 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Implementación de prototipo de estación de Radiodifusión FM en el campus Fraternidad

Andrés Felipe Restrepo Tabares

Cédula de ciudadanía 3.563.602

pipebeer02@gmail.com

Tecnología en Telecomunicaciones

Director del trabajo de grado

MSc. Willer Ferney Montes Granada

willermontes@itm.edu.co

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Noviembre de 2016

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Con este trabajo se realizó una revisión exhaustiva de la parte normativa, legal y técnica, requerida para la implementación de un prototipo de estación de radiodifusión FM que permita radiodifundir la programación de los estudios de la emisora virtual institucional, "ITM Radio¹", dentro las instalaciones de la sede ITM Fraternidad.

Se abordó desde una perspectiva del Método Experimental combinando herramientas teóricas y analíticas, sujetos a un modelo secuencial que incluyó actividades de planificación, implementación y pruebas técnicas de puesta en marcha, depuración y evaluación.

Este proceso permitió llevar a la práctica conocimientos adquiridos en asignaturas del programa de Tecnología en Telecomunicaciones, tales como: Legislación en Telecomunicaciones, Medios de Transmisión, Análisis de Señales, Sistemas de Comunicaciones, Antenas y Radiopropagación. Con dicha implementación se tendrá disponible en los laboratorios de Telecomunicaciones un ambiente real de aprendizaje para prácticas académicas y para el desarrollo de actividades dentro el Semillero de investigación formativa OTM - CCSL (Observatorio de Telecomunicaciones de Medellín - Ciencias Computacionales y Software Libre). Se espera que con los lineamientos acá aportados, se retome este trabajo en departamento de Electrónica y Telecomunicaciones con miras a establecer los recursos legales ante el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) para que en el campus Fraternidad, se beneficien con una emisora de radiodifusión sonora institucional.

Como valor agregado, se dotó de la infraestructura tecnológica necesaria para garantizar que dicha estación quede operativa desde el punto de vista técnico.

Palabras clave:

Radiodifusión sonora (RS), Transmisor Frecuencia Modulada (FM), Emisora de interés público.

¹ <http://www.itmradio.edu.co/ITMRadio.html>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

A Dios, a mis padres por su apoyo e interés en mis metas, a mi hija Maria Celeste por ser el motor de mi esfuerzo.

A María Elena Saldarriaga y Benher Osorio por la donación del transmisor y antena FM.

Al profesor Willer Ferney Montes Granada por sus asesorías y acompañamiento en el desarrollo de mi proyecto y demás personas que de alguna manera me brindaron apoyo académico y logístico para el desarrollo del proyecto.

Andrés Felipe Restrepo Tabares

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

GLOSARIO TÉRMINOS TÉCNICOS

Audio: señales de frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 KHz; incluye los sonidos de instrumentos y la voz humana (frecuencias entre 300 Hz y 3,4 KHz).

BB: señal modulante de banda base o información original.

CPC: Constitución Política de Colombia.

EM: Electromagnético.

FM: Frecuencia Modulada o modulación en frecuencia.

ISP: (ISP, sigla en inglés de Internet service provider) – Proveedor de servicios de internet

MinTIC: Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia.

OTM - CCSL: Observatorio de Telecomunicaciones de Medellín - Ciencias Computacionales y Software Libre; semillero de investigación adscrito a la Línea Electrónica y Comunicaciones del Grupo de investigación Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales.

PDOP: siglas en inglés de *Precision Dilution of posición* – Define la precisión de un GPS.

Radiodifusión: Transmisión punto – multipunto, donde a partir de un transmisor se envía información a varios receptores sintonizados a la misma frecuencia; es la traducción de Broadcasting.

RF: Radio Frecuencia o frecuencias de radio.

RS: Radiodifusión Sonora, es decir, sólo de señales de audio.

S/N: Relación Señal a Ruido (*Signal/Noise*).

Snm: sobre el nivel del mar.

UIT-R: Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sección de Radiocomunicaciones.

VHF: *Very High Frequency*; rango de frecuencias del espectro electromagnético de la UIT que comprende la banda de radiodifusión comercial sonora y de televisión.

dBmV/m: Decibel milivoltio por metro; medida de intensidad de campo eléctrico, que corresponde a un nivel de voltaje referenciado respecto a 1mV/m.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	10
3. METODOLOGÍA.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	32
REFERENCIAS	34
APÉNDICE.....	35

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.2 Justificación

Como aspirante al título de Tecnólogo en Telecomunicaciones, se tiene la suficiente fundamentación académica y técnica para poner en operación la radio estación cumpliendo con lo estipulado en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora² (MinTIC, 2014) y realizar el procesamiento de señales necesario para adquirir y acondicionar la programación de la emisora virtual “ITM RADIO³” y radiarla dentro de las instalaciones de la sede Fraternidad como una señal de radiodifusión sonora de interés público, beneficiándose de paso la institución, mejorando sus métodos de interacción con la comunidad académica (proyección social) y las labores del semillero de investigación formativa OTM-CCSL. Así mismo, a partir de una investigación desde el ámbito regulatorio, se aporta un listado de todos los requisitos legales necesarios para su puesta en operación por parte de estamentos del ITM.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad en los programas de Telecomunicaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM, si bien se cuenta con equipos y módulos de entrenamiento para las asignaturas que tienen temáticas de señales y sistemas, no se poseen equipos reales que realicen las operaciones de modulación y de transmisión de información de fuentes reales, en este caso un sistema de FM.

También, aunque el ITM cuenta con una emisora virtual – Radio ITM-, sería llamativo el poder radiarla, no solo a la comunidad académica sino también a las comunas cercanas al campus ITM Fraternidad, proporcionando una forma de proyección social al dotar de información, formación, entretenimiento y promoción a estas zonas socialmente vulnerables en el municipio de Medellín.

² Anexo 1. Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora

³ <http://www.itmradio.edu.co/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se pretende implementar una estación de Radiodifusión FM de corto alcance, con todos los parámetros técnicos que se tendría corporativamente, cumpliendo con los estándares y normatividades del sector de las Telecomunicaciones.

El proyecto se abordará desde una perspectiva del Método Experimental, combinando herramientas teóricas y analíticas, sujetos a un modelo secuencial que incluye actividades de planificación, implementación y pruebas técnicas de puesta en marcha, depuración y evaluación. Las actividades de planificación consisten en realizar la gestión correspondiente a la adquisición del Transmisor comercial (como lo exige MinTIC), los materiales y aditamentos necesarios para llevar a cabo la implementación de los emplazamientos de infraestructura de Telecomunicaciones; estos serán donados en su totalidad a los Laboratorios de Telecomunicaciones del ITM.

Luego, se realizará la puesta en marcha y depuración del sistema radiante bajo pruebas experimentales en el patio de antenas del Laboratorio de Radiocomunicaciones, que permitirán evaluar su correcta operatividad, radio de cobertura y eficiencia; dichas pruebas estarán regidas por un protocolo de mediciones de intensidad de Campo Electromagnético (EM) para diferentes radiales y líneas equipotenciales que garanticen calidad de la información (señales de audio correspondientes a la programación de la emisora virtual Radio ITM). Se aclara que las pruebas deben hacerse con bajas potencias, teniendo en cuenta que no se tiene el permiso para el uso del espectro EM.

La solución del problema descrito, permitirá desde el punto de vista académico tener disponible una infraestructura real para este tipo de Sistemas de Comunicación, a manera de ambiente real de aprendizaje, para respaldar temáticas de algunas asignaturas como Análisis de Señales, Sistemas de Comunicaciones, Medios de Transmisión, Antenas y Radiopropagación, entre otras.

Desde el punto de vista institucional, permitirá contar con una plataforma para difundir información corporativa, educativa, informativa y cultural, programada desde los estudios de “Radio ITM- virtual”; esto permitiría no solo incrementar la labor social del ITM en cuanto al impacto en la población, sino también incrementar las estrategias de *marketing* y de reconocimiento institucional en el medio.

Debe tenerse en cuenta que estas comunas socialmente vulnerables, pertenecen a la clasificación dada por MinTIC como NBI (poblaciones con Necesidades Básicas insatisfechas), en este caso en el tema de comunicaciones y que en la mayor parte de sus pobladores no se cuenta con medios informáticos para acceder a la emisora virtual.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Implementar un prototipo de estación de radiodifusión sonora en FM, que cumpliendo con los estándares técnicos definidos por MinTIC, permita radiar dentro del campus Fraternidad la programación de la emisora virtual “ITM Radio”.

1.3.2 Específicos

- Realizar una revisión exhaustiva de la Regulación de Telecomunicaciones de Colombia, concerniente a los requerimientos para el establecimiento de una estación de radiodifusión sonora en FM, para radiar la programación de ITM radio (virtual).
- Integrar los equipos y aditamentos necesarios para la implementación de la estación: antena transmisora, línea de transmisión, conectores y circuitos de acople, entre otros.
- Establecer un protocolo de mediciones y ejecutarlo sobre el sistema operativo, para evaluar condiciones de funcionamiento: potencia de transmisión, ancho de banda y radio de cobertura; a fin de garantizar el cumplimiento de las normatividades vigentes establecidas por la legislación colombiana dentro del Plan Técnico de Radiodifusión sonora en FM.

1.4 Organización del Trabajo de Grado

Este trabajo fue organizado en 5 capítulos, resumidos de la siguiente manera.

El Capítulo 2 contiene el marco teórico dividido estratégicamente en dos secciones:

- Componente de Regulación en Telecomunicaciones, donde se revisan todos los elementos regulatorios y jurídicos, que deben tenerse en cuenta para realizar el derrotero de las condiciones necesarias para tener los permisos de puesta en funcionamiento de la eventual emisora comunitaria Radio ITM. Se deja claro que solo se entrega como producto una lista de chequeo y que es de expresa voluntad del ITM el realizar dichos trámites.
- Componente técnica del Sistema completo de Radiodifusión Sonora, donde se exploran los diferentes conceptos sobre sistemas transmisores en Frecuencia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Modulada (FM) y circuitos constitutivos, que incluyen acoples, líneas de transmisión y antenas radiantes.

El Capítulo 3 presenta la metodología para implementar el sistema completo, fundamentado en los conceptos planteados en el Capítulo 2, además de explicar todas las etapas y componentes del mismo.

El capítulo 4 presenta la documentación de resultados obtenidos al momento de implementar el radio transmisor, permitiendo establecer la pertinencia y eficiencia del esquema planteado, sustentado en las mediciones prácticas; esta actividad comprende la etapa de captura del audio desde internet (programación), implementación y puesta en marcha del sistema transmisor completo, pruebas y la documentación de mediciones de campo EM, sobre un protocolo previamente establecido.

El Capítulo 5 presenta las conclusiones que dan aval a la implementación del sistema de Radiodifusión y que permiten verificar el cumplimiento a los objetivos propuestos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Componente de Regulación en Telecomunicaciones

Como parte del alcance de este trabajo, se realizó una exploración de la parte normativa y legal, concerniente a los requerimientos de regulación en telecomunicaciones establecidos por MinTIC, necesarios para desde la parte administrativa del ITM se pueda hacer la petición de los permisos para el establecimiento de una estación de radiodifusión sonora comunitaria o de interés público.

Como lo expresa la Corte Interamericana de Derechos Humanos, la importancia de la libertad de fundar medios masivos de comunicación exige que los medios de comunicación social deban estar virtualmente abiertos a todos sin discriminación, más exactamente, que no deben existir individuos o grupos que, a priori, estén excluidos del acceso a tales medios (OPINIÓN CONSULTIVA OC-5/85LA, 1985). Por esta razón, la Corte Constitucional de Colombia en su sentencia T-406/06, expresa la necesidad de crear estos medios de comunicación y además indica que “la radiodifusión sonora comunitaria, como medio masivo de comunicación, cumple un rol fundamental en el fortalecimiento de la democracia y la participación en las pequeñas comunidades rurales o urbanas destinatarias, ya que (i) contribuye a formar redes de solidaridad entre vecinos, (ii) permite la toma de decisiones informadas acerca de los asuntos locales, (iii) promueve el desarrollo social, la convivencia pacífica, la construcción de ciudadanía y de identidades culturales y sociales, y (iv) contribuye a mejorar la provisión de otros servicios y a mejorar la calidad de vida de la población” (Corte Constitucional, 2006). Por ello, dicho proyecto, pretende contribuir con el fortalecimiento de los canales de comunicación dentro de las instalaciones de la sede Fraternidad, promoviendo el derecho a la información, la creación y optimización de los recursos con los que cuenta la misma Institución, la divulgación de eventos, actividades, programas y demás noticias de interés para la comunidad educativa permitiendo así una mayor participación.

En virtud del Artículo 75 de la Constitución Política de Colombia, el cual señala que “el espectro electromagnético es un bien público inajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Se garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley. Para garantizar el pluralismo informativo y la competencia, el Estado intervendrá por mandato de la ley para evitar las prácticas monopolísticas en el uso del espectro electromagnético” (CPC, 1991). Por lo tanto, y haciendo uso de este

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

derecho, el proyecto pretende generar facilidad en el acceso y utilización del espectro electromagnético en aras de mejorar las condiciones de información a través de la implementación de una emisora educativa y cultural. Es de resaltar que, de cumplir con las condiciones técnicas y legales, el MinTIC faculta la utilización del espectro electromagnético de nuestro país para la operación de este tipo de emisoras, reglamenta el funcionamiento de las mismas y el otorgamiento de las licencias dependiendo de las funciones, fines, cubrimiento y servicio que la misma aspire a tener.

La Ley 1341 del 30 de julio de 2009 (Congreso de Colombia, 2009) también comprende el uso del espectro electromagnético en nuestro país; en su artículo 57, contempla la prestación del servicio de radiodifusión sonora en Colombia y afirma que “Los concesionarios de los servicios de radiodifusión sonora, serán personas naturales o jurídicas, cuya selección objetiva, duración y prórrogas se realizarán de acuerdo con lo estipulado en la Ley de contratación pública. La concesión para el servicio de radiodifusión sonora incluye el permiso para uso del espectro radioeléctrico. El Gobierno Nacional garantizará la prestación del servicio de radiodifusión sonora en condiciones similares a las iniciales cuando el desarrollo tecnológico exija cambiar de bandas de frecuencia”. De acuerdo con esto, el servicio de radiodifusión solo podrá ser otorgado a personas naturales o jurídicas debidamente constituidas en Colombia. Además, en caso de emergencia, conmoción interna o externa o calamidad pública, estas emisoras deberán de colaborar con las instituciones estatales y transmitir de forma gratuita y por el tiempo que sea necesario, la información que sea requerida dando prelación a la protección de la calidad de vida”.

Según el párrafo 01 de la ley 1341 del 30 de julio de 2009, considerada la ley de la modernización de las Telecomunicaciones en Colombia, donde se refiere a que en concordancia con el artículo 75 de la Constitución Política de 1991, se le permitirá el servicio de radiodifusión al operador que no interfiera en la prestación del servicio de otro y no obstaculice su misma banda de comunicación, es decir, en su misma frecuencia y en un mismo espacio geográfico municipal. En el párrafo 02 de la misma Ley se dice que “el servicio de radiodifusión comunitaria será de carácter de telecomunicaciones y este será otorgado mediante licencia y selección objetiva, previo cumplimiento de la Ley”.

El artículo 58 de dicha ley alude a la necesidad de contar con una licencia especial otorgada por el Min TIC para la emisión de programas con fines informativos o periodísticos; también se prohíbe la pauta publicitaria con fines lucrativos en emisoras de carácter público o de gestión directa, salvo los términos definidos en esta Ley para los patrocinios, donde se “entienden por patrocinio el reconocimiento, sin lema o agregado alguno, a la contribución en dinero u otros recursos en favor de las emisoras de interés público que se efectúen para

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la transmisión de un programa específico, el cual no podrá ser superior a cinco (5) minutos por hora de programación del programa beneficiado. La institución pública que solicite la licencia para una emisora de interés público debe garantizar su sostenibilidad técnica, de contenido, administrativa y financiera” (Congreso de Colombia, 2009).

Este proyecto busca, además, que la emisora posea una intención de auto sostenibilidad con la cual pueda mantenerse en el tiempo y en continuo proceso de mejoramiento técnico y operativo; esto se puede lograr, ya que al ser parte de la infraestructura in situ de los laboratorios del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, pueda ser atendida con recursos del Centro de laboratorios y de los destinados para fortalecer estrategias de marketing y publicidad por intermedio de la Oficina de Comunicaciones y publicaciones ITM.

Según el Decreto 4350 del 09 de noviembre de 2009 (MinTIC, 2009a), en su Título V sobre inspección, vigilancia y control de los servicios de radiodifusión sonora, en su Artículo 17 se afirma que “de conformidad con el artículo 60 de la Ley 1341 de 2009, el MinTIC tiene a su cargo la inspección, vigilancia y control de los servicios de radiodifusión sonora y el régimen de infracciones y sanciones aplicable, será el establecido en el Título IX de la Ley 1341 de 2009”. Para dicho fin, se hace imperante un estudio analítico de cada uno de los requerimientos técnicos, legales, operativos y pedagógicos para dar cumplimiento a lo establecido en los objetivos de la propuesta, con el cuidado suficiente de que la emisora tenga una proyección significativa dentro de la Sede Fraternidad.

El Decreto 4995 del 24 de diciembre de 2009, el cual modifica el artículo 06 del decreto 4350 del 09 de noviembre del mismo año, se refiere a la “Contraprestación por la Concesión de los servicios de Radiodifusión Sonora”, donde se dice que habrá lugar al pago de una contraprestación no reembolsable a favor del Fondo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, equivalentes a tres salarios mínimos legales vigentes, los cuales deberán de ser pagados treinta (30) días después del otorgamiento de las licencias de operación de la emisora (MinTIC, 2009b).

Amparado en la Resolución 415 de 2010 (MinTIC, 2010), en su Título IV, el cual habla del servicio de radiodifusión sonora de interés público; en su capítulo I contiene las consideraciones particulares, detallando en su artículo 59 la “clasificación de las emisoras del servicio de radiodifusión sonora de interés público”, donde este relata que en Colombia para la creación de emisoras de interés público se deben de clasificar de la siguiente manera:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. Emisoras de la Radio Pública Nacional de Colombia.
2. Emisoras de la Fuerza Pública.
3. Emisoras Territoriales.
4. Emisoras Educativas.
- 5. Emisoras Educativas Universitarias.**
6. Emisoras para atención y prevención de desastres.

De conformidad con esta resolución, el presente proyecto se acoge al literal cinco (5) de la clasificación, respondiendo a la creación de la Emisora Educativa y Cultural de la Institución Universitaria ITM, contribuyendo desde la academia al cumplimiento de los fines esenciales del Estado colombiano, en cuanto a la educación, difusión de contenido de interés público para las diferentes comunidades y culturas que se puedan estar albergando y formando en el claustro educativo.

En la Resolución 415 de 2010 (MinTIC, 2010) se explicitan las obligaciones y en su título IV se manifiesta que “las emisoras educativas universitarias tienen a su cargo la transmisión de programas de interés cultural, sin ninguna finalidad de lucro, con el objeto, entre otros, de difundir la cultura, la ciencia y la educación, de estimular el flujo de investigaciones y de información científica y tecnológica aplicada al desarrollo, de apoyar el proyecto educativo nacional y, servir de canal para la generación de una sociedad mejor informada y educada. Este servicio se prestará a través de instituciones de educación superior, legalmente reconocidas y acreditadas institucionalmente por el Ministerio de Educación Nacional”. Así las cosas, podría considerarse que la creación e implementación de una emisora en la Institución Educativa entraña una intencionalidad de apoyo a los diferentes programas que se ofrecen a los estudiantes, vinculando de esta manera a los estamentos a través de estrategias de información y de divulgación.

2.2 Componente Técnica

2.2.1 Sistema Transmisor en FM (Frecuencia Modulada)

Los elementos que conectados en cascada hacen posible una transmisión en FM son ilustrados en la figura 1. Dicho transmisor FM tiene por objeto convertir la señal de entrada

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de audio (señales de 20 Hz a 20KHz) en una señal de salida de Radio frecuencia (RF) modulada en una frecuencia específica, estipulada en el Plan Técnico de Radiodifusión sonora en FM entre 88 MHz y 108 MHz, con ancho de banda de 200 KHz por canal (MinTIC, 2014).

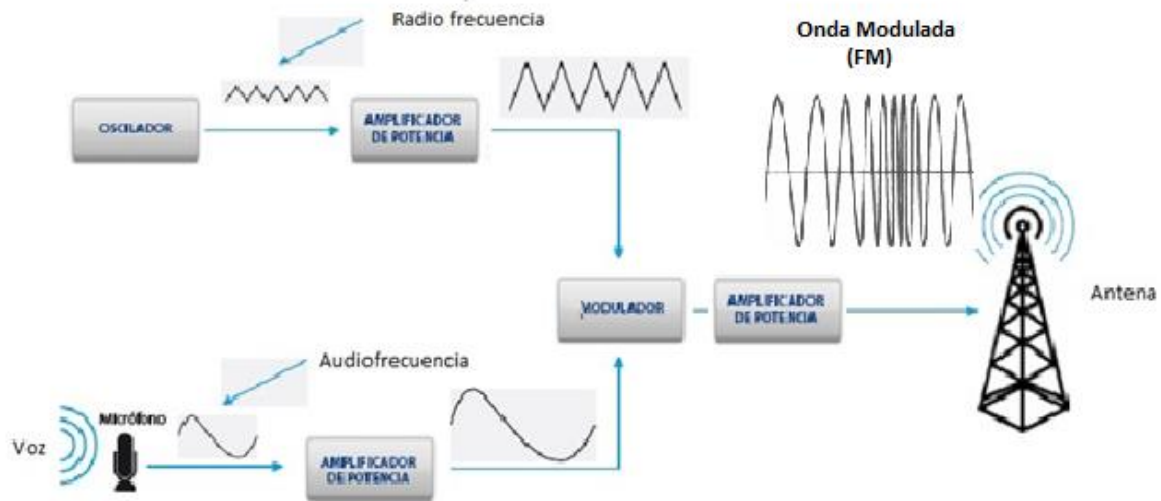


Figura 1. Diagrama de bloques de una radio estación. Fuente: modificado de (Seybold, 2005).

A continuación, se hablará brevemente de cada subprocesso del transmisor, sustentado en las referencias (Tomasi, 2004) y (Seybold, 2005):

1. La etapa de audio, consiste en una consola que multiplexa las señales de los micrófonos y de las fuentes sonoras de la música, para consolidar la programación que será producida en dicha emisora. Esta señal de información, después de acondicionada y amplificada, será la banda base (BB) a ser modulada.
2. La etapa de RF, consiste en el oscilador de alta frecuencia que producirá la señal portadora, sobre la cual se transportará la información.
3. El Modulador FM, realiza cambios a la frecuencia de la señal portadora (RF), de acuerdo a los cambios de amplitud de la señal modulante de banda base (BB), como puede ilustrarse en la figura 2. Acá, la señal portadora está en verde, la modulante en rojo, y la respectiva señal modulada en azul. Los cambios de frecuencia o desviación, debe ser de ± 75 KHz a partir de la frecuencia central de la señal portadora, según estándares internacionales acogidos por MinTIC en el Plan Técnico de Radiodifusión Sonora FM (MinTIC, 2014).

4. La señal modulada en FM se amplifica en potencia y acopla con la línea de transmisión que la transportará con las mínimas pérdidas hasta la antena radiante.

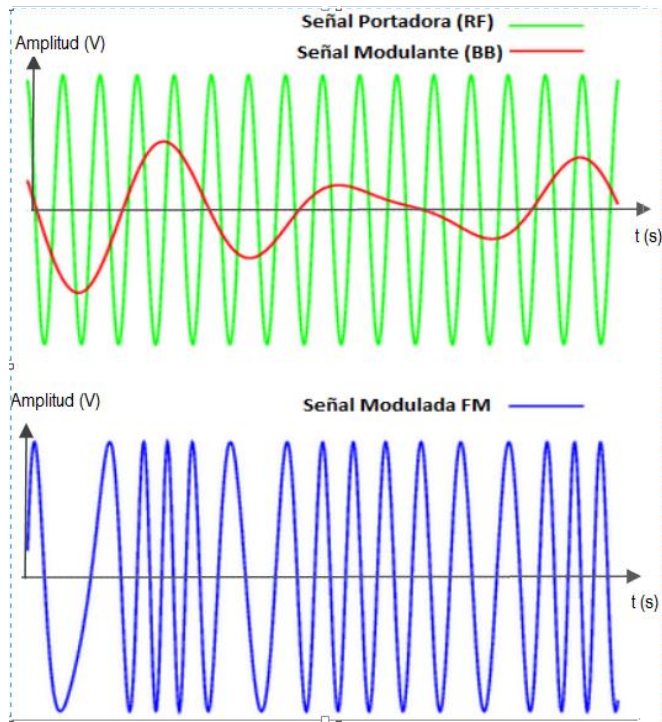


Figura 2. Señales del Proceso de modulación FM. Fuente: modificado de (Kinley, 1992).

El Modulador es el corazón del sistema, pues es donde se modula la señal de RF para obtener la señal modulada. El proceso más utilizado para esto se denomina método directo, típico de los transmisores comerciales actualmente en uso, en el cuál se varía directamente la frecuencia del oscilador de RF mediante la señal moduladora de audio. Por lo general este proceso se realiza aplicando la señal de audio sobre un diodo varactor que forma parte del circuito que determina la frecuencia del oscilador. En la figura 3, se muestra un circuito simplificado de un modulador FM directo.

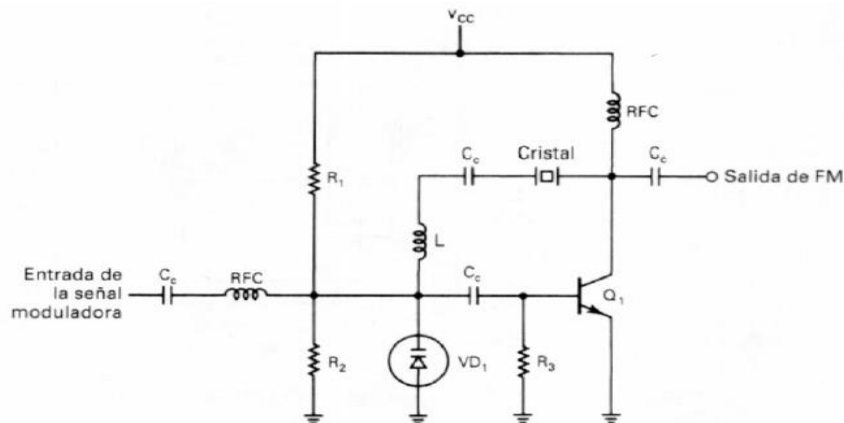


Figura 3. Circuito Modulador FM Directo. Fuente: (Tomasi, 2004).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La señal de audio de entrada se aplica a una red de preénfasis, que acentúa o favorece las audiofrecuencias más altas. El preénfasis tiene por objeto compensar la peor Relación Señal a Ruido (Signal/Noise - S/N) de las frecuencias moduladoras más altas. La señal a la que se ha aplicado el preénfasis se amplifica y después pasa a través de un limitador de crestas o recortador, que limita o recorta las crestas de la señal de audio. Este proceso de recorte provoca una distorsión armónica de audio, filtrada por el filtro de interferencias de canal adyacente. La señal de audio se aplica entonces al diodo varactor de oscilador a un nivel determinado por el ajuste del mando de desviación de cresta; este mando limita el valor de la modulación de frecuencia producida por la señal de audio. El oscilador trabaja a una frecuencia mucho más baja que la frecuencia de salida del transmisor. Generalmente, debe existir un multiplicador de frecuencia para alcanzar la frecuencia de funcionamiento del transmisor, donde la desviación en frecuencia también se multiplica. La salida del multiplicador se aplica después a un amplificador excitador de RF y a continuación, el amplificador de potencia final. Como la señal está modulada en frecuencia en lugar de modulada en amplitud, la utilización de amplificadores de potencia RF conmutados (clase C o D) producen una mejor eficiencia en la modulación (Kinley, 1992).

Según lo estipulado por MinTIC en el Plan Técnico de Radiodifusión Sonora (MinTIC, 2014), a la hora de realizar la solicitud para obtener el permiso de uso del espectro radioeléctrico para una emisora en FM, se debe tener cotizado al menos un equipo comercial, que integre todas las funciones del diagrama ilustrado en la figura 1. Esto garantiza fiabilidad en la operación, sobre todo en lo que concierne al consumo de ancho de bando en dicho espectro. En la figura 4, se ilustra el Transmisor comercial FM marca DB (empresa italiana), de potencia de salida de RF variable hasta un máximo de 20 W; este es el que se donará al ITM como transmisor de la emisora a implementar, que según el Plan Técnico de Radiodifusión Sonora vigente para Colombia, conformaría una estación clase D (MinTIC, 2014).



Figura 4. Transmisor comercial FM para el montaje, clase D. Fuente: autor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Después de tener la señal modulada de la potencia requerida, debe transportarse hasta la antena transmisora por intermedio de una línea de transmisión, que está compuesta de dos conductores separados por un dieléctrico; en este tipo de aplicaciones de RF debe usarse cables coaxiales, que hacen parte de las líneas de transmisión desbalanceadas (Neri Vela, 1999). Para aplicaciones de Radiodifusión sonora en FM, según el plan técnico nacional (MinTIC, 2014) debe emplearse cables de impedancia característica de 50Ω como es el caso del RG-6, cuyo conector típico en transmisores comerciales es el tipo N (la figura 5).



Figura 5. Cable RG-6 con conector tipo N. Fuente: autor.

Como elemento final del sistema o carga terminal, se tendrá la antena radiante. Las antenas son elementos que se encargan de radiar la señal modulada hasta los receptores de FM que se encuentran en un área de cobertura. Para que esto se cumpla, deben cumplirse unas condiciones: a) La antena debe estar sintonizada a la frecuencia que se transmite y b) debe estar acoplada, instalada y orientada correctamente.

Según la distribución del Espectro Radioeléctrico de la UIT-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sección de Radiocomunicaciones), FM comercial está dentro de la banda VHF (very high frequency), por lo que deben emplearse antenas adecuadas para estas frecuencias. Este tipo de antenas se basan en estructuras tipo dipolo convencional, pero pueden ser de mayor ganancia, como las yagi, logarítmicas, helicoidales, corner reflector, etc. Una antena dipolo se constituye de dos dipolos de $\lambda/4$, siendo λ la longitud de onda de la señal a propagar, por lo que el conjunto debe tener una longitud de onda total de $\lambda/2$ (Tomasi, 2004) como se ilustra en la figura 6, donde en línea punteada se ilustra su patrón de radiación.

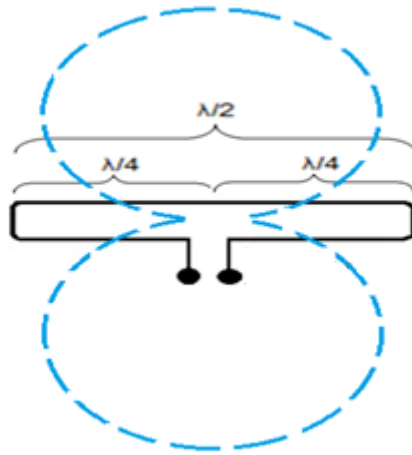


Figura 5. Antena dipolo doblado y patrón de radiación. Fuente: adaptado de (Tomasi, 2004).

En VHF, las ondas de radio viajan en línea recta hasta que un obstáculo se interpone, es decir, si hay línea de vista entre la antena transmisora y la receptora y la distancia entre estas no es tan grande para atenuar la señal, esta señal puede ser recibida. A partir de esto, se puede decidir la altura de la antena, que permite que haya mayor distancia hasta el horizonte debido a la curvatura de la tierra (Seybold, 2005). Es importante tener en cuenta que la línea de transmisión y la antena tengan la misma impedancia, de lo contrario habría reflexiones de señal y podría dañarse el Transmisor. Además, las antenas dipolo son sistemas balanceados y deben acoplarse adecuadamente a la línea de transmisión a utilizar que será de tipo coaxial (o desbalanceada). por lo tanto, tiene que haber un balun u otro circuito que permita servir de red de acople, tanto para impedancias como para la conversión de sistema balanceado a desbalanceado (Neri Vela, 1999). En la figura 6 se ilustra una forma típica de Balun 4:1 con transformador $\lambda/4$ para acoplar la línea de transmisión coaxial con la antena dipolo.

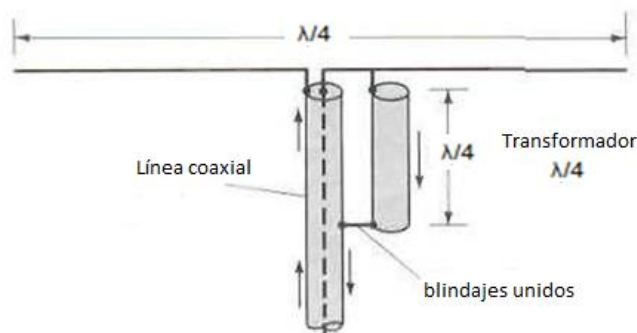


Figura 6. Acople con transformador de $\lambda/4$. Fuente: adaptado de (Seybold, 2005)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De acuerdo a la reglamentación y a los parámetros técnicos estipulados en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada (F.M.) (MinTIC, 2014), para la creación de este tipo de estaciones sonoras se afirma que la potencia de radiodifusión que se propone es la que se encuentra denominada en la reglamentación nacional como una emisora de clase D, la cual es aquella destinada a cubrir con parámetros restringidos, áreas urbanas y/o rurales o específicas dentro de un municipio o distrito y que está obligada por lo tanto a implementar los mecanismos que determine MinTIC, para garantizar la operación segura de la misma.

La potencia radiada aparente (P.R.A) para esta clase de emisoras, es el producto de la potencia suministrada a la entrada de la antena por su ganancia con relación a un dipolo de media onda en una dirección dada. Este producto debe ser expresado en KW y en dB con relación a 1KW (dBK). La antena de referencia, cuando se alimenta de una potencia de 1 KW, se considera que radia una P.R.A de 1 KW en cualquier dirección en el plano ecuatorial y produce una intensidad de campo de 222 mV/m a 1 Km de distancia.

Las clases de emisión y ancho de banda para esta clase de emisoras son de señales estereofónicas, es decir, 256KF8E con una anchura de audio de frecuencia la cual será desde 50Hz hasta 15kHz. La separación de canales para la radiodifusión sonora en la frecuencia modulada es de 100kHz, ancho de banda de 200KHz, con una potencia de operación para emisoras de clase D de máximo 250 W de P.R.A, en la dirección de máxima ganancia de la antena (MinTIC, 2014).

Todas las emisoras, en especial en una ciudad capital como lo es Medellín, necesitan de cierta altura sobre el nivel del mar (snm) para poder garantizar su operación y no interferir así con las operaciones de la Aeronáutica Civil; es por esto que para la operación de emisoras clase D, la altura máxima snm y su operación en ciudades capitales, le corresponde al MinTIC determinarlas dentro del área de servicio autorizada, donde por reuso de frecuencias puedan operar más de una estación de esta misma clase, la cual debe ser tenida en cuenta para establecer la altura del centro de radiación de la antena. Se mencionan a continuación las alturas establecidas para la ciudad de Medellín:

Tabla 1. Alturas de las antenas, según clase de transmisor. Fuente: (MinTIC, 2014)

Tipo	Ciudad	Altura Sobre el Nivel del Mar (snm)
1	Medellín	1658m
2	Medellín	1554m
3	Medellín	1611m
4	Medellín	1617m

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la planificación de redes de transmisores se requiere que la cobertura de una estación de radiodifusión sonora en ondas métricas dependa de la potencia efectiva radiada, de la ubicación de la antena y de sus características eléctricas y físicas, de la topografía de la zona a cubrir, de la intensidad mínima de campo utilizable, del nivel máximo de la señal interferente, de la distancia entre transmisores que operen en el mismo canal o en canales adyacentes, del sistema de distribución de canales y de la operación entre los mismos, y otros factores que influyen en la propagación de las ondas.

En cuanto a la identificación de canales, la banda de radiodifusión sonora en frecuencia modulada de ochenta y ocho (88) a ciento ocho (108) MHz, se ha dividido en ciento noventa y nueve (199) canales, numerados de manera consecutiva del uno (1) al ciento noventa y nueve (199), con separación de 200 KHz cada uno. Para Bogotá DC, Área Metropolitana de Medellín y el Departamento del Magdalena, se asignan los canales ilustrados en la tabla 2.

Tabla 2. Asignación de canales para estaciones clase D, en Medellín. Fuente: (MinTIC, 2014)

4	9
14	19
24	29
34	39
44	49
54	59
64	69
74	79
84	89
94	99
104	109
114	119
124	129
134	139
144	149
154	159
164	169
174	179
184	189
194	199

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como la señal de producción (banda base), se toma de la programación de Radio ITM Virtual, no es necesario pedir autorización a MinTIC para un radioenlace entre los estudios y el sistema Tx.

El área de servicio para estaciones de radiodifusión sonora clase D para las ciudades capitales y en especial Medellín, sería el área de servicio N° 4, que corresponde al límite norte el cual cruza por el Batallón Girardot, por los barrios la Mansión, Prado, Jesús Nazareno y el Chagualo. El límite occidental que cruza por la avenida del Río y por la autopista sur, los barrios El Chagualo, San Benito, Corazón de Jesús, La Alpujarra, Perpetuo Socorro, Colombia y Simesa. El límite sur cruza por lo barrios Simesa, Villa Carlota, Asomadera N° 2, Asomadera N° 3, Cataluña, Bomboná N° 2, Barrios de Jesús y Juan Pablo II. El límite oriental cruza por lo barrios Santa Lucía, La Sierra, Villa Turbay, San Antonio, Trece de Noviembre, Los Mangos, La Ladera y por el Batallón Girardot (MinTIC, 2009c).

Todo lo descrito anteriormente, representa lo requerido para la formación e instalación de una estación radiodifusora de clase D en la Ciudad de Medellín y es de esta forma que el proyecto se dirigirá a la creación de la Emisora Educativa y Cultural de la Institución Universitaria, ITM, cuyo direccionamiento se halla en todos los parámetros y consideraciones que otorgan las diferentes Leyes y Decretos emitidos por el MinTIC y a su vez respetando y velando por el cumplimiento de los Artículos de la Constitución Política de Colombia de 1991, cuando se refiere a la creación de este tipo de medios de comunicación en nuestro país (MinTIC, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

En esta sección, se condensa la información relacionada con el cómo fue realizado este trabajo de grado.

Para cumplir con los objetivos propuestos se emplearon los siguientes recursos metodológicos:

- ✓ Se estudió la Regulación en Telecomunicaciones vigente para Colombia a fin de generar el listado de requerimientos y trámites ante MinTIC, para la eventual puesta en marcha de la emisora.
- ✓ Se realizó un listado de las especificaciones técnicas establecidas en el Plan Técnico de Radiodifusión sonora en FM, contextualizado a las condiciones de la estación de Radiodifusión de interés público prevista para Radio ITM.
- ✓ Se evaluó el transmisor comercial a implementar, la implementación de la antena transmisora y los aditamentos necesarios para dejar la estación operativa. Se obtuvo de internet la señal de audio Radio ITM virtual como programación a radiar, la cual debe ser acondicionada y acoplada con el sistema transmisor.
- ✓ Se documentó todo el proceso de puesta en marcha y mediciones de campo para garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas propuestas, ejecutando pruebas experimentales basadas en un protocolo de medición propio, establecido por el autor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se iniciará este apartado, describiendo la implementación tecnológica referente al emplazamiento de telecomunicaciones necesario para cubrir el alcance del proyecto.

Como puede verse en el marco teórico, para una estación de radiodifusión, lo primero que debe tenerse es la fuente de información de banda base, es decir, la programación a radiar mediante el transmisor. Lo típico en estaciones de radiodifusión de cualquier naturaleza - comercial, comunitaria o de interés público- es contar con un estudio de grabación situado en las zonas urbanas o céntricas, que normalmente son de gran costo de implementación y que requieren de radioenlaces para transportar la información hasta los transmisores de potencia situados en cerros y sitios de gran altura con respecto al nivel del mar. En este caso, se obviaron ambos problemas tomando el audio correspondiente a la programación de la emisora virtual Radio ITM, emisión de gran interés para la comunidad académica en general, y aprovechando la privilegiada altura con que cuenta la sede ITM Fraternidad donde se realizó la implementación en el patio de antenas de telecomunicaciones del bloque N, 6º piso.

La información de banda base concerniente a la programación de Radio ITM virtual, se obtuvo por intermedio de una conexión de internet y un computador genérico del ISP (proveedor de servicio de internet) administrado por el Semillero de investigación formativa OTM-CSSL, adscrito al Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, del cual hace parte el programa de Tecnología de Telecomunicaciones.

Una vez contando con estos recursos, se optó por elegir una tarjeta electrónica PCI integrable al computador, que permitiera extraer y convertir a una señal analógica el audio de banda base, con la calidad necesaria para acoplarlo a la entrada BNC del transmisor de potencia de RF. Esta tarjeta a la vez permite utilizar fuentes de información externas diferentes a las del computador, como micrófonos y consolas; facilitando la adquisición y posterior procesamiento de múltiples señales de audio captadas por sus entradas de sintonizador FM, e incluso de audio de canales de televisión. En la figura 7, se ilustra la tarjeta PCI, sus puertos y principales componentes.



Figura 7. Tarjeta PCI para captura del audio de la emisora Radio ITM virtual.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El paso siguiente, fue diseñar la antena radiante para el transmisor y su respectivo acople con la línea de transmisión de RF. Según la recomendación E-CFR⁴ 73.316 para radiodifusión (E-CFR, 1979), avalada por la ITU, organismo vinculante para Colombia, se dan las recomendaciones que debe tener una antena para servicios de radiodifusión sonora; según esta, para favorecer el rechazo de señales que provoquen interferencias, los servicios de radiodifusión de televisión deben transmitir con polarización horizontal y los de FM con polarización vertical, en configuración “punto a multipunto”. De la información consultada en el marco teórico (Seybold, 2005) y ampliando con el Handbook de Radio Comunicaciones (ARRL, 2005), existe una gran variedad de modelos y formatos que pueden instalarse en polarización vertical, tales como antenas “J”, dipolos abiertos, cerrados (plegados) con adaptadores Gamma, Delta, en “T”, Omega, con irradiante aislado, o puesto a tierra y muchas otras variantes de implementación. De la consulta a expertos en el medio, se decidió construir una antena tipo dipolo abierto, con irradiante a tierra y adaptador Gamma, que se resume en un *stub* en corto circuito con sus medidas ajustadas a 88.4 MHz. Con este tipo de arreglo, puede ajustarse para otras frecuencias dentro de la banda comercial de FM, realizando pequeñas reformas en las medidas y los ajustes.

A continuación, se documenta el paso a paso de la forma de construir la antena y a partir de aquí, para ajustarla según los requerimientos del proyecto:

Según Tomasi (Tomasi, 2004), la longitud de onda de la señal a radiar será: $\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{88.4 \times 10^6 \text{ Hz}} = 3.4 \text{ m}$

En este caso, se cortará el dipolo o elemento radiante, para una longitud física de $\frac{\lambda}{2} = 1.7 \text{ m}$ para que sea instalado en forma tradicional, con polarización vertical, para satisfacer las necesidades de cualquier emisora (ARRL, 2005). Como se investigó, el dipolo actuará como una antena omnidireccional, irradiando su señal en los 360° alrededor de su emplazamiento (Balanis, 1997).

Siguiendo lineamientos de la ARRL (ARRL, 2005), La realización física de la antena está basada en tubos huecos de aluminio de 18 mm de diámetro, un conector SO-239, un trozo de conductor central de cable coaxial RG-213 y por supuesto, las herramientas necesarias para realizar el trabajo. Como se dijo antes, el acople seleccionado es el Gamma match, en donde a longitud del conductor central que recorre el tubo Gamma permitirá ajustar la frecuencia exacta de resonancia de la antena. La barra cortocircuitante que une al irradiante y al tubo Gamma en un punto determinado, proporciona un comportamiento inductivo que logrará resonar con el capacitor de ajuste, permitiendo un ajuste mínimo de la ROE (*Relación de Onda Estacionaria*) en la frecuencia de corte mecánico resultante (Balanis, 1997).

Para la implementación de la línea de transmisión que unirá el transmisor con la antena, como se dijo en el marco teórico, para este tipo de aplicaciones es típico utilizar cable RG-8; en el

⁴ *Electronic Code of Federal Regulations*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

lado del transmisor se terminó con un conector tipo N macho y para el lado de la antena en tipo PL259 macho, contándose con un tendido de 8 metros de cable. En la figura 8, se ilustra el esquema físico de la antena dipolo vertical con sus correspondientes aditamentos de acople y ajuste de resonancia, así como la línea de transmisión implementada.



Figura 8. Configuración básica de una antena dipolo vertical con acople Gamma Match. Fuente (Balanis, 1997).

Según Balanis (Balanis, 1997), las dimensiones adicionales a la del dipolo irradiante que se calcula por la fórmula antes enunciada, terminan siendo siempre una relación porcentual respecto a esa medida. Por ejemplo, el conductor central que se inserta en el tubo Gamma será de un 12% el valor del irradiante. El tubo Gamma tendrá una longitud del 20 al 25% del irradiante y la separación del tubo respecto a la estructura metálica será de 8 a 10 milímetros, en función del óptimo ajuste que se pueda brindar a la antena. Dicho en otras palabras, tampoco esa medida es estricta y relevante, sino que se ajustará a la necesidad de una calibración, tan buena como sea posible. La separación física, en forma paralela, entre el adaptador Gamma y el dipolo radiante será de 5% la medida de dicho dipolo y estará ajustado y soportado por la barra cortocircuitante. Este valor de separación no es crítico, ya que lo importante es el valor capacitivo alcanzado por el adaptador Gamma con el capacitor ajustable; es relevante el punto de acoplamiento de este capacitor con el irradiante, pues es en este punto donde se transfiere la energía de RF que atraviesa el capacitor (que se obtiene con el adaptador Gamma) y se acopla al irradiante en el punto exacto de $\frac{\lambda}{4}$, donde se alcanza la máxima transferencia de potencia a la frecuencia de trabajo deseada, en este caso de 88,4 MHz. En la figura 9 se entrega en la versión estudiantil de *Solide Edge* (SIEMENS, 2016) detalles de la construcción física y acabados de la antena.

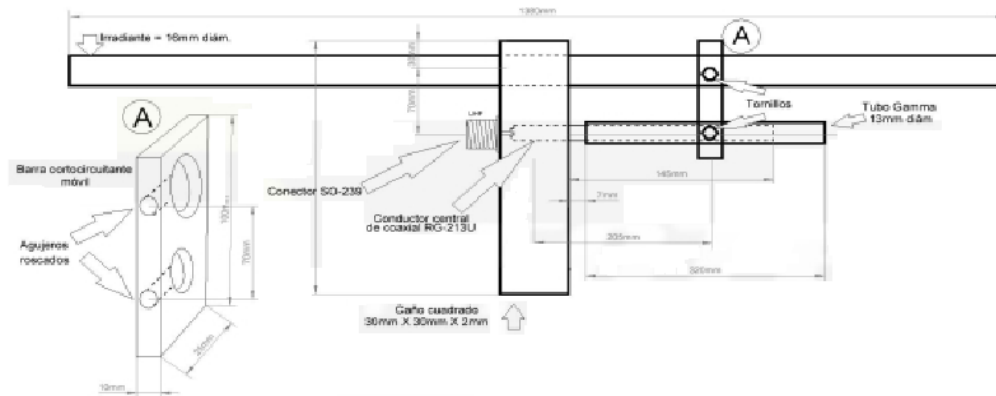


Figura 9. Detalles de la construcción de la antena. Fuente: el autor.

En la figura 10, se ilustran el estado final de la antena y su fijación en el patio de antenas, bloque N-Fraternidad, 6º piso.



Figura 10. Detalles de los acabados de la antena. Fuente: el autor.

Vale destacar, en este punto, un aspecto muy importante respecto al montaje y la correcta puesta a tierra de toda la estructura metálica que soportará a la antena; por supuesto que esto no significará una mejor o mayor calidad de transmisión, sino que nos permitirá tener una cifra de ruido más baja y una mayor seguridad, para los operarios y el sistema de transmisión, ante las descargas atmosféricas que puedan producirse sobre el metal; estas pueden dañar en forma severa el transmisor y afectar también a la misma línea de transmisión coaxial. Por esto, la fijación de la antena tuvo en cuenta la recomendación de las normatividades de protección de tierras, de fijarse la tierra física de la línea de transmisión con la malla de tierra del patio de antenas y la de estar por debajo mínimo a dos metros de un pararrayos cercano, en este caso a cerca de 5 metros de uno de los del sistema de protección del patio de antenas del laboratorio de Radiocomunicaciones ITM Fraternidad. Esto se ilustra claramente en la figura 11.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

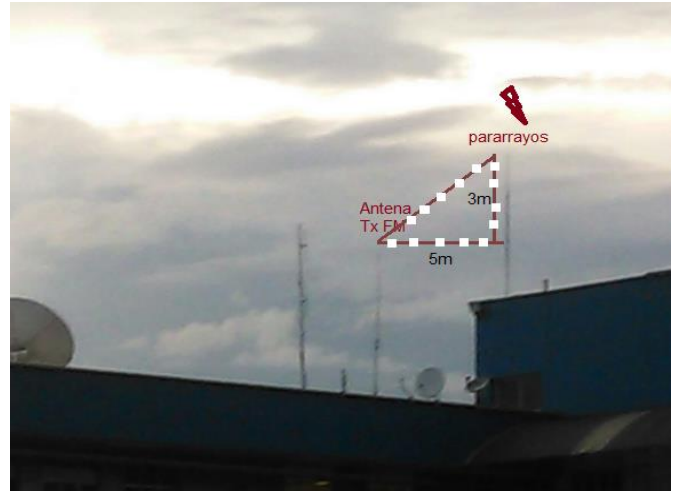


Figura 11. Detalles de la instalación de la antena. Fuente: el autor.

El modelo de radiopropagación tomado como referente es el planteado por Constantino Pérez-Vega & Zamanillo (2005) (Zamanillo, Pérez-Vega, & Zamanillo, 2005) válido para la predicción de cobertura de servicios de comunicaciones radiodifundidas en VHF y UHF, aplicable en particular a radiodifusión sonora; constituyendo una extensión de modelos existentes basados en las curvas de propagación para frecuencias entre 50 MHz y 1.2 GHz de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Title 47, chapter I). Este modelo permite ponderar la atenuación de la señal transmitida en función de la distancia y de la altura de la antena transmisora.

El protocolo utilizado para el trabajo de campo, consiste en realizar mediciones de campo eléctrico (E) siguiendo la delimitación del campus ITM Fraternidad, como se ilustra en lo resaltado en la figura 12, a fin de ajustar la potencia del transmisor para un valor adecuado que garantice que la señal no sale del campus, puesto que aún no se cuenta con el permiso de la ANE para el uso de la frecuencia del Espectro Radioeléctrico. Con esto, se elimina la posibilidad de causar interferencias en alguna emisora comercial que este radiando en la misma frecuencia o en una cercana.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 12. Contorno para mediciones de campo del protocolo. Fuente: el autor.

Las mediciones se realizaron siguiendo la técnica experimental descrita en la Recomendación SM-378-6 de la Asamblea de Radiocomunicaciones - UIT: “Mediciones de intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica” (UIT-R, 1995). En esta recomendación se estipula que, para frecuencias superiores a 30 MHz, la precisión de las mediciones debe estar dentro de la tolerancia de ± 3 dB; también que la antena receptora debe tener la misma polarización que la antena transmisora (polarización vertical en este caso) y ser una antena monopolo corta o dipolo de media longitud de onda (MinTIC, 2014).

En las mediciones se empleó un LSM (*level signal meter*) con referencia HT928A de la empresa Eight Limited, que se ajusta a la frecuencia de operación y a la tolerancia especificada para las mediciones (sus especificaciones técnicas se adjuntan en el **Anexo A**). En la figura 13 se ilustra dicho equipo, al cual se le adaptó una antena monopolo corta de un cuarto de onda, como dice la recomendación (UIT-R, 1995). También se ilustra allí el instrumento GPS marca Trimble, utilizado para capturar las coordenadas de la posición de las mediciones.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

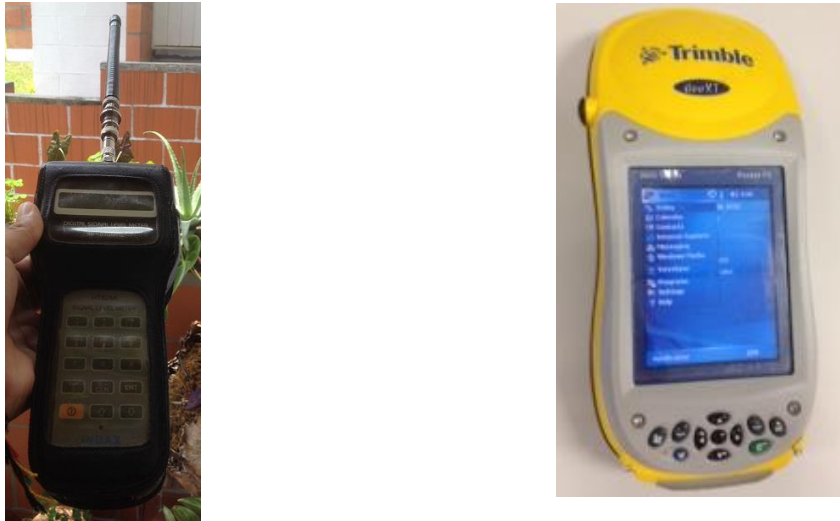


Figura 13. Equipos usados para las mediciones. Fuente: el autor.

Aplicando este modelo, se debe verificar primero que el receptor se encuentra en la región de campo lejano. La región de campo lejano o de *Fraunhofer* es la región que concentra la mayor parte de la potencia radiada efectiva y en la cual la distribución angular de campo es independiente de la distancia respecto a la antena presentando frentes de onda plana (Seybold, 2005). En esta región, el patrón de radiación cambia de forma lineal respecto a la distancia, garantizando que la señal se propaga como una onda electromagnética plana, con sus campos eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H) y la dirección de propagación (a lo largo del eje Z) perpendiculares entre sí (ARRL, 2005).

Si la mayor dimensión lineal de una antena es D , entonces la región de campo lejano se cumple si $R > 2 * D^2 / \lambda$, siendo R la distancia del receptor y $D = \lambda / 2$ (para esta antena).

Así entonces: $R > 2 * (1.7m)^2 / 3.4 m = 1.7 m$. Se puede afirmar que después de 1.7m, se concentrará la mayor parte de la potencia radiada efectiva.

Para garantizar campo lejano, todas las mediciones del protocolo deben tomarse a más de 2 metros del transmisor; esto siempre se cumplirá para nuestro caso, ya que todas las mediciones (excepto 2 de prueba en la terraza del 5º piso contiguo), se realizaron a 1.5m del nivel del suelo.

Es importante resaltar que, debido a las características de corta distancia de recepción y relativa baja frecuencia de operación, varios parámetros de pérdidas de propagación por fenómenos atmosféricos según recomendación UIT-R son irrelevantes (E-CFR, 1979).

Se empieza el protocolo de medición, colocando el transmisor en su media potencia de 10W y estableciendo mediciones en puntos cardinales de las inmediaciones del campus. Se compararon estas, observándose que en las mediciones 1 y 2 de prueba, realizadas en la terraza del 5º piso contigua al transmisor, se obtuvo la mayor intensidad de señal como era

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de esperarse. Así mismo, para las inmediaciones, se obtuvo que la medición 9, fue la que obtuvo mayor intensidad, por lo que respecto a este se calibró la potencia del transmisor, para garantizar que ya no era reconocible por el radiorreceptor. Con una potencia de transmisor de 4 W, se obtuvo una medición de 25.2 dBuV/m, que correspondía a un valor cercano a la mitad del estándar dado para óptima calidad de señal radiodifundida analógica estereofónica, que para FM corresponde a 60 dBuV/m (MinTIC, 2014). En estos puntos, se escuchaba que la señal de ITM Radio se perdía y en otras partes, que era anulada por una emisora de radio comercial.

Se hace un recorrido por los límites del campus Fraternidad, siguiendo la malla de separación con los barrios Boston y Córdoba, para obtener mediciones georreferenciadas, ilustradas en la tabla 3. Siguiendo la recomendación SM-378-6, para cada punto registrado se tomaron medidas en valores cercanos adyacentes (observaciones agrupadas) con el mismo PDOP (*Precision Dilution of posicion*) del GPS (que en todo caso debe ser mayor a 2.5) y se registró el valor medio calculado, en aras de la precisión (UIT-R, 1995). En la tabla 3 se consignan estos valores de registro con sus coordenadas de posicionamiento, y en la figura 14 se ilustran en el plano georreferenciado exportado del software del GPS.

Tabla 3. Mediciones de intensidad de campo, según protocolo

Point_ID	E_field (dBuV/m)	Max_PDOP	GPS_Height	Latitude	Longitude
1	33,5	5,4	1617,929	6.2448	-75.5504
2	32,0	5,3	1619,103	6.2445	-75.5507
3	13,5	5,3	1608,303	6.2455	-75.5498
4	17,2	4,4	1614,273	6.2456	-75.5495
5	13,3	3,0	1615,477	6.2455	-75.5493
6	10,2	3,4	1606,648	6.2459	-75.5505
7	9,1	2,7	1605,806	6.2462	-75.5507
8	22,4	3,7	1602,988	6.2456	-75.5512
9	25,2	4,0	1600,100	6.2453	-75.5513
10	26,4	3,7	1605,704	6.2452	-75.5512
11	23,8	4,0	1603,014	6.2452	-75.5515
12	8,2	4,4	1601,815	6.2450	-75.5516
13	8,8	4,0	1600,559	6.2445	-75.5516
14	9,2	4,7	1608,837	6.2444	-75.5515
15	8,3	3,1	1609,430	6.2442	-75.5514
16	7,6	5,3	1599,774	6.2439	-75.5510
17	7,5	5,6	1609,019	6.2439	-75.5508
18	8,3	5,9	1606,868	6.2440	-75.5506
19	7,7	3,8	1610,018	6.2451	75.5506
20	7,9	4,0	1611,127	6.2448	75.5505

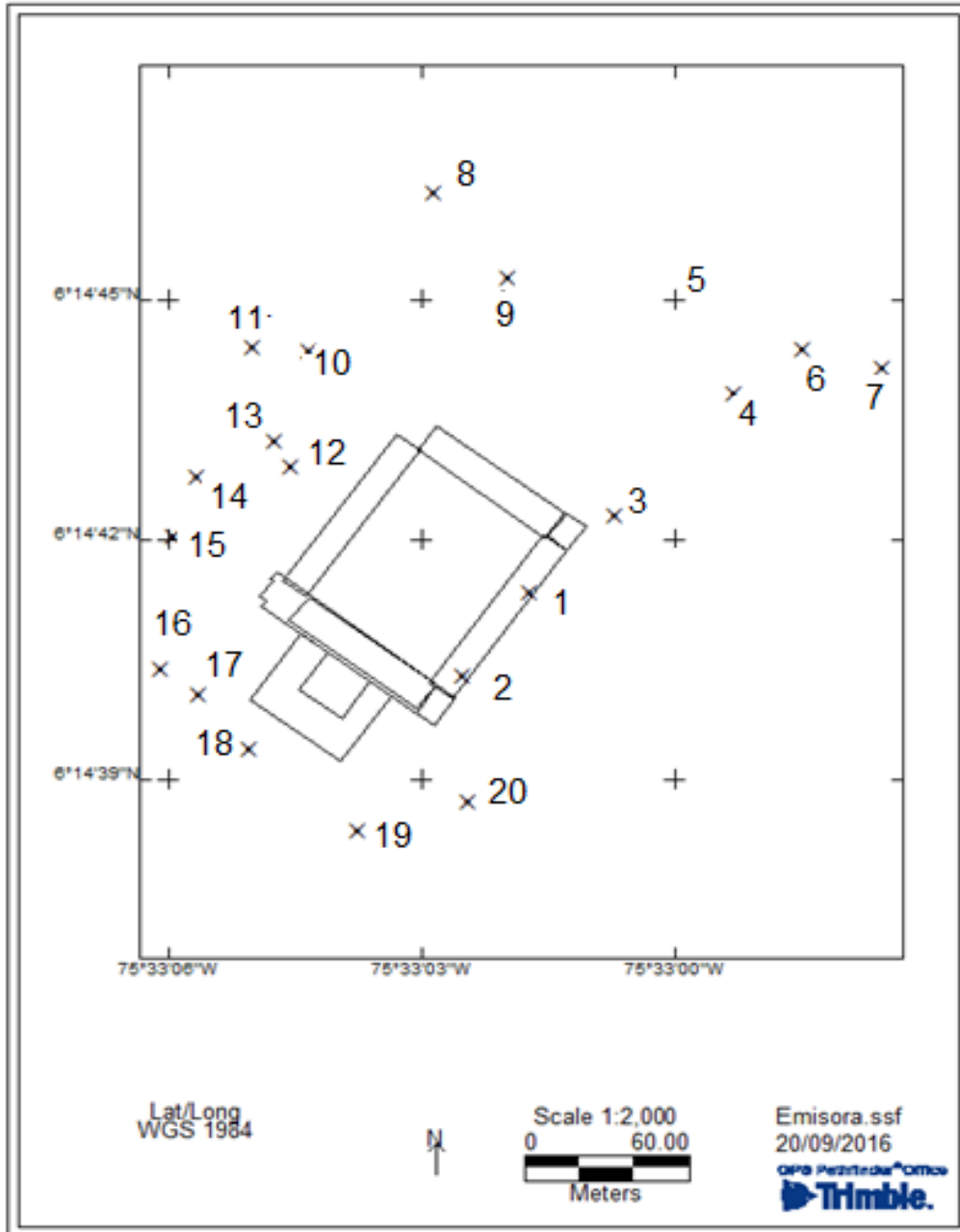


Figura 13. Mapeo de intensidad de campo geo-referenciado

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Usando un transmisor comercial clase D, se logró implementar un prototipo de estación de radiodifusión sonora en FM, que cumple con todos los estándares técnicos definidos por MinTIC, permitiendo radiar dentro del campus Fraternidad la programación de la emisora virtual “ITM Radio”, garantizando que no contamina el espectro radioeléctrico de las comunidades limítrofes con el campus. Esto debido que aún no se cuenta con la licencia para el uso del espectro, requisito de la ANE para poder operar como emisora de interés público.

Es de gran importancia para todo estudiante en su fase terminal, incluso para el ciclo tecnológico, enfrentarse a problemas de aplicación real que puedan retarlo para aplicar su ingenio y creatividad en las soluciones planteadas, sustentadas en los conocimientos adquiridos durante la carrera, la formación en investigación obtenida de los semilleros de investigación y las asesorías docentes y el roce con la industria. Esto fue indispensable para realizar un estudio profundo de la Regulación de Telecomunicaciones de Colombia, concerniente a los requerimientos para el establecimiento de una estación de radiodifusión sonora en FM, para radiar la programación de ITM radio (virtual); por intermedio del director de este trabajo, este derrotero se escalará hasta los niveles adecuados dentro del ITM, para que se interesen por realizar los trámites ante MinTIC y poder contar con este recurso.

También fue importante, adaptar la infraestructura implementada para establecer un protocolo de mediciones y ejecutarlo sobre el sistema operativo, para evaluar condiciones de funcionamiento: potencia de transmisión, ancho de banda y radio de cobertura; a fin de garantizar el cumplimiento de las normatividades vigentes establecidas por la legislación colombiana dentro del Plan Técnico de Radiodifusión sonora en FM.

Como trabajo futuro, se plantea que dicha infraestructura, donada a la institución para que forme parte del recurso instalado, sirva de complementación y mejoramiento de las prácticas de laboratorio de asignaturas como Análisis de Señales, Sistemas de Comunicaciones, Legislación en Telecomunicaciones, Antenas y Radio propagación, entre otras. Queda la puerta abierta a otros compañeros de los semilleros de investigación y docentes, para que a manera de la modalidad de grado con prácticas de laboratorio y/o

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

trabajos de grado de tecnología, diseñen guías de trabajo práctico, usando como base la infraestructura que acá se aporta.

Se recomienda en todo caso, no incrementar los niveles de potencia calibrados para no tener eventuales problemas por el uso sin permiso del espectro. Los equipos donados pasan a ser parte del Centro de Laboratorios, por lo que serían los encargados de velar por su integridad física en la operación, mantenimiento y costos operativos.

Desde el punto de vista institucional es importante concientizar a la dependencia de Comunicaciones ITM de que este proyecto permite disponer de una plataforma para difundir información corporativa, educativa, informativa y cultural; aprovechando la programación emitida desde los estudios de “Radio ITM- virtual”; esto permite no solo incrementar la labor social del ITM en cuanto al impacto en la población, sino también incrementar las estrategias de *marketing* y de reconocimiento institucional en el medio.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- ARRL. (2005). *The ARRL Handbook for Radio Communications* (Vols. Chapter 22 — Antennas). Newington, USA: The American Radio Relay League.
- Balanis, C. (1997). *Antenna Theory and design*. 2 ed. NY: John Wiley & sons.
- E-CFR. (1979). Title 47- Telecommunication Radio Broadcast Services. *FM Broadcast Stations* (págs. Chap I, Subchap C, part 73). Washington DC: Government Publications - GPO.
- FCC. (Title 47, chapter I). Part. 73 - Radio Broadcast Services. En F. C. Commision, *Code of Federal Regulations* (págs. Secs 73.683, 73.684 y 73.699). USA: ITU-R.
- Kinley, H. (1992). *Manual de Comunicaciones por Radio*. México: Ceac.
- MinTIC. (Junio de 2014). *Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en FM*. Bogotá: CRC. Obtenido de www.mintic.gov.
- Neri Vela, R. (1999). *Líneas de Transmisión*. México: McGraw-Hill.
- Opinión Consultiva OC-5/85LA, Arts. 13 y 29 - Convención Americana sobre Derechos Humanos (Corte Interamericana de Derechos Humanos 13 de noviembre de 1985). Obtenido de http://www.corteidh.or.cr/docs/opiniones/seriea_05_esp.pdf
- Seybold, J. (2005). *Introduction to RF propagation*. Canadá: Wiley-Interscience.
- SIEMENS. (6 de Diciembre de 2016). *Siemens PLM Software*. Obtenido de https://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/academic/resources/solid-edge/student-download.cfm
- Tomasi, W. (2004). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. En W. Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (pág. 385). Mexico: Mc Graw Hill.
- UIT-R. (1995). *Mediciones de intensidad de campo en estaciones de comprobación técnica. Recomendación UIT-R SM 378-6*. Ginebra: ITU.
- Zamanillo, J. M., Pérez-Vega, C., & Zamanillo, I. (2005). *Modelo de Propagación para exteriores mejorado para frecuencias de 50 MHz a 1.2 GHz. XX Simposio Nacional de la unión científica de Radio URSI*.

APÉNDICE

APENDICE A. Hoja de Datos del Medidor



Infinite Possibilities

CABD/CATV SOLUTION
Measuring Equipment



Feature

HT8385

- Auto scan function
- Spectrum testing function (HT 8385)
- Trunk voltage testing
- TWT measurement

HT828A

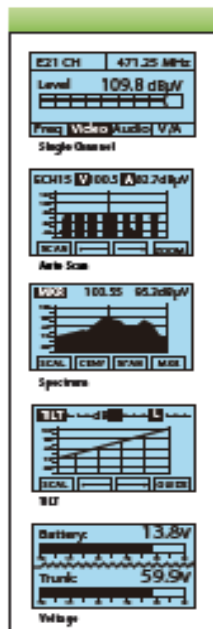
- Trunk voltage testing

Signal Level Meter

HT8385/ HT828A

Specifications

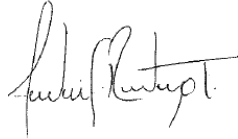
Model	HT-8385	HT-828A	
General	Frequency Range	5 - 870 MHz	46 - 870 MHz
	Resolution Bandwidth	200 kHz ± 50kHz	200 kHz ± 50kHz
	Channels	PAL or NTSC	PAL or NTSC
	Level Range	30 dBµV - 120dBµV	10 dBµV - 120dBµV
	Accuracy	± 1.5dBµV (Under Room Temperature) ± 2.5dBµV (-10 - 40°C)	± 1.5dBµV (Under Room Temperature) ± 2.5dBµV (-10 - 40°C)
Auto Scan Testing	Input Impedance	75Ω (BNC or F Connector)	75Ω (BNC or F Connector)
	Wave Detection	Peak value	Peak value
	Max Channels Scan	125 Channels	---
	Scan Range	All Channels within 46 - 870MHz	---
Voltage	Scan Speed	30 Channels/ Min	---
	Memory Groups	24 Group (00 - 23)	---
		Each group store max 100 channels	---
Other	Voltage Range	0 - 100VAC	0 - 100VAC
	Accuracy	± 1.5 V	± 1.5 V
	Resolution	0.1V	0.1V
	Dimensions	214x94x42mm	214x94x42mm
	Weight	1.4 kg (with charger)	1.3 kg (with charger)
Power	Working Temperature	-15°C - 40°C	-10°C - 40°C
	Display LCD	128 x 64 matrix super big LCD with back light	16 x 2 LCD with back light
	DC Supply	DC 2.2V / 1.6 Ah rechargeable battery	DC 2.2V / 1.6 Ah rechargeable battery
	AC Supply	AC 2.20V / 50 Hz ± 10%	AC 2.20V / 50 Hz ± 10%
Battery Working Hours	Longer than 4 hours at continuous working mode	Longer than 4.5 hours at continuous working mode	
Recharging Hours	12 - 14 Hours	12 - 14 Hours	




Specifications subject to change without notice.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTE



FIRMA ASESOR



FECHA ENTREGA: 9/02/2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____