zona de despliegue, evaluación del alcance/potencia y diseño de la topología.		
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Estimado</b>	<b>Resultado</b>
<b>1.1)</b> Evaluación de alternativas de zonas para el despliegue de la infraestructura	4 semanas	Informe de evaluación de al menos 3 alternativas de sectores donde se puede desplegar la solución
<b>1.2)</b> Medición del espectro de frecuencia	4 semanas	Base de datos de canales de

en la zona seleccionada, para construcción de base de datos manual de bandas white space disponibles		white space, registro de potencias y ubicación de la estación base y los CPE
<b>1.3)</b> Diseño de la topología de despliegue desde el backbone hasta los CPE y organización del espacio de direccionamiento	4 semanas	Documento de diseño.
<b>Objetivo 2:</b> Analizar en laboratorio y campo las características de las alternativas tecnológicas para los equipos de base, CPE. de enlace directo y WIFI de alta densidad.		
<b>2.1)</b> Evaluación de las hojas técnicas de las distintas alternativas tecnológicas para el equipamiento	3 semanas	Informe comparativo de las soluciones
<b>2.2)</b> Evaluación en laboratorio de pares Estación-CPE para determinar su rendimiento en condiciones ideales	4 semanas	Documento de análisis
<b>2.3)</b> Evaluación en campo de pares Estación-CPE para determinar su rendimiento en condiciones reales	4 semanas	Documento de análisis
<b>2.4)</b> Ajustes en la topología de despliegue de la solución TVWS.	2 semanas	Documento de diseño ajustado
<b>Objetivo 3:</b> Diseño del sistema remoto de gestión dinámico de canales libres de TVWS sobre sistemas embebidos.		
<b>3.1)</b> Investigación de mecanismos de bajo costo para la medición de espectro de frecuencias	2 semanas	Documento de evaluación de soluciones comerciales y experimentales
<b>3.2)</b> Diseño e implementación de prototipo para la medición del espectro de frecuencias.	4 semanas	Documento de diseño, prototipo experimental.
<b>3.3)</b> Diseño e implementación de la interfaz de gestión usando IoT over GSM/UMTS.	4 semanas	Interfaz de gestión para la auto configuración de las bases y los CPE
<b>3.4)</b> Pruebas en laboratorio y en campo de la solución.	3 semanas	Informe de pruebas, bitácora de ingeniería.
<b>Objetivo 4:</b> Desplegar en campo la infraestructura de última milla con TVWS y seleccionar el proveedor del Backbone para el acceso a Internet.		
<b>4.1)</b> Evaluación de las alternativas para el backbone de la solución	2 semanas	Documento de análisis
<b>4.2)</b> Instalación y configuración de la estación base/ enlace multicanal.	8 semanas	Bitácora de ingeniería
<b>4.3)</b> Instalación y configuración de los CPE	12 semanas	Bitácora de ingeniería

<b>4.4) Pruebas, depuración y ajustes</b>	4 semanas	Bitácora de ingeniería
<b>Objetivo 5:</b> 5) Desarrollar al menos dos aplicaciones de demostración de tecnologías o servicios que pueden potenciarse usando modelos de conexión M2M, M2P y P2P de Internet de las Cosas.		
<b>5.1) Evaluación de necesidades y/o problemas que puede resolverse con tecnología de IoT</b>	4 semanas	Documento de análisis
<b>5.2) Diseño de solución tecnológica o servicio con tecnología de IoT</b>	8 semanas	Documento de diseño
<b>5.3) Despliegue de solución o servicio sobre la infraestructura de TVWS</b>	4 semanas	Informe final

### IMPACTO EN EL DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS

Se realizaron capacitaciones de IoT y funcionamiento de equipos de medición y de TVWS a personal y a estudiantes.

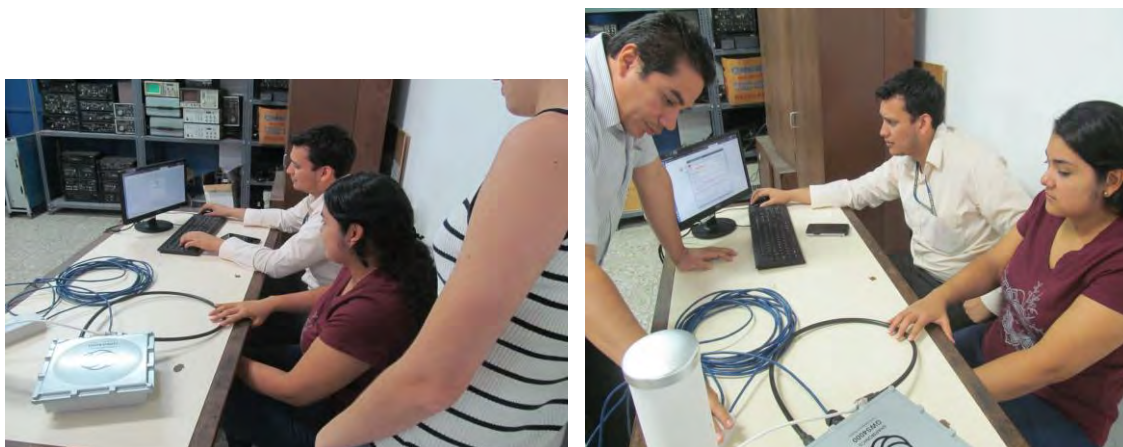


Fig. 17 Capacitación en Utilización de Equipo TVWS a Estudiantes.



Fig. 18 Capacitación de Uso de Analizador Espectral y Equipo de TVWS a Estudiantes.



Fig. 19 Pruebas de Conectividad de Equipo de TVWS.



Fig. 20 Capacitación de Analizador Espectral a Investigadores.



Fig. 21 Verificación de Funcionamiento de Analizador Espectral en Capacitación Recibida por SETISA.

## IMPACTO EN LA INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA

Se ha equipado el laboratorio con un analizador espectral de 4GHz, el cual ayuda al desarrollo de clases como de investigación, así como los conocimientos desarrollados en el proyecto se aplicaran como material de laboratorio en caso del analizador espectral de bajo costo.



Fig. 22 Equipo Adquirido Para Laboratorio.

### LISTA DE CONTACTOS

Edward Alfonso Arévalo Monge	edward.arevalo@udb.edu.sv	UDB
Douglas Alonso Flores Villalobos	douglas.flores@udb.edu.sv	UDB
Carlos Guillermo Bran	cbran@udb.edu.sv	UDB
Luis Antonio Navarro Canales	lnavarro@ugb.edu.sv	UGB

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó la presentación del paper en el congreso de Latincom 2018 realizado en Guadalajara, México y un segundo documento fue aprobado para ser presentado en el congreso I2MTC del 20 de Mayo al 23 de Mayo de 2019, este último no se ha confirmado participación por fondos no asignados para el registro y la participación del investigador en el congreso.



Fig. 23 Participación de Investigador y presentación de documento en LatinCom2018..

## PRODUCTOS GENERADOS CON LA INVERSIÓN DE USAID

Se construyó un sistema analizador espectral de bajo costo que permite medir y ubicar las señales de cada canal de televisión que están libres para brindar el servicio de internet en las zonas de interés.

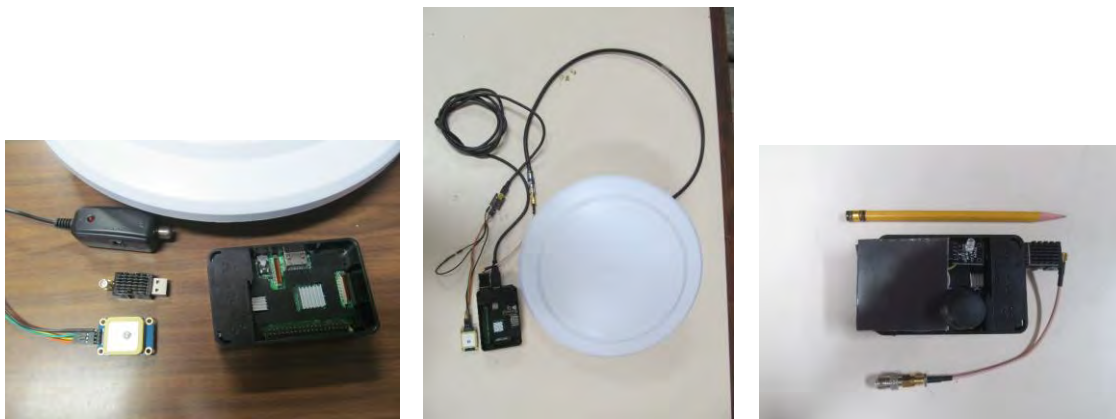


Fig. 24 Analizador Espectral de Bajo Costo Desarrollado.

En fig. 25 y 26 se presentan los sistemas de seguridad con aplicaciones IoT para las escuelas, que consta de dos sensores de movimiento, un detector de humo y de cámara, los cuales generan una alerta al ser activada.



Fig. 25 Desarrollo de Aplicaciones IoT para los Centros Escolares.

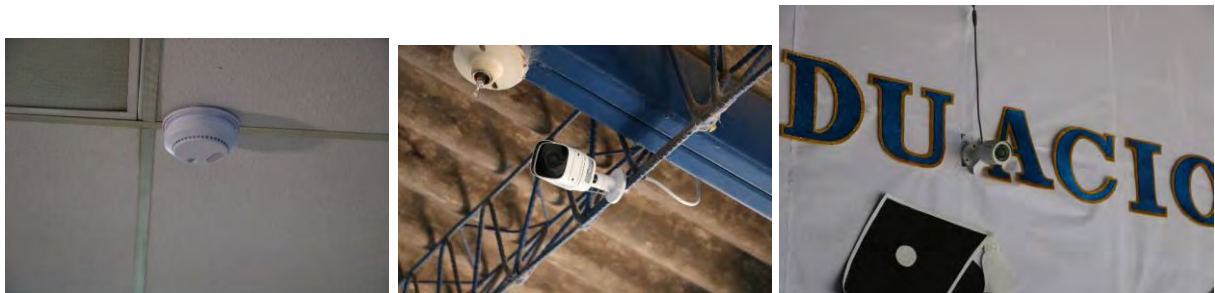


Fig. 26 Sistemas de Seguridad con IoT Instaladas en los Centros Escolares