

DISEÑO DE GUÍAS DE LABORATORIO PARA EL ÁREA DE COMUNICACIONES
EN EL TEMA DE PROPAGACIÓN DE SEÑALES EMPLEANDO UN EQUIPO
TRANSMISOR DE MICROONDAS

ANDRÉS RICARDO ACOSTA MORA

CHRISTIAN DAVID ACOSTA SEGURA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTÁ

2014

DISEÑO DE GUÍAS DE LABORATORIO PARA EL ÁREA DE COMUNICACIONES
EN EL TEMA DE PROPAGACIÓN DE SEÑALES EMPLEANDO UN EQUIPO
TRANSMISOR DE MICROONDAS

ANDRÉS RICARDO ACOSTA MORA

CHRISTIAN DAVID ACOSTA SEGURA

Proyecto presentado para optar por el título de Licenciados en Electrónica

Dirigido por:

Licenciado Jimmy William Ramírez Cano

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTÁ

2014

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado el cual fue culminado con mucho esfuerzo a Dios, por darme fortaleza y llenarme siempre de bendiciones; a mis padres por inculcarme el valor del estudio, del trabajo duro y honrado y por su infinito amor; a mi esposa Xiomara por estar siempre a mi lado, por su apoyo y su amor incondicional; a mis hermanos Lorena, Yesid y Ligia por apoyarme durante toda mi vida.

Andrés Ricardo Acosta Mora

Este proyecto de grado lo dedico a mis padres quienes me han aportado para poder llegar a esta instancia de mis estudios, a mi hermano que ha sido incondicional, ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme moralmente. También lo dedico a cada uno de mis compañeros de universidad ya que con ellos se compartió este gran proceso de formación y por último a mi novia ya que ella siempre me ha apoyado de manera incondicional.

Christian David Acosta Segura

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecerles a nuestras familias por brindarnos todo su apoyo y su incondicional ayuda.

Al profesor Jimmy Ramírez por brindarnos su confianza, dedicación y por guiarnos en este proceso.

Al profesor Francisco Malagón por su voto de confianza.

Al profesor Iván Martínez Peña por su ayuda en los momentos difíciles.

A todos los profesores de la Licenciatura en Electrónica por sus valiosas enseñanzas durante todo este tiempo.

Al Departamento de Ciencia y Tecnología.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Excelencia en la Educación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 5	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Diseño de guías de laboratorio para el área de comunicaciones en el tema de propagación de señales empleando un equipo transmisor de microondas
Autor(es)	Acosta Mora, Andrés Ricardo; Acosta Segura, Christian David
Director	Ramírez Cano; Jimmy William
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2014. 113 p.
Unidad Patrocinante	
Palabras Claves	MICROONDAS, PROPAGACIÓN DE SEÑALES, TRANSMISIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS, GUÍAS DE LABORATORIO, KLYSTRON, EQUIPO GENERADOR Y TRANSMISOR DE MICROONDAS

2. Descripción
<p>En los laboratorios de del Departamento de Física de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional, se contaba años atrás con varios equipos generadores y transmisores de microondas. A causa del uso y de la desinformación con el tiempo estos equipos progresivamente se fueron desarmando y perdiendo hasta quedar partes no funcionales de cada uno de estos. Ante la dificultad de contar con equipos especializados para realizar experimentos, pruebas y talleres referentes a microondas, los docentes y el personal de laboratorio propusieron la revisión funcional de las partes con las que se contaban, con el fin de determinar si a pesar de la diferencias de marca de los elementos que quedaban, había posibilidad de conformar nuevamente un equipo generador y transmisor de microondas. Durante la revisión se encontró una fuente de microondas marca Phywe®, una par de guías de onda marca Heathkit® y unos Klystron 723 A/B, elementos que estaban en desuso y en mal estado. Por lo anterior el presente documento expone entre otras cosas el proceso llevado a cabo para acoplar un equipo generador y transmisor de microondas, a partir de los componentes hallados, de manera que éstos fueran nuevamente funcionales y usados dentro de los talleres y laboratorios de microondas de la Universidad Pedagógica Nacional.</p> <p>Adicionalmente este proyecto contempla la elaboración de guías de práctica y material de laboratorio para el área de sistemas de comunicaciones de la Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional así como los manuales de uso del equipo generador y transmisor de microondas que permitirán la manipulación nuevamente de éste. Para esto se han incluido experimentos sencillos que pueden realizarse con una instrumentación con la cual cuenta la Universidad y que permiten ilustrar algunos conceptos importantes sobre la teoría de las ondas. También se proponen experimentos un poco más complejos que hacen referencia a la transmisión y propagación de señales electromagnéticas.</p>

3. Fuentes

Ayala, M., Romero, A., Malagón, F., Rodríguez, O., Aguilar, Y., & Marina, G. (2008). Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción de conocimientos sobre los fenómenos físicos. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Bataller, M., & Noguiera, A. (06 de 02 de 2002). Universidad Politecnica de Valencia. Recuperado el 18 de 02 de 2014, de Universidad Politecnica de Valencia: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Bocinas.pdf

Connor, F. R. (1976). Transmisión de ondas. iii. Temas de Telecomunicaciones. Barcelona: Talleres gráficos ibero-americanos.

Freedman, Y., & Zemansky, S. (2009). Física universitaria con física moderna (Decimosegunda edición ed., Vol. II). México: Pearson.

Gómez, R. (1984). Campo Electromagnético: Propagación y Radiación. Granada: Universidad de Granada.

Gupta, K. C. (1993). Microondas. Mexico, D.F.: Limusa Noriega Editores.

Miranda, J. M., Sebastián, J., Sierra, M., & Margineda, J. (2002). Ingeniería de Microondas. Madrid: Prentice Hall.

Poole, C. (1996). Electron Spin Resonance: A Comprehensive Treatise on Experimental Techniques. New York: Dover Publications.

Sisodia, M., & Raghuvanshi, G. (2004). Basic microwave techniques and laboratory manual. New Delhi: New age international.

Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas (Cuarta edición ed.). México: Pearson.

4. Contenidos

El presente documento muestra el proceso de reparación de un equipo generador y transmisor de microondas y su posterior articulación con diferentes elementos utilizados en el proceso de transmisión de microondas, también muestra los elementos tenidos en cuenta en el diseño de guías de laboratorio para el área de comunicaciones en el programa de Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional.

Este documento abarca tres campos, el primero realiza una mirada teórica de los fundamentos físicos-electrónicos tenidos en cuenta para el desarrollo del proyecto. El segundo campo muestra el proceso de reparación y articulación del equipo generador de microondas; y el tercero enmarca el diseño de guías de laboratorio para el área de telecomunicaciones para el programa de Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional.

El trabajo está dividido en tres capítulos. FUNDAMENTOS TEÓRICOS, éste, recopila la información de los fundamentos físicos (ondas), de instrumentación (parte electrónica de los instrumentos adjuntos al generador y transmisor de microondas) y hace una mirada al funcionamiento específico de la fuente generadora de microondas Phywe® y a las guías de onda marca Heathkit®. En segunda instancia, REPARACIÓN Y ARTICULACIÓN DEL EQUIPO GENERADOR Y TRANSMISOR DE MICROONDAS, da un informe de la metodología y el proceso llevado a cabo para acoplar un equipo generador y transmisor de microondas, a partir de los componentes hallados, de manera que estos fueran nuevamente

funcionales. Finalmente, DISEÑO Y DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO, contempla la elaboración de guías prácticas y material de laboratorio implementadas con el equipo generador de microondas ya reparado, para el área de sistemas de comunicaciones de la Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional, así como los manuales de uso del equipo generador y transmisor de microondas.

Los objetivos que se trazaron para el Trabajo de Grado fueron:

Objetivo General

Diseñar guías de laboratorio en el tema de propagación de señales basado en la teoría de modulación y demodulación de señales para el área de comunicaciones empleando un equipo transmisor de microondas.

Objetivos Específicos

Armar un equipo transmisor y generador de microondas con Klystron a partir de equipos que se encontraban en desuso y desarticulados en el laboratorio de física de la carrera de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Diseñar guías de laboratorio que permitan visibilizar el fenómeno de propagación de ondas (modulación y demodulación) para el área de comunicaciones.

5. Metodología

Debido a la naturaleza del presente proyecto, se hizo necesario dividirlo en dos partes para desarrollar los objetivos propuestos. Para la primera parte se optó por una metodología para la reparación del equipo, más que una metodología se optó por un modelo metodológico utilizado en construcción de software que se llama espiral de software el cual se acomodó a los requerimientos necesarios. El modelo de espiral de software fue propuesto por Boehm; en este modelo, más que representar el proceso de desarrollo de software como una secuencia de actividades con retrospectiva de una actividad a otra, se adaptaron de cuatro actividades para llegar a la meta, que son la especificación, desarrollo, validación y evolución. Las fases realizadas en este modelo fueron: Fase I: reparación de la fuente de alimentación (11740.93). Fase II: articulación del klystron al generador de microondas. Fase III: articulación de las guías de onda emisora y receptora con la fuente de alimentación y al generador de microondas. Fase IV: prueba del equipo articulado y reparado, implementando las guías de laboratorio del tema de propagación de ondas.

En segunda instancia el diseño de las guías de laboratorio estarán divididas en dos momentos, el primero se encarga de mostrar la conexión del equipo y como proceder para su respectiva manipulación mostrando a su vez conceptos propios de sus componentes (Klystron, guías de onda y generador de señales) y la segunda estará enfatizada en la experimentación teniendo como base los conceptos de transmisión de señales y propiedades ondulatorias, a su vez complementado diferentes temas relacionados con los conceptos principales, como son las ondas electromagnéticas, el espectro electromagnético, propagación de ondas y las microondas. Debido a que no existe una única metodología para la elaboración de guías de laboratorio se optó por crear un diseño de guía que contemplara aspectos elementales y útiles con el fin de proporcionar a quien la requiera una descripción clara de la actividad a desarrollar; por lo anterior las guías diseñadas contienen: título de la guía, numeración de la guía, materiales y elementos a usar en la guía, un párrafo introductorio sobre el tema a tratar, las actividades que se desarrollarán durante la guía, los objetivos de la misma y finalmente una serie de pasos y actividades a realizar durante la práctica.

6. Conclusiones

El uso de equipos que permitan realizar prácticas en torno a fenómenos físicos son de mucha ayuda dentro del proceso de enseñanza – aprendizaje, por qué a través de estas prácticas se logra relacionar contenidos teóricos vistos durante la carrera con el uso de objetos y equipos experimentales, lo que fue muy significativo ya que como dice (Malagón, Ayala, & Sandoval, 2011) las actividades experimentales ayudan a la construcción de elementos o fenomenologías teóricas y se estructuran a partir de hechos de observación; prácticas que en el presente proyecto se realizaron a través del equipo generador y transmisor de microondas y que originó la formulación de los objetivos del proyecto, los cuales se vieron satisfechos, ya que de acuerdo a lo experimentado durante el desarrollo y ejecución se puede decir que sirven como material de apoyo por medio del cual se pueden hacer experiencias complementarias a los fenómenos físicos teóricos relacionados con las ondas electromagnéticas, además de tener una serie de componentes y elementos relacionados con los que se podría generar muchas experiencias prácticas complementarias.

A partir de la experiencia relacionada en el presente proyecto y acorde con la literatura consultada, el equipo generador, transmisor y receptor de microondas cuenta con un número elevado de prácticas que se pueden realizar, por ejemplo estudiar los efectos y propiedades de las ondas, como la difracción, la interferencia, las ondas estacionarias, interferómetro de Michelson, ley de Snell, experimento de Bragg, entre otras muchas. Lo que proporciona un panorama de la importancia de este equipo en la experimentación.

El trabajo que se realizó durante el proceso de investigación, estudio y consulta complementa los conceptos adquiridos a lo largo del pregrado ya que muchos de ellos tuvieron que ser aplicados en la etapa de mantenimiento del equipo y otros a la hora de realizar la experimentación de temas que sólo se abordaron de manera teórica generando así una construcción integral y adecuada a la fenomenología asociada al carácter ondulatorio y las telecomunicaciones. Finalmente se realiza la invitación a continuar trabajando en torno a proyectos donde se brinden herramientas e instrumentos para la comunidad educativa; docente y estudiantes.

La propuesta de hacer guías de laboratorio en un principio contemplaba unir los aspectos teóricos con los experimentales con el propósito de apoyar aquellos conceptos que solo abarcan una aproximación teórica. Pero que a partir del momento de la reparación del equipo se vió que se tenía una alternativa más para profundizar en el nivel de enseñanza.

Al usar una metodología propia del desarrollo de software, la cual consta de cuatro etapas, se concluye que este tipo de metodologías son adecuadas o sirven para el desarrollo de este tipo de proyectos ya que en la literatura no se encontró metodología que se adaptara a las necesidades del problema; porque este método tiene inmerso un sistema de retroalimentación que permite devolverse cuando no se supera o falla en una etapa, lo cual es de suma importancia en la instrumentación electrónica porque consecuentemente se necesita estar devolviéndose o arreglando elementos o sistemas que ya se creían que estaban en óptimo estado. Por ende este método es recomendado o sirve para solucionar problemas del tipo del presente proyecto.

Los componentes internos de la fuente generadora de microondas Phywe® (Figura 25) son de alto costo y cuenta con más de 25 años por lo que la mayoría de sus componentes ya están en la obsolescencia, a pesar de lo anterior y luego de la experiencia realizando el proyecto se concluye que los componentes (fuentes y guías de onda) pueden ser diseñados por los mismos estudiantes del departamento a un costo razonable, así como la ejecución de los mantenimientos preventivos para evitar el desuso; permitiendo continuar con la experimentación y el aprovechamiento al máximo de los equipos.

A pesar de que se logró recuperar un equipo que estaba sin usarse y que es de una gran ayuda para los desarrollos experimentales en temas particulares sobre ondas electromagnéticas falta o se tiene mucho trabajo en su entorno; se propone continuar profundizando o continuar con este proyecto por ejemplo se le podría complementar o agregar amplificadores o señales de tipo luminosa a la salida para evidenciar

mejor los fenómenos de propagación, realizar un análisis físico matemático alrededor de todos sus elementos de transmisión.

Los laboratorios propuestos sobre propagación de señales para el área de comunicaciones abarcan temáticas a través de las cuales se puede tener una aproximación más cercana a temas relacionados con transmisión de señales a través del aire y propagación de ondas electromagnéticas, ya que por medio de dichas guías también se pueden generar procesos paralelos encaminados a relacionar el equipo en general con los sistemas de comunicación y transmisión, en cuanto al modo en que las guías de onda actúan como antenas emisoras y receptoras, el proceso de modulación interno del equipo, y la demodulación que se realiza en la guía de onda receptora. También el tener una parte práctica de como se puede realizar un análisis de Fourier experimental y una aproximación a su definición teórica.

Finalmente se espera que la reparación y el diseño de las guías generen un impacto positivo en la comunidad universitaria del Departamento de Ciencia y Tecnología, a los estudiantes como una herramienta de apoyo en su proceso formativo, a los docentes como un complemento o instrumento para sus clases.

Elaborado por:	Acosta Mora, Andrés Ricardo; Acosta Segura, Christian David
Revisado por:	Ramírez Cano; Jimmy William

Fecha de elaboración del Resumen:	12	06	2014
--	----	----	------

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	12
INDICE DE DIAGRAMAS E ILUSTRACIONES	13
LISTA DE ANEXOS	15
RESUMEN	16
1. INTRODUCCIÓN	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	21
1.3 DELIMITACIÓN	23
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	23
1.4.1 Objetivo General	24
1.4.2 Objetivos Específicos	24
1.5 ANTECEDENTES.....	24
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	27
2.1 FUNDAMENTOS FÍSICOS	28
2.1.1 Concepciones Generales Sobre las Ondas.....	28
2.1.2 Ondas Electromagnéticas	30
2.1.3 Propagación de Ondas Electromagnéticas	31
2.1.4 Microondas.....	32
2.2 INSTRUMENTACIÓN.....	33
2.2.1 Klystron	34
2.2.2 Klystron Reflex.....	35
2.2.3 Guías de Onda.....	36
2.2.3.1 Transmisión por Guía de Onda	39
2.3 EQUIPO GENERADOR Y TRANSMISOR DE MICROONDAS.....	43

2.3.1	Fuente de alimentación Phywe® 11740.93	43
2.3.2	Guías de onda Heathkit®	46
2.3.3	Diodo detector 1n23b	47
2.3.4	Klystron 2k25 y 723 A/B	48
3.	REPARACIÓN Y ARTICULACIÓN DEL EQUIPO GENERADOR Y TRANSMISOR DE MICROONDAS	49
3.1	PROCEDER METODOLÓGICO	49
3.2	REPARACIÓN FUENTE DE ALIMENTACIÓN PHYWE® 11740.93	52
3.3	ARTICULACIÓN DEL KLYSTRON AL GENERADOR DE MICROONDAS 61	
3.4	ARTICULACIÓN DE LAS GUÍAS DE ONDA EMISORA Y RECEPTORA CON LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y AL GENERADOR DE MICROONDAS. 64	
3.5	PRUEBA DEL EQUIPO ARTICULADO Y REPARADO	66
4.	DISEÑO Y DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO	70
	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	71
	CONCLUSIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las antenas.	37
Tabla 2. Asignación de frecuencias, antenas y uso.....	38
Tabla 3. Rango fundamental frecuencias normalizadas.....	42
Tabla 4. Voltajes iniciales entre el conector del klystron.	54
Tabla 5. Datos prácticos obtenidos.	72

INDICE DE DIAGRAMAS E ILUSTRACIONES

Figura 1. Resumen de los fundamentos teóricos.	27
Figura 2. Espectro electromagnético.	31
Figura 3. Esquema general equipo generador, transmisor y receptor de microondas.	34
Figura 4. Comportamiento del klystron en relación a la modulación de velocidad.	35
Figura 5. Propagación de señales (campo eléctrico y magnético).	40
Figura 6. Modo de propagación guía de onda rectangular.	41
Figura 7. Tipo de guías de onda según extensión. De izquierda a derecha: bocina de plano H, bocina de plano E y bocina piramidal.	42
Figura 8. Diagrama esquemático Klystron Reflex.	44
Figura 9. Diagrama del transformador de una fuente generadora de microondas.	45
Figura 10. Etapas de rectificación de las ondas en la fuente generadora de microondas.	46
Figura 11. Fuente de alimentación Phywe® 11740.93.	46
Figura 12. Guías de onda. 13(a) Guía de onda emisora con klystron (superior) y guía de onda receptora (inferior). 13(b) esquemático guía de onda receptora.	47
Figura 13. Diodo de silicio 1n23B.	48
Figura 14. Klystron Reflex 723 A/B.	48
Figura 15. Modelo espiral.	50
Figura 16. Conector entre fuente y guía de onda emisora.	53
Figura 17. Conector 5 pines, conector entre fuente generadora de microondas y guía de onda emisora con klystron.	54
Figura 18. Divisor de voltaje.	55
Figura 19. Divisores de voltaje para fuente generadora de microondas.	56
Figura 20. Medición de corriente entre conector del klystron con guía de onda emisora con klystron.	57
Figura 21. Condensador Frako 50-50 μ F a 350/385 V.	58
Figura 22. Condensadores conectados en serie.	58
Figura 23. Conexión fuente generadora de microondas y fuente externa.	59

Figura 24. Diseño fuente para alimentación del header o filamento.	60
Figura 25. Diseño del PSB para la fuente del header y la fuente del header dentro de la fuente generadora de microondas.	60
Figura 26. De izquierda a derecha: Conector XLR-3-11C, conector XLR-3-32 y diagrama de conexión.	62
Figura 27. Nuevos conectores macho y hembra para la fuente generadora de microondas.	62
Figura 28. Conexión interna guía de onda con klystron.	63
Figura 29. Estado inicial guías de onda.	64
Figura 30. Guías de onda con soportes.	65
Figura 31. Proceso y resultado mantenimiento guías de onda.	66
Figura 32. Montaje del experimento sobre reflexión y refracción de ondas electromagnéticas.	68
Figura 33. Mediciones de reflexión y refracción.	68
Figura 34. Montaje para experimento sobre polarización.	69
Figura 35. Práctica para experimento de polarización.	69
Figura 36. Práctica sobre polarización de señales.	72
Figura 37. Resultados obtenidos por modulación externa.	74
Figura 38. Conexión por modulación externa.	74

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Cotización con la empresa Phywe	81
ANEXO B. Tabla de diseño de guías de onda	84
ANEXO C. Expresiones analíticas y matemáticas para la propagación de ondas electromagnéticas en guías de onda rectangular	86
ANEXO D. Especificaciones técnicas diodo 1n23b	87
ANEXO E. Especificaciones técnicas klystron réflex 723 A/B	89
ANEXO F. Equipos utilizados durante el desarrollo del proyecto	96
ANEXO G. Guías de laboratorio sobre propiedades de polarización y reflexión ...	97
ANEXO H. Guías de laboratorio diseñadas para el equipo generador y transmisor de microondas	101

RESUMEN

En los laboratorios de del Departamento de Física de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional, se contaba años atrás con varios equipos generadores y transmisores de microondas que fueron donados por la desaparecida República Democrática Alemana en los años noventa, los cuales eran usados en talleres y actividades prácticas. A causa del uso y de la desinformación con el tiempo estos equipos progresivamente se fueron desarmando y perdiendo hasta quedar partes no funcionales de cada uno de estos.

Ante la dificultad de contar con equipos especializados para realizar experimentos, pruebas y talleres referentes a microondas, los docentes y el personal de laboratorio propusieron la revisión funcional de las partes con las que se contaban, con el fin de determinar si a pesar de la diferencias de marca de los elementos que quedaban, había posibilidad de conformar nuevamente un equipo generador y transmisor de microondas. Durante la revisión se encontró una fuente de microondas marca Phywe®, una par de guías de onda marca Heathkit® y unos Klystron 723 A/B, elementos que estaban en desuso y en mal estado.

Por lo anterior el presente documento expone entre otras cosas el proceso llevado a cabo para acoplar un equipo generador y transmisor de microondas, a partir de los componentes hallados, de manera que éstos fueran nuevamente funcionales y usados dentro de los talleres y laboratorios de microondas de la Universidad Pedagógica Nacional. Los pasos que se tuvieron en cuenta posteriores al primer diagnóstico, contemplan en primera instancia el estudio y análisis de cada componente tanto electrónico como estructural, con el fin de verificar si estos requerían de cambio o ajuste. Posterior al anterior proceso, se toman la fuente y las guías de onda reparadas y se acoplan con un oscilador de tubo de vacío para que este genere las microondas.

Adicionalmente este proyecto contempla la elaboración de guías de práctica y material de laboratorio para el área de sistemas de comunicaciones de la

Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional así como los manuales de uso del equipo generador y transmisor de microondas que permitirán la manipulación nuevamente de éste. Para esto se han incluido experimentos sencillos que pueden realizarse con una instrumentación con la cual cuenta la Universidad y que han sido diseñados por la compañía que fabricó el equipo (Phywe®) y que permiten ilustrar algunos conceptos importantes sobre la teoría de las ondas. También se proponen experimentos un poco más complejos que hacen referencia a la transmisión y propagación de señales electromagnéticas.

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento muestra el proceso reparación de un equipo generador y transmisor de microondas y su posterior articulación con diferentes elementos utilizados en el proceso de transmisión de microondas, partiendo de la necesidad del proceso experimental que debe estar presente en algunas áreas específicas en la formación de Licenciados en Electrónica, como el caso de los sistemas de telecomunicaciones y que se busca alcanzar mediante el diseño de guías de laboratorio que integren elementos vistos en el desarrollo del programa.

Este documento abarca tres campos, el primero realiza una mirada teórica de los fundamentos físicos-electrónicos tenidos en cuenta para el desarrollo del proyecto. El segundo campo muestra el proceso de reparación y articulación del equipo generador de microondas; y el tercero enmarca el diseño de guías de laboratorio para el área de telecomunicaciones para el programa de Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional.

El trabajo está dividido en tres capítulos. FUNDAMENTOS TEÓRICOS, éste, recopila la información de los fundamentos físicos (ondas), de instrumentación (parte electrónica de los instrumentos adjuntos al generador y transmisor de microondas) y hace una mirada al funcionamiento específico de la fuente generadora de microondas Phywe® y a las guías de onda marca Heathkit®. En segunda instancia, REPARACIÓN Y ARTICULACIÓN DEL EQUIPO GENERADOR Y TRANSMISOR DE MICROONDAS, da un informe de la metodología y el proceso llevado a cabo para acoplar un equipo generador y transmisor de microondas, a partir de los componentes hallados, de manera que estos fueran nuevamente funcionales. Finalmente, DISEÑO Y DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO, contempla la elaboración de guías prácticas y material de laboratorio implementadas con el equipo generador de microondas ya reparado, para el área de sistemas de comunicaciones de la Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional, así como los manuales de uso del equipo generador y transmisor de microondas.

Se espera como uno de los resultados de este proyecto aportar a la necesidad sentida de la facultad de Ciencia y Tecnología frente a la carencia de equipos, manuales y guías de laboratorio que sirvan a los estudiantes y profesores en los cuales se pueda practicar y corroborar elementos teóricos que faciliten y aporten a su formación, específicamente en el trabajo de ondas.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Universidad Pedagógica Nacional, específicamente en el programa de Licenciatura en Electrónica, en la fase de profundización del plan de estudios se ubica el área de Comunicaciones; compuesta por tres espacios académicos que por su carácter y enfoque buscan ser líneas integradoras de saberes. La finalidad del trabajo en estos espacios es retomar algunos conceptos desarrollados en asignaturas de la fase de fundamentación, por ejemplo el análisis de circuitos, el diseño electrónico, diseño digital, física, matemáticas entre otras, para ser focalizados y empleados acorde con el contexto del área en mención. Actualmente las asignaturas del área se desarrollan en su mayoría a través de elementos de contenido teórico, en las cuales no se incluyen sesiones de carácter experimental, por tal razón el proceso educativo puede quedar inconcluso, porque carece de elementos comprobatorios de su propia teoría, y para la construcción de explicaciones se hace necesario relacionar los elementos citados en vista que: “desde la perspectiva hipotético-deductiva, el experimento es un medio para validar el conocimiento que se tiene de los fenómenos físicos y, desde la perspectiva inductivista, es la base para la elaboración del conocimiento sobre los mismos” (Malagón, Ayala, & Sandoval, 2011, pág. 19) porque “es posible afirmar que la experiencia y el experimento juegan un papel muy importante en los procesos de formalización y matematización de los fenómenos físicos” (Ayala, Romero, Malagón, Rodríguez, Aguilar, & Marina, 2008).

La formación recibida en el programa de Licenciatura en Electrónica obliga a acercarse a conceptos referentes a la transmisión de ondas, propagación de ondas, modulación y demodulación de señales, entre otros, y éstos fueron abordados únicamente de manera teórica. En vista que estos temas son

relevantes dentro de la formación profesional, es importante tener un nivel de profundización significativo a este tema en particular.

Por otro lado, el programa de Licenciatura en Física del Departamento de Física de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional, hace algunos años contaba con varios equipos para realizar experimentos con ondas, de marcas como Phywe® y Heathkit®, estos equipos tenían una conformación similar respecto a sus componentes generales los cuales estaban conformados esencialmente por cuatro módulos: módulo emisor o fuente generadora de microondas, una guía de onda emisora con klystron y una guía de onda receptora. Este tipo de equipos permitían realizar prácticas relacionadas con las propiedades de propagación de ondas tales como difracción, refracción y polarización, entre otras.

Debido al paso del tiempo y al uso, estos equipos se encontraban en desuso, estaban desarmados, desarticulados, les faltaban componentes y presentaban múltiples averías en su sistema eléctrico y de alimentación, por ejemplo, el equipo Phywe®, originalmente contiene los siguientes elementos: guías de onda receptora (11740.02), guía de onda emisora con klystron (11740.01), klystron (06864.00) y fuente de alimentación (11740.93); de los cuales solamente se encontró la fuente de alimentación de referencia 11740.93; la cual se encontró inoperante y con fallas en el sistema electrónico. Por otro lado el equipo Heathkit®, cuya composición original estaba conformada por: una fuente generadora de microondas (Power Suply IP-32), un par de guías de onda, una emisora y otra receptora y un Klystron 723 A/B; se encontraron las guías de onda y un Klystron las cuales no se acoplan a la fuente generadora de microondas Phywe®. Por lo anterior la puesta en marcha y articulación de los equipos requirió mucho más que un simple mantenimiento.

A pesar de que se cuente con los equipos, se tiene un alto grado de abandono y desuso lo que ocasiona que terminen dándose de baja por falta de repuestos u obsolescencia. De otro lado, y quizás como una de las principales causales de tal desuso, se encuentra la desinformación y ausencia de guías que faciliten la

manipulación y el aprovechamiento al máximo del equipo y las posibles aplicaciones y configuraciones del mismo.

Frente a los anteriores problemas expuestos se hace necesario realizar un trabajo inter-departamental (licenciatura en electrónica y licenciatura en física), con el fin de poner nuevamente en funcionamiento equipos de laboratorio que satisfagan las necesidades de experimentación con ondas en ambos departamentos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En múltiples teorías del aprendizaje se toma la experiencia como base del conocimiento y apropiación de los saberes, por ejemplo en el constructivismo las personas aprenden de modo significativo cuando construyen sus propios saberes, partiendo de los conocimientos previos que poseen (Doménech, 1999), es decir, que más que extraer el conocimiento de la realidad solo se adquiere en la medida que se construye, lo que conlleva a un proceso interno de generación de ideas y la realización de ensayos para constatarla, en vista que en el enfoque constructivista del aprendizaje, como señala Doménech (1999, pág.120) “todo el conocimiento se construye por el sujeto cuando interacciona con el medio y trata de comprenderlo, y es adquirido no por la interiorización de un significado exterior ya dado, sino por la construcción desde dentro de representaciones e interpretaciones adecuadas” ya que solo “con la observación sistemática y desapasionada de los fenómenos de la realidad se podrá permitir acceder al conocimiento” (Porlán, 1997).

Por lo anterior la importancia del presente proyecto radica en la reparación e integración de componentes que permitirán por ejemplo: la experimentación con ondas electromagnéticas en el programa de Licenciatura en Electrónica; ya que brinda herramientas útiles para el desarrollo de laboratorios experimentales para el área de comunicaciones y de física moderna.

El disponer de un equipo en funcionamiento beneficiará a los estudiantes de la Universidad, al programa de Licenciatura en Electrónica y Licenciatura en Física, promoverá el aprendizaje favoreciendo la interacción con la práctica de laboratorio en vista que: "la actividad experimental ayuda a la construcción o ampliación de

una base fenomenológica o entramado de hechos de observación que serían estructurados a partir de una cierta “teoría” (Malagón, Ayala, & Sandoval, 2011, pág. 140).

Por otro lado, como se ha nombrado anteriormente, estos laboratorios y este trabajo de grado se hacen a partir de equipos que han sido recuperados y en proceso de reparación, equipos que estaban en desuso y a punto de ser dados de baja en el programa de Licenciatura en Física, lo que es de suma importancia porque se tiene la posibilidad de devolverles la funcionalidad a los equipos anteriormente nombrados a pesar de ser de marcas diferentes. También le brinda la oportunidad a estudiantes del Departamento de Ciencia y Tecnología, en la Licenciatura en Electrónica de realizar actividades prácticas que refuercen los contenidos teóricos y para los estudiantes de la Licenciatura en Física, les permitirá realizar experimentos y laboratorios sobre los conceptos de las ondas, propiedades de las ondas, entre otras, experimentos y laboratorios que ya habían sido diseñados por la compañía fabricante del generador de microondas y por trabajos de grado realizados en la universidad.

Además, permitirá el trabajo en el tema particular, promover la investigación y el trabajo interdisciplinar, complementar los estudios sobre la propagación de ondas y temas como líneas de transmisión, guías de onda, antenas y modulación, entre otros, abordados en el programa de Licenciatura en Electrónica y retomados con otro enfoque en la Licenciatura en Física.

Finalmente y en vista que estos temas son relevantes dentro de la formación profesional es pertinente tener un nivel de profundización significativo a este tema en particular, siendo un área de interés en el equipo de trabajo y convencidos que la interacción con el equipo, como fuente e integrador de conocimientos, permitirá afianzar los saberes en la actividad profesional ya que serán de gran importancia, incluso en la intención de realizar estudios postgraduales en el particular y líneas de investigación que pueden vincular al programa y a otros departamentos.

1.3 DELIMITACIÓN

De acuerdo con el panorama anteriormente expuesto, se ha revisado el estado del equipo, se identificaron los daños del mismo y se adelantaron los ajustes necesarios para su óptimo funcionamiento, lo que permitió:

- Ajustar y reparar el equipo generador de microondas, la sustitución de piezas averiadas, la reparación de algunas conexiones internas, la sustitución de un conector hembra por un conector alternativo y la sustitución del conector macho que conecta la guía de onda emisora con la fuente (ver capítulo 2). En cuanto a las guías de onda se realizó la fabricación de la base de la guía de onda.
- Implementar guías de laboratorio del tema de propagación de ondas desarrolladas por el grupo de investigación: “Enseñanza de las Ciencias como actividad de construcciones de explicaciones de fenómenos particulares”¹, y que pertenecen al programa de Licenciatura en Física, con el objetivo de verificar que el equipo en cuestión haya quedado en óptimo funcionamiento.
- Diseñar guías de laboratorio sobre los conceptos de modulación y demodulación de señales para el área de comunicaciones del programa de Licenciatura en Electrónica, que toman como partida trabajos y experiencias realizadas en el tema de propagación de ondas por el programa de Licenciatura en Física relacionados en: trabajos de grado y documentos desarrollados por el grupo de Enseñanza de las Ciencias como actividad de construcciones de explicaciones de fenómenos particulares.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos trazados para este proyecto son:

¹ Dirigido por el Licenciado Francisco Malagón, Coordinador de Maestría del Departamento de Física.

1.4.1 Objetivo General

Diseñar guías de laboratorio en el tema de propagación de señales basado en la teoría de modulación y demodulación de señales para el área de comunicaciones empleando un equipo transmisor de microondas².

1.4.2 Objetivos Específicos

Armar un equipo transmisor y generador de microondas con Klystron a partir de equipos que se encontraban en desuso y desarticulados en el laboratorio de física de la carrera de Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Diseñar guías de laboratorio que permitan visibilizar el fenómeno de propagación de ondas (modulación y demodulación) para el área de comunicaciones.

1.5 ANTECEDENTES

Para el desarrollo del presente proyecto, se tuvieron en cuenta trabajos de grado realizados en la Universidad Pedagógica Nacional; específicamente proyectos que hubieran trabajado o que incluyeran prácticas de laboratorio, guías relacionadas con microondas y equipos que permitieran realizar este tipo de prácticas. Además se realizó una búsqueda a nivel local que buscaba saber que universidades habían trabajado o trabajan con equipos transmisores y generadores de microondas similares o iguales a los que se relacionan en el presente proyecto. La búsqueda también incluyó empresas que comercializan con dispositivos generadores y transmisores de microondas para fines educativos, para determinar el estado actual de los equipos encontrados en cuanto a la obtención de piezas o repuestos.

De acuerdo con las consultas realizadas se encontró un proyecto de grado en la Universidad Pedagógica Nacional, titulado: “Propuesta fenomenológica para la enseñanza de las ondas electromagnéticas analizado desde los trabajos de Heinrich Hertz”, publicado en el año 2012; el trabajo describe montajes

² Articulado a partir varias piezas y equipos que se encontraban en desuso en la Universidad Pedagógica Nacional: fuente de alimentación Phywe® (11740.93), guía de onda con klystron y guía de onda receptora marca Heathkit® y Klystron 723 A/B.

experimentales para la construcción del concepto de onda electromagnética y propone el uso del equipo “transmisor de microondas Phywe®” para dicho propósito, este documento en mención presenta guías de laboratorio para evidenciar los fenómenos de las ondas electromagnéticas, sin embargo las guías propuestas no pudieron ser ejecutadas porque tuvieron inconvenientes con la conexión del klystron, con la fuente de alimentación, las guías de onda y los manuales técnicos. En dicho trabajo de grado la estudiante que lo realizó hace la siguiente recomendación: “dejo como invitación a efectuar dichos experimentos de las guías de laboratorio, pues en la Universidad Pedagógica Nacional en el departamento de física los instrumentos están completos, faltaría buscar los mecanismos necesarios para hacer la adaptación en la conexión de la fuente de alimentación y guía de onda transmisora con klystron” (Alfonso, 2012). A pesar de que en el trabajo citado se nombra que los instrumentos están completos, al realizar una búsqueda detallada se determina que con lo que se cuenta son partes de diferentes equipos³, y además, para poner a funcionar los equipos no solamente el problema se encuentra en la interconexión del Klystron, sino también en la parte electrónica de los respectivos instrumentos.

Por otro lado se realizó una búsqueda en universidades locales con el fin de determinar si entre los equipos que tienen las diferentes facultades de física y de ingeniería, cuentan con instrumentos similares o iguales a los que conciernen en este proyecto y para establecer contactos que permitieran adelantar pruebas referentes al funcionamiento de los equipos, por ejemplo se realizaron búsquedas en las siguientes universidades: Universidad Nacional de Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas y en la Universidad de los Andes; al adelantar contactos con diferentes grupos que trabajan el tema de las microondas, se halló que en dichas instituciones se trabajan con equipos similares o parecidos al que se acopló, en cuanto a su estructura, es decir, fuente, acelerador de electrones,

³ Fuente de alimentación Phywe® (11740.93), guía de onda con klystron y guía de onda receptora marca Heathkit® y Klystron 723 A/B.

guías de onda y antena. Su diferencia yace en la modernidad, es decir los equipos con los que se trabajan dichos temas no superan los 5 años de uso.

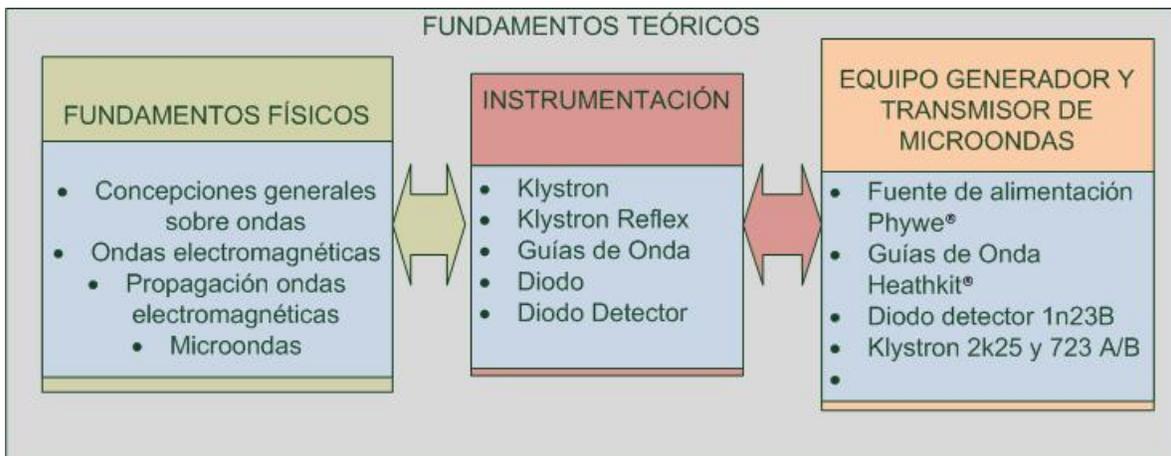
Por otro lado también se realizó una búsqueda a través de la Internet, se encontró que la Universidad de Cauca cuenta con cuatro plataformas tecnológicas que son usadas por estudiantes y docentes para fortalecer los procesos educativos que se producen al interior de la institución. En una de estas plataformas(Cauca, 2013) se encuentra diferentes cursos del departamento de física los cuales poseen guías de laboratorio correspondientes a Difracción, Polarización e interferencia de Microondas utilizando equipos transmisores de microondas Phywe® similares a los utilizados en el presente proyecto.

En cuanto a las empresas que comercializan y trabajan con equipos relacionados con las microondas se encontraron dos, la sucursal de Phywe® para Colombia y una empresa llamada B3, estas empresas realizan visitas técnicas, de asesoramiento y venta de productos de laboratorio con fines educativos. Por su parte la empresa Phywe ofrece a sus clientes guías de laboratorios con ejemplos básicos con sus equipos enfatizándolos en el área fundamental de trabajo de los mismos. Estas guías están acompañadas de capacitación en el manejo del equipo, en el Anexo A se muestra una cotización realizada para saber el costo de Klystron específico para la fuente Phywe®.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación se harán explícitos los elementos teóricos empleados en el desarrollo del proyecto, es decir, los elementos utilizados habitualmente en los laboratorios sobre microondas, estos elementos requieren de un fuerte fundamento físico matemático que por la naturaleza del presente proyecto se abordaran de manera general. Para el estudio de las microondas se requieren también de elementos físicos, electrónicos, de instrumentación, entre otros, elementos que se concatenan y que hacen parte o están de manera intrínseca en el equipo generador, transmisor y receptor de microondas. Por lo anterior el soporte teórico-conceptual del proyecto esta dividió en cuatro partes las cuales se consideraron fundamentales para el desarrollo de las guías de laboratorio y que se muestran en la figura 1, a modo de resumen.

Figura 1. Resumen de los fundamentos teóricos.



En el primer bloque de la figura 1, se observa el primer elemento el cual tiene que ver con los fundamentos teóricos de las ondas, principalmente las ondas electromagnéticas, se dará una mirada a la propagación de las ondas electromagnéticas y a la relación entre ondas electromagnéticas y las microondas, su fundamentación y un poco sobre sus aplicaciones.

Por otro lado, el segundo bloque de la figura 1, se titula instrumentación, éste se encarga de la parte electrónica de todos los instrumentos adjuntos al generador y transmisor de microondas; describe el funcionamiento de un Klystron, un Klystron

Reflex y diodo detector de envolvente, describe su funcionamiento y sus características.

Finalmente la última parte o el tercer bloque (figura 1) da una mirada al funcionamiento del equipo, describe, por ejemplo, los voltajes de alimentación del klystron, las conexiones entre el tubo transmisor de microondas y la fuente de alimentación, la conexión entre la guía de onda y el klystron, entre otras.

2.1 FUNDAMENTOS FÍSICOS

2.1.1 Concepciones Generales Sobre las Ondas

Antes de abordar algunos conceptos y elementos presentes en las ondas electromagnéticas vale la pena revisar los elementos más generales de las ondas, ya que es imprescindible para el proyecto mostrar el origen y la fundamentación de éstas, por esta razón se requiere un estudio previo sobre este tema que permite generar una visión global del tema, es decir, mostrar elementos y conceptos pertinentes que a manera general describen las concepciones de las ondas hasta llegar a las ondas electromagnéticas.

A pesar de que la mayoría de libros de física usan como preámbulo concepciones sobre el movimiento armónico, oscilaciones y sonido para hablar de ondas; desde una concepción más general, las ondas se definirían como una magnitud que se propaga en una dirección a determinada velocidad (Tipler & Mosca, 2007). Esta definición establece que una onda es una perturbación que se propaga a través de un material o en el vacío, es decir, que la onda es: “el movimiento de una perturbación” (Serway & Faughn, 2010, pág. 153). Dicha perturbación consiste en variaciones periódicas u oscilatorias, que se propaga a partir de una vibración originada en determinado punto, por ejemplo las ondas mecánicas cuya propagación requiere de una fuente que perturbe, y un medio al que la fuente perturbe y una conexión física por medio de las cuales la fuente y el medio interactúen.

Existe una clasificación general de las ondas según su dirección de propagación, los cuales se dividen en dos grupos, el primero son las ondas transversales, en el cual las ondas se mueven perpendicularmente al movimiento de la onda en cada instante de tiempo; a estas pertenecen las cuerdas sujetadas de un extremo, que es el ejemplo más típico y sencillo de explicar en este tipo de ondas, además de estos se puede clasificar como ondas transversales a las ondas electromagnéticas y a las ondas de radio que son las de interés para el desarrollo del proyecto. Por otro lado se tienen las ondas longitudinales cuyos elementos presentes en el medio experimentan desplazamientos paralelos a la dirección del movimiento de las ondas, cuyo ejemplo más típico se encuentra en las ondas sonoras ya que en el movimiento que producen las ondas sonoras que se mueven, a su vez transportan la energía que produjo la onda.

Adjunto a lo anterior vale la pena realizar una revisión teórica hacia conceptos elementales en las ondas y que van a ser componentes que caractericen cada tipo de onda: el periodo, la frecuencia, la amplitud de la onda y la longitud de onda.

Por ejemplo se definirá el periodo, como el tiempo que le toma a una partícula moverse a través de un ciclo completo; la frecuencia como una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo, en cuanto a la amplitud, como a la medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódicamente en el tiempo, y finalmente a la longitud de onda (λ) como la distancia a lo largo de la dirección de propagación entre puntos correspondientes de la onda o como la distancia que existe entre los puntos máximos de una onda.

Con las características y nociones básicas sobre las diferentes concepciones de ondas anotadas anteriormente y a pesar de que son generalidades de las ondas, se parte de la base de que las frecuencias bajas y altas no poseen diferencias cualitativas entre ellas, es decir, una onda de baja frecuencia tiene cualidades como periodo, amplitud y longitud de onda (λ), cualidades que también tienen y poseen las ondas de muy alta frecuencia, por ejemplo las microondas, es

por lo anterior que a continuación se expondrán algunas definiciones, y conceptos de las ondas electromagnéticas.

2.1.2 Ondas Electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas son un concepto abstracto, es decir un concepto no concreto, de difícil comprensión y que no tiene realidad propia, ya que es algo que rodea a las personas, que en gran parte no se puede ver, ni tocar, ni sentir, a pesar de que siempre está ahí y siempre está siendo usado y sin ellas el mundo como se conoce en la actualidad no podría existir, para tratar de entender dicho concepto se empieza con la siguiente pregunta: ¿qué pasa cuando una onda en forma de corriente alterna alimenta a un circuito resistivo y capacitivo? Resumiendo, la respuesta es, que se aplica la ley de Ohm para corriente alterna, en el cual aparece una impedancia Z que sustituye el componente resistivo del circuito y se realizaría el respectivo análisis como si fuera corriente continua. Pero, ¿qué pasa si la corriente alterna que alimenta el circuito aumenta en su componente de frecuencia?

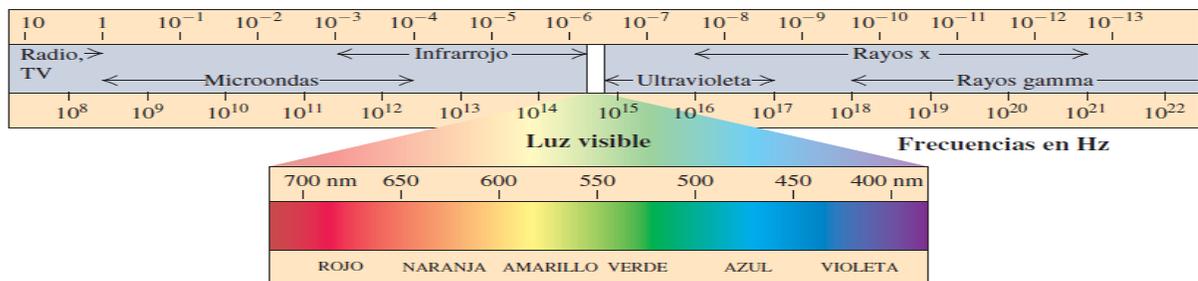
Esta respuesta no llegó hasta que la electricidad y el magnetismo se unificaron en la disciplina del electromagnetismo cuando el físico-matemático James Maxwell, elaboró unas ecuaciones que explicaban teóricamente la existencia de la propagación por ondas de energía electromagnéticas, en ellas también pronunciaba la velocidad de propagación en el vacío y que resultaba ser la misma de la velocidad de la luz, es decir, estas ecuaciones muestran que un campo “magnético variable en el tiempo actúa como fuente en un campo eléctrico, y que un campo eléctrico que varía con el tiempo genera un campo magnético... Estos campos se sostienen uno al otro y forman una onda electromagnética que se propaga a través del espacio” (Freedman & Zemansky, 2009).

Por ejemplo la luz emitida por un bombillo es una onda electromagnética, como también lo son las ondas producidas por una determinada fuente, como lo son las ondas de radio y televisión, las microondas y los rayos x, entre otros. Las ondas electromagnéticas serían entonces funciones sinusoidales en el tiempo con

frecuencia y longitud de onda determinadas, las cuales difieren unas de otras sólo en la frecuencia y longitud de onda, como se puede observar en la figura 2, correspondiente al espectro electromagnético.

El espectro electromagnético (figura 2) cubre un amplio intervalo que usa una escala logarítmica para indicar bandas de frecuencia usadas para diferentes aplicaciones, en ella se incluyen las medidas de longitudes de onda y frecuencia de las ondas electromagnéticas, este espectro representa las ondas electromagnéticas con frecuencias desde 1 hasta 10^{24} Hercios, recordar que los humanos solo podemos detectar una parte de dicho espectro con el sentido de la vista, este intervalo se denomina Luz Visible. (Freedman & Zemansky, 2009).

Figura 2. Espectro electromagnético.



Fuente:(Freedman & Zemansky, 2009, pág. 1095)

Para el caso del generador Phywe®, se trabaja en el rango de las microondas, es decir de 10^9 hasta 10^{12} Hz del espectro, como se puede observar en la figura 2, está muy lejos del rango de la luz visible, esta información será ampliada en un posterior numeral.

2.1.3 Propagación de Ondas Electromagnéticas

Partiendo de la base que las ondas son un medio de transportar energía o información; las ondas electromagnéticas pueden ser ondas guiadas o no guiadas, el primer caso hace referencia a estructuras que guían la onda y la segunda hace referencia a propagaciones libre de las ondas. Además este tipo de ondas tienen tres características fundamentales; se desplazan a gran velocidad, adoptan propiedades de las ondas e irradian hacia afuera desde una fuente sin la ayuda de

ningún vehículo físico discernible, cuya energía es transportada por un campo eléctrico o campo magnético, asociados a la onda.

Para este punto de la propagación de ondas se tiene en cuenta el transporte de energía, es decir, no importa si se está hablando de ondas mecánicas u ondas electromagnéticas porque se involucra el paso de energía a través de un medio continuo al que pertenecen dos puntos, para el cual se presenta una serie de perturbaciones en determinado elemento transmisor y que viaja a través de un medio durante determinado tiempo, y está caracterizada por propiedades del medio y de la perturbación; y que viaja con determinada velocidad de propagación hasta llegar a un elemento receptor (Burbano, Burbano, & Muñoz, 2003).

Además de la anterior clasificación, existe otra clasificación que tiene que ver con la propagación de las ondas y la frecuencia a las que se propagan, cuando se denotan ondas a baja frecuencia se habla acerca de corrientes y tensiones en líneas de transmisión que guían la energía como por ejemplo el cable coaxial, de otro lado cuando se trabaja a altas frecuencias las cosas cambian, porque se pueden transmitir por medio de guías metálicas huecas denominadas guías de onda, este estudio se hace por medio de campos asociados a la corriente y la tensión de las ondas(ver sección 2.3.3).

2.1.4 Microondas

Las ondas electromagnéticas de alta frecuencia cuentan con un variado número de aplicaciones y en diversos campos los cuales aprovechan su amplio espectro electromagnético para transmitir información. “Microondas es un término descriptivo que se utiliza para identificar ondas electromagnéticas en el espectro de frecuencias comprendido entre 1 GHz y 30 GHz, que corresponden a longitudes de onda entre 1 mm y 30 cm... Estas ondas presentan algunas características interesantes que no ocurren en otros sectores del espectro electromagnético y que las hacen particularmente adecuadas para diversas aplicaciones útiles” (Gupta, 1993)

Ya que las longitudes de onda son demasiado pequeñas en relación con el tamaño de los equipos que se usan para generarlas y como la longitud de onda es reducida, la fase varía rápidamente con la distancia, hace que las técnicas de análisis, de diseño y de mediciones varíen, en relación con las ondas a frecuencias bajas.

Las microondas son generadas de dos maneras: a partir de dispositivos de estado sólido y a partir de dispositivos basados en tubos de vacío. Los primeros están basados en semiconductores por ejemplo de silicio. Los dispositivos basados en tubos de vacío operan bajo el movimiento impulsado de los electrones en un compartimiento al vacío que se influencia por campos eléctricos o magnéticos, entre estos se encuentran los Klystron y magnetrones.

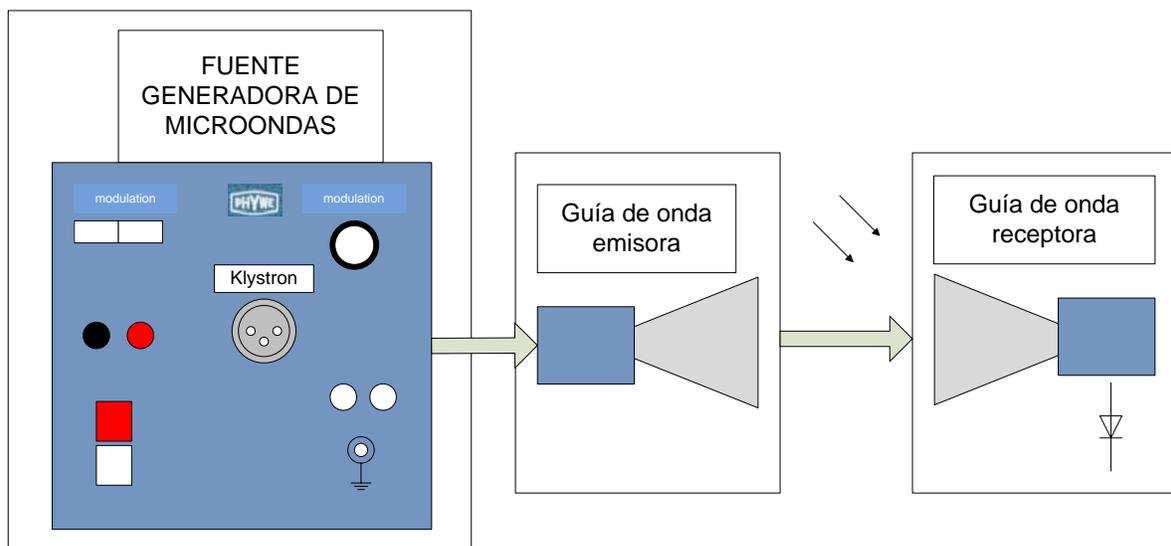
Son múltiples las tecnologías y aplicaciones que en la actualidad se basan en la teoría y en el estudio de las microondas, como por ejemplo en las telecomunicaciones las “microondas son usadas en radiodifusión, ya que estas pasan con facilidad a través de la atmósfera; en la televisión son usadas para transmitir señales desde localidades remotas... también es usada por los radares, para detectar el rango, velocidad y otras características de objetos remotos... dentro de los protocolos inalámbricos LAN, tales como Bluetooth y las especificaciones de Wi-Fi IEEE 802.11g” (Moreno, 2010, pág 11); es decir, la importancia de estas ondas radica en su amplio espectro, pero desafortunadamente, para poder desarrollar estas aplicaciones y en general para su estudio práctico se necesita de ciertos equipos que por la complejidad de sus materiales y diseños es de costo elevado.

2.2 INSTRUMENTACIÓN

En laboratorios de física moderna y específicamente en aquellos que se trabajan señales de alta frecuencia se evidencia la manipulación de algunos elementos utilizados eventualmente para general señales microondas. Los conceptos dados a continuación se deben tener en cuenta si se desean desarrollar montajes experimentales relacionados con estas señales ya que se deben poseer algunas

nociones sobre el funcionamiento de los mismos; y que están relacionados de manera directa con el equipo generador, transmisor y receptor de microondas cuyo esquema general se muestra en la figura 3, en el cual se aprecia el funcionamiento más básico de este equipo, partiendo de la fuente generadora de microondas cuyo objetivo es alimentar con determinados voltajes y corrientes al Klystron; sigue la guía de onda emisora, cuyo objetivo es emitir las ondas producidas en la fuente. Finalmente se tiene la guía de onda receptora, que recibe las ondas emitidas y a través de un diodo realiza un proceso de demodulación, esta información será ampliada en este capítulo.

Figura 3. Esquema general equipo generador, transmisor y receptor de microondas.



2.2.1 Klystron

Inventado en 1937 por los hermanos Varian y Russell, este dispositivo consta de: un tubo de vacío capaz de generar una señal de microondas utilizando el principio de modulación de velocidad, es muy común encontrarlo en laboratorios como fuente de baja potencia y en el intervalo entre 1 y 25 GHz (Miranda, Sebastián, Sierra, & Margineda, 2002).

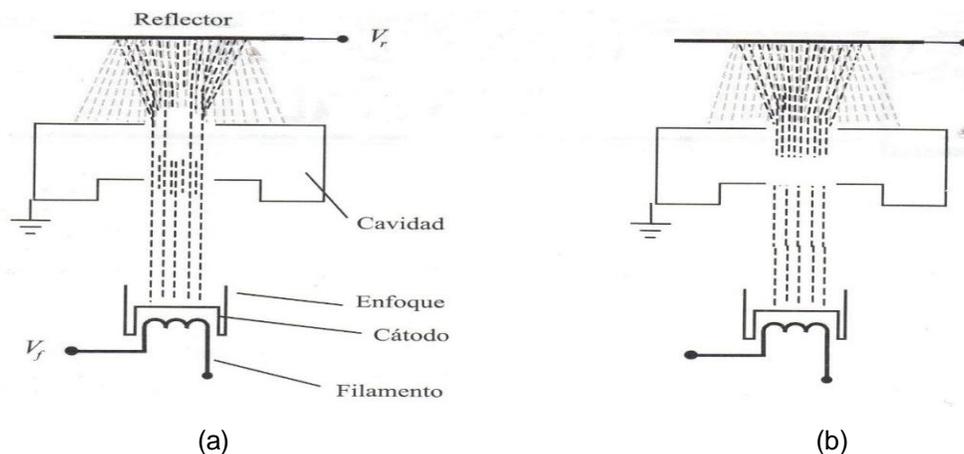
Los klystron en microondas ha servido principalmente como generadores, los cuales se pueden clasificar en dos: Klystron de dos cavidades y Klystron réflex,

éste último se focalizará en vista que es el empleado en el proyecto. El klystron en esencia consta de dos partes, un resonador de entrada y un resonador de salida, y funcionan bajo el principio de los semiconductores; ya que las cargas se agrupan periódicamente al pasar entre las cavidades nombradas anteriormente, después un haz electrónico emitido por el cátodo se dirige hacia el ánodo acelerado por un potencial de corriente continua. Por otro lado con la corriente alterna en el semi ciclo positivo se aceleran las cargas para que se acumulen en la primera de las cavidades, mientras el haz origina pulsos de corriente de igual frecuencia a la señal de referencia de la primera cavidad. Al entrar al resonador de salida los electrones entregan energía siempre y cuando lleguen con determinado ángulo de fase los cuales resultan frenados por él, posteriormente entran al resonador de salida mientras los electrones son colectados por el ánodo (Connor, 1976)

2.2.2 Klystron Reflex

Este tipo de Klystron sólo contiene una cavidad. El haz de electrones la atraviesa dos veces: en la primera se modula con la señal; se refleja en un electrodo negativo llamado reflector y regresa a la cavidad, como se observa el figura 4 (a) en la parte superior, después es ahí donde se extrae la señal; mientras el filamento se va calentando progresivamente y transmite dicho calor a las cavidades con el fin de mejorar el desplazamiento de las cargas. En la figura 4 se muestra el comportamiento del klystron réflex de la siguiente manera:

Figura 4. Comportamiento del klystron en relación a la modulación de velocidad.



Fuente: (Miranda, Sebastián, Sierra, & Margineda, 2002, pág. 114)

En cada medio ciclo la cavidad experimenta un cambio de polaridad a causa de la redistribución inducida por el empaquetamiento de electrones en donde después de varios ciclos se han agrupado los paquetes de la forma en que se observa en la figura 4 (b) en la parte de la cavidad, “cuando estos paquetes se aproximan al reflector que está a un voltaje negativo muy alto son repelidos de nuevo hacia la cavidad y llegan a esta en intervalos iguales al periodo de la oscilación de la cavidad... La oscilación más fuerte se produce cuando el tiempo de trabajo en la región resonador – reflectores igual a $n + 3/4$ ciclos de la frecuencia del resonador, siendo n un número entero incluido el cero.” (Miranda, Sebastián, Sierra, & Margineda, 2002).

2.2.3 Guías de Onda

Antes de entrar de lleno a los conceptos referentes a las guías de onda es bueno aclarar o especificar determinados conceptos relacionados con las antenas, ya que bajo este principio es que funcionan las guías de onda. Una antena es cualquier conductor de determinadas dimensiones comparables a la longitud de onda (λ) de una señal, el trabajo en esta área en particular busca tener u obtener mejores características de radiación de éstas. El entorno en que vivimos está rodeado de millones de ondas, que a pesar de que no las percibimos están ahí, ya que encontraron en el aire un agente que permite o no se opone a su paso y que son emitidas por antenas. Estas ondas se esparcen en determinados medios pero solamente son captadas por las antenas cuya longitud de onda coincida con las dimensiones de la antena emisora, produciendo un efecto resonador, lo que causa que puedan ser percibidas o capturadas. Las antenas se clasifican según su forma de radiación y según su geometría y/o construcción, en la tabla 1 se encuentra una clasificación detallada de las antenas. A partir de esta tabla se puede observar que las guías de onda forman parte de las antenas de abertura, que se clasifican según su geometría y/o construcción.

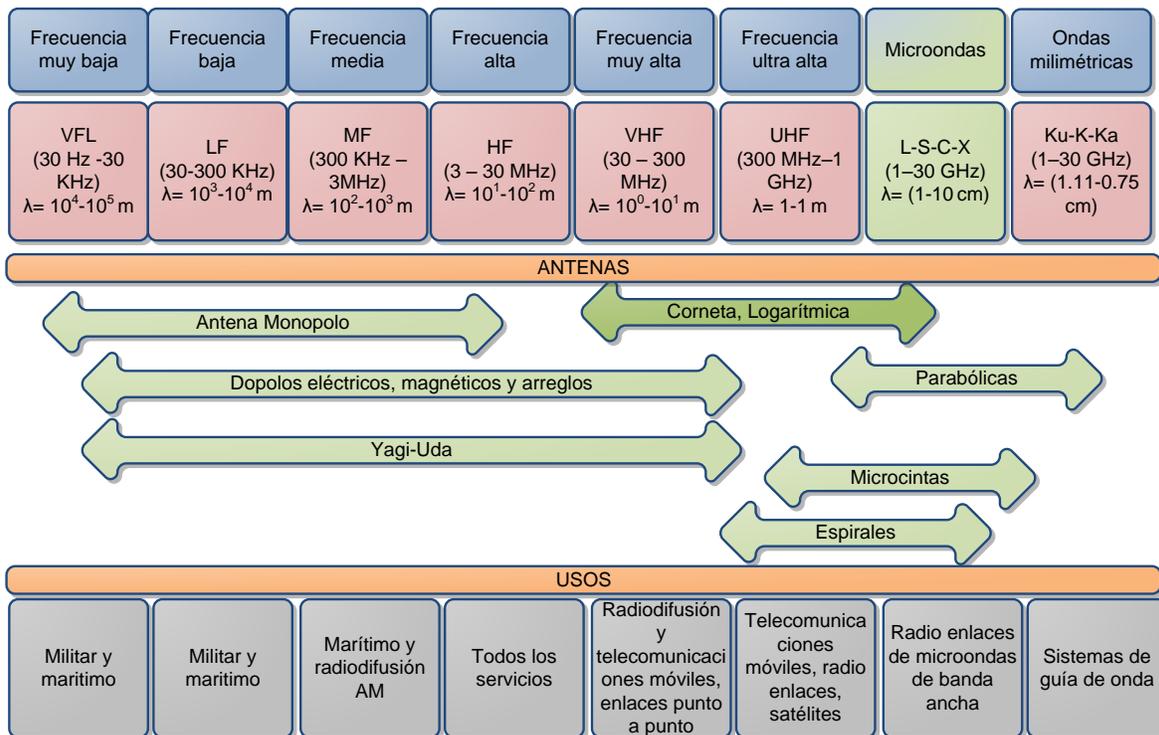
Tabla 1. Clasificación de las antenas.

	TIPO DE ANTENA	CARACTERÍSTICAS
Según su forma de radiación	Antenas omnidireccionales	Dipolos eléctricos y magnéticos (loops), antenas de parche
	Antenas direccionales	Yagi-Uda, reflectores parabólicos, helicoidales, arreglos dipolares.
	Antenas independientes de la frecuencia (de gran ancho de banda)	Logarítmicas, espirales, espirales cónicas.
	Antenas electrónicamente direccionales y adaptivas	Arreglos de antenas de fase controlada (AAFC), arreglos de antenas activas de fase controlada (AAAF). controlada (AAAF).
Según su geometría y/o construcción	Antenas delgadas	Dipolos eléctricos y magnéticos, logarítmica, Yagi-Uda, helicoidal, arreglo de dipolos
	Antenas de abertura	Guía de Onda, corneta , reflectores parabólicos e hiperbólicos.
	Antenas autodefinidas	Logarítmicas, espirales, espirales cónicas
	Antenas planares	Antenas de parche, espirales
	Antenas cuasi-ópticas	Aberturas, antenas de Fresnel

Fuente: (Hernández, 1998, pág. 13)

Las comisiones internacionales y nacionales se encargan de asignar el espectro de frecuencias según las necesidades mundiales y locales. La asignación de una frecuencia a cierta aplicación determinada depende de las características de propagación electromagnética en dicha banda así como de la disponibilidad (Hernández, 1998, pág. 14), En la tabla 2 se realiza un resumen de las asignación de frecuencias según el tipo de antenas, el uso y la designación estándar de las bandas de frecuencia. Recordar que para el caso del presente trabajo se trabaja en el rango de las microondas es decir, ondas electromagnéticas con frecuencias entre 1 GHz y 30 GHz, las cuales tienen una longitud de onda λ entre 1 cm y 10 cm y que tienen una designación como banda X.

Tabla 2. Asignación de frecuencias, antenas y uso.



Fuente: (Hernández, 1998)

La importancia de las ondas electromagnéticas radica en que por la naturaleza de estas ondas pueden propagarse a través del espacio o simplemente a través del aire, para facilitar la propagación de estas ondas se utilizan guías de onda que en esencia son tubos metálicos conductores a través de los cuales se propagan ondas de alta frecuencia.

Las guías de ondas proporcionan una alternativa a las líneas de transmisión para usarse en frecuencias de microondas. De hecho, “las guías de onda son superiores a las líneas de transmisión convencionales, en términos de la atenuación por unidad de longitud que experimenta la onda que se propaga a través de ella.” (Gupta, 1993). Es decir, para transmitir ondas electromagnéticas, para este caso microondas, se requieren de alternativas que no sean las líneas de transmisión comunes (coaxial), porque debido a las altas frecuencias éstas resultan inservibles para largas distancias.

Según (Connor, 1976) las guías de onda son tubos metálicos huecos de cobre, aluminio o bronce cuya sección transversal puede ser circular o rectangular, las cuales se utilizan dependiendo de la aplicación, por ejemplo, al no existir conductor central, la propagación se realiza por campo magnético y eléctrico, a través de una guía hueca que sirve para conducir una onda electromagnética. Cuyas secciones transversales son diseñadas para que las microondas se propaguen en su interior; a pesar de que en las guías de onda se propaga las ondas, ya que el área de sección transversal de una guía de onda tiene que ser del mismo grado que la longitud de onda de la señal que se está propagando. Estas guías no conducen corriente, sirven para encerrar la energía electromagnética ya que sus paredes lo que hacen es reflejar las ondas debido a su característica de conductor de electricidad. “Si la pared de la guía de onda es un buen conductor y muy delgado, fluye poca corriente en las paredes interiores y, en consecuencia, se disipa muy poca potencia”(Tomasi, 2003, pág. 411).

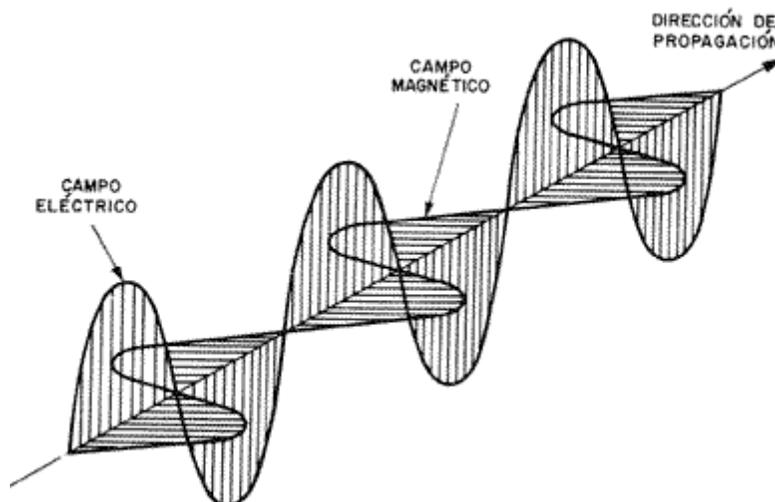
En resumen una guía de onda es paralela o análoga a un cable conductor, conceptualmente no se trabaja con referencias a voltajes y corrientes sino a electricidad y magnetismo. Las guías de onda son diseñadas a partir de longitud de onda que se quiera transmitir, por ejemplo, si se tiene una longitud de onda de 9 mm a 3 mm, se utiliza una guía de onda de cobre; para frecuencias de 3 a 10 cm se suele utilizar materiales como el latón, el aluminio o el cobre. Las dimensiones utilizadas en el diseño de las guías de onda también dependen de la longitud de onda de la señal que se quiera transmitir y se fabrican uniendo varias de estas guías normalizadas hasta alcanzar las dimensiones específicas de cada una. Estas medidas normalizadas encuentran en el Anexo B, en ellas se muestra la longitud y el peso utilizado en la fabricación y el diseño una guía de onda.

2.2.3.1 Transmisión por Guía de Onda

La transmisión a través de la guía de onda está caracterizada por tres hechos:

- Existe una frecuencia mínima por debajo de la cual una guía de onda no trasmite, esta se denomina frecuencia de corte y está directamente relacionada con el tamaño de la guía.
- Siempre existen comportamientos en la dirección de propagación de H (trasversal magnética) y de E (trasversal eléctrica)
- Para el caso de las ondas electromagnéticas que son las trabajadas en este proyecto, específicamente las ondas transversales, recordar que la dirección de desplazamiento es perpendicular a la dirección de propagación como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Propagación de señales (campo eléctrico y magnético).



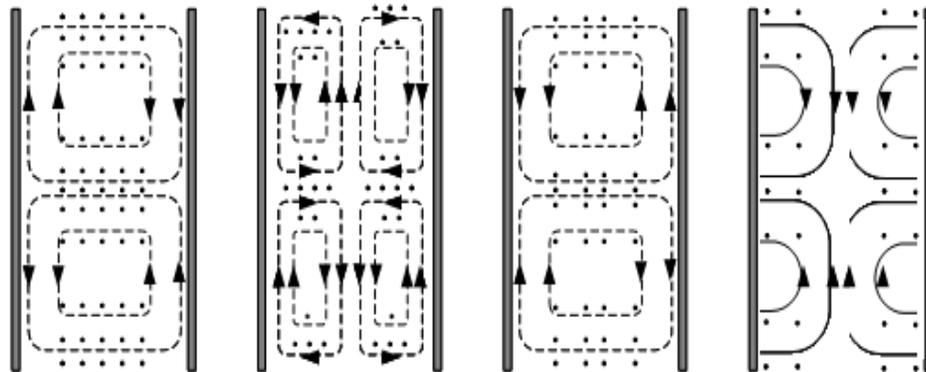
Fuente: (Tipler & Mosca, 2007)

Por otro lado para hablar sobre la transmisión se requiere hablar las soluciones a las ecuaciones de Maxwell sobre una línea de transmisión ya que en telecomunicaciones esto recibe el nombre de *modo*. Estos son los modos en que pueden propagarse los campos tanto eléctricos como magnéticos a los cuales se les asigna un valor según sus componentes longitudinales de sus campos. Por ejemplo los más comunes son los modos TEM que se propagan en un no conductor (dieléctrico) cuyos componentes E y H son nulos. También está el modo de propagación TE en el que se anula el componente transversal magnético H.

Finalmente se conoce el TM, en el que se anula el componente transversal eléctrico E.

Dependiendo de la geometría (rectangular, cilíndrica, circular) que se utilice en las guías de onda será la propagación y transmisión de las ondas, para el presente documento se trabaja con guías de onda rectangulares, este tipo de guías de onda son las más utilizadas ya que es adecuada para propagar señales de frecuencias elevadas, con longitudes de onda pequeñas. Las expresiones analíticas y matemáticas de los campos se encuentra en el Anexo C y en la figura 6 se observa el modo de propagación de guías de onda modo TE_{10} , TE_{20} , TE_{11} , TM_{11} , en las cuales el campo magnético corresponde a la línea discontinua y el campo eléctrico al campo eléctrico y cuyos subíndices corresponden al número de medias longitudes de onda de intensidad de campo magnético y eléctrico para cada par de paredes de las guías; el primer subíndice mide a lo largo del eje x y el segundo subíndice sobre el eje y.

Figura 6. Modo de propagación guía de onda rectangular.



Fuente:(Miranda, Sebastián, Sierra, & Margineda, 2002, pág. 63)

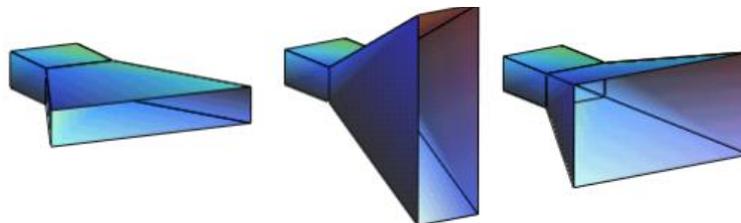
El tamaño de guías de onda se maneja dependiendo de la frecuencia de operación que se desea trabajar ya sea en laboratorios experimentales o en la práctica en general, estas se encuentran normalizadas según el rango de frecuencia fundamental, que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Rango fundamental frecuencias normalizadas.

Banda	GHz
S	2.60 a 3.95
J	5.30 a 8.20
X	8.20 a 12.4
P	12.4 a 18.0
K	18.0 a 26.5
R	26.5 a 40.0
Fuente: (Gómez, 1984, pág. 170)	

Según (Gómez, 1984, pág. 170) para la Banda X las dimensiones de la guía estándar son: $a = 2.286 \text{ cm}$ y $b = 1.016 \text{ cm}$, estando construidas generalmente en latón, donde a a la medida exterior de las guía de onda y b a la longitud interior. Como ya se nombró las guías de onda rectangulares se propagan en modo fundamental TE_{10} , y éstas se pueden abrir en el plano horizontal creando guías de onda tipo bocina de plano H; en el plano vertical formando guías tipo E; o en ambos planos simultáneamente formando guías de onda rectangulares tipo bocina piramidal, estos tipos de bocina se muestran en la figura 7, la que para el caso del proyecto es tipo piramidal.

Figura 7. Tipo de guías de onda según extensión. De izquierda a derecha: bocina de plano H, bocina de plano E y bocina piramidal.



Fuente: (Bataller & Noguiera, 2002)

Para verificar el procedimiento matemático y profundizar el tema puede remitirse a (Gómez, 1984), específicamente en el capítulo XIII y para las tablas estándar de la EIA (Electronic Industry Association), ver Anexo B.

2.3 EQUIPO GENERADOR Y TRANSMISOR DE MICROONDAS

Hasta el momento se ha realizado una revisión conceptual perteneciente a todos los elementos que de una u otra manera están inmersos en el desarrollo de un equipo capaz de generar y transmitir microondas, como se pudo observar estos elementos tienen adjuntos a estas unidades físicas, electrónicas, de instrumentación, entre otras, que una vez relacionados o unidos hacen parte del elemento macro que será lo que se abarque en este numeral, el equipo generador y transmisor de microondas.

Recordar que el equipo con el que cuenta la universidad, específicamente el Departamento de Física, para trabajar laboratorios experimentales con señales microondas está compuesto por elementos de diferentes fabricantes los cuales se encontraron de manera desarticulada, a continuación se hará una explicación de cada elemento.

2.3.1 Fuente de alimentación Phywe® 11740.93

Marca Phywe®, figura 11, referencia 11740.93. La fuente se utiliza para la investigación de las propiedades de las ondas electromagnéticas (tal como la reflexión, refracción, interferencia, polarización y difracción), esta fuente se complementa con dispositivos de transmisión (guía de onda emisora, klystron) y recepción (guía de onda receptora y diodo detector).

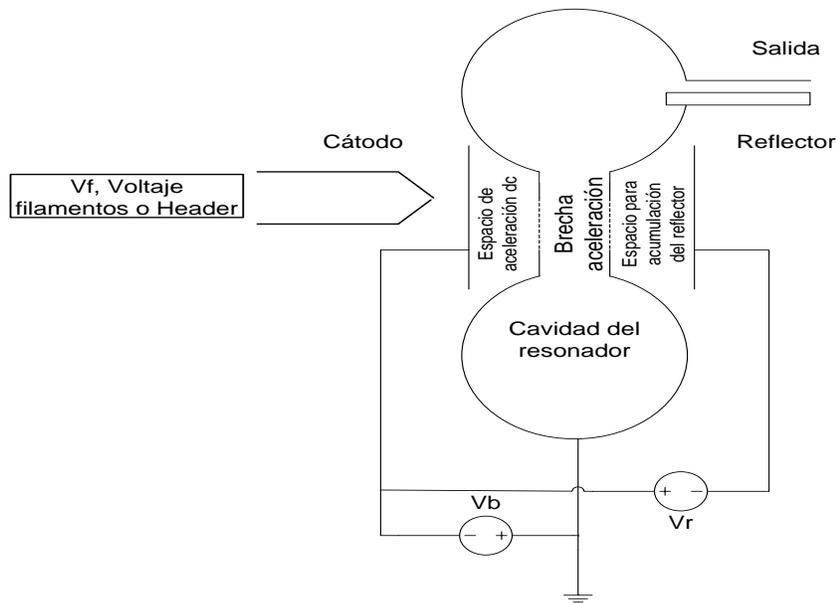
Si se comparara la fuente de alimentación del Klystron con una fuente ordinaria dc, se encontrarían unos cambios específicos debido a la operación de los Klystron, por ejemplo las características de operación deseables serían (Sisodia & Raghuvanshi, 2004, pág. 203):

- La alimentación debe ser estable y regulada en comparación con una fuente regular de bajas frecuencias. Porque con una pequeña variación en la alimentación puede causar una falla interna en el Klystron, lo que ocasionaría una transmisión de onda muy pequeña.
- Como la frecuencia del Klystron está en función del voltaje del reflector, está debe ser bien regulada.

- El tercer requerimiento para la fuente de alimentación del Klystron es que cumpla con los requerimientos determinados en la hoja de especificaciones del mismo.

Básicamente las fuentes de microondas para alimentar los Klystron requieren de tres elementos estos son: el voltaje para alimentar los filamentos o los header que sería el voltaje V_f , el voltaje del resonador V_b y el voltaje reflector V_r , las funciones de estos voltajes se muestran en la figura 8; donde se muestra un diagrama esquemático de un Klystron réflex.

Figura 8. Diagrama esquemático Klystron Reflex.



Para suplir la alimentación del klystron la fuente generadora de microondas tiene que proporcionar una serie de voltajes determinados para cada parte del klystron, para el caso del presente proyecto la fuente debe tener las siguientes características a la salida: el voltaje del resonador debe ser de 300 V a 25 mA , el voltaje del reflector debe ser variable entre $-100\text{ a } -200\text{ V}$ a $5\mu\text{A}$ y la tensión de los header o filamentos debe ser de 6.5 V *ac o dc*. Para poder suplir estos voltajes estas fuentes generalmente utilizan transformadores conectados en serie y paralelo dentro de un sistema en el que cada unidad secundaria genera una tensión continua de salida para suplir diferentes niveles de voltaje. Las

subunidades están conectadas en paralelo en sus puertos de entrada y en series en sus puertos de salida en la figura 9(a) se muestra un diagrama de la distribución del transformador y en la figura 9(b) el esquemático del transformador de la fuente Phywe, este tipo de fuentes utilizan transformadores con *conexiones de los arrollamientos en serie y en paralelo*, a través de los cuales se logra obtener varias tensiones a partir de conexiones aditivas, es decir, las bobinas de distintas tensiones nominales, pueden conectarse en serie, aditiva o sustractivamente. Esto hace aumentar el número de relaciones de transformaciones posibles en los transformadores de varios devanados lo que produce que se pueda realizar diferentes combinaciones de tensión capaz de suministrar corriente a los secundarios a partir de un primario (Kosow, 1993).

Figura 9. Diagrama del transformador de una fuente generadora de microondas.

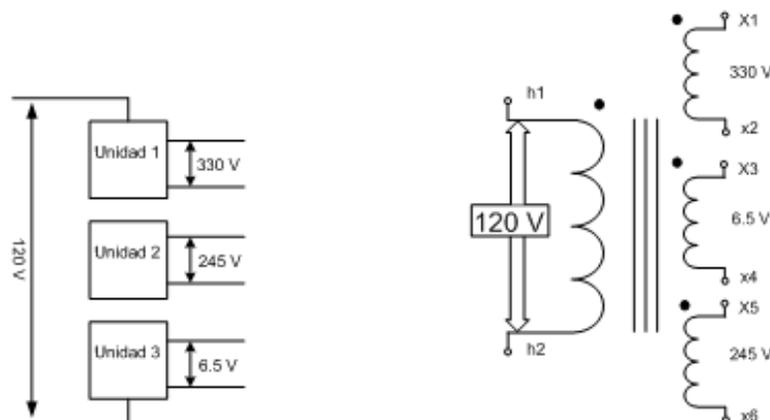
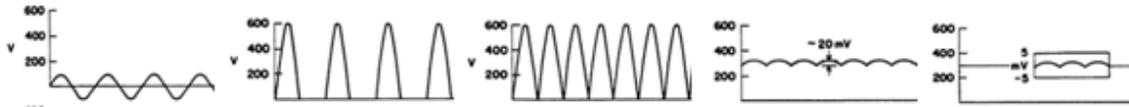


Figura 9(a). Distribución del transformador. Figura 9(b). Esquemático del transformador.

Posterior a la etapa de la transformación de voltajes, la fuente cuenta con una etapa de rectificación de las ondas para este fin utiliza un puente de diodos de referencia *LT IXYS 130 253 c 53* que realiza una rectificación de media onda y posterior a esta etapa realiza una etapa de filtrado mediante un condensador marca *Frako 50 – 50 μ F a 350/385 v*. Este condensador realiza la tarea de filtrado junto con una bobina para los voltajes de 330V y 245 V. En la figura 10 se muestra toda la etapa de regulación que realiza una fuente generadora de microondas, de izquierda a derecha se muestra: la entrada AC (corriente alterna), la rectificación

de media onda, la onda totalmente rectificadas, la onda filtrada y la regulación y en la figura 11 se observa una vista frontal de la fuente de alimentación Phywe® 11740.93.

Figura 10. Etapas de rectificación de las ondas en la fuente generadora de microondas.



Fuente: (Poole, 1996)

Figura 11. Fuente de alimentación Phywe® 11740.93.



2.3.2 Guías de onda Heathkit®

Las guías de onda están conformadas por dos elementos: guía de onda emisora y guía de onda receptora. La primera, está conformada por una cavidad rectangular dentro de la cual encaja el klystron (figura 12(a), imagen superior, parte azul) en ella logra salir la antena del klystron que es la que irradia las ondas. La parte gris que se observa en la figura 12(a) está compuesta por dos elementos, el primer elemento es la guía de onda es decir la parte rectangular a través del cual se propagan las ondas electromagnéticas y la segunda parte es la corneta tipo piramidal, que como ya se examinó cumple una función de antena durante la transmisión. La segunda guía de onda, es decir, la guía de onda receptora, que es que esta en la parte inferior de la figura 12(a). Está compuesta por una guía de onda, una corneta piramidal y dentro de la estructura azul, se encuentra la etapa

de recepción y captura de las señales que es simplemente un diodo 1n23b y una resistencia en serie; como se puede observar en la figura 12(b).

Figura 12. Guías de onda. 13(a) Guía de onda emisora con klystron (superior) y guía de onda receptora (inferior). 13(b) esquemático guía de onda receptora.



12(a)

12(b)

2.3.3 Diodo detector 1n23b

Diodo de contacto mezclador está diseñado para aplicaciones con frecuencias de Banda S y de Banda X (figura 13). Cada dispositivo de esta serie se encuentra en un paquete del cartucho especialmente diseñado para el rendimiento con baja atenuación por ruido.

Estos diodos emplean silicio optimizado para baja figura de ruido y amplio ancho de banda y se utilizan como detectores de señal de altas frecuencias. El rendimiento del diodo, especificaciones de trabajo y características eléctricas se pueden observar en la hoja de especificaciones (Anexo D).

Esté diodo dentro del esquema general del equipo generador, transmisor y receptor de microondas (figura 3), cumple la función de demodulador o detector de envolvente el cual cumple la función de antena de recepción, ya que el volteje generado por las microondas se mide a través de este elemento.

Figura 13. Diodo de silicio 1n23B.

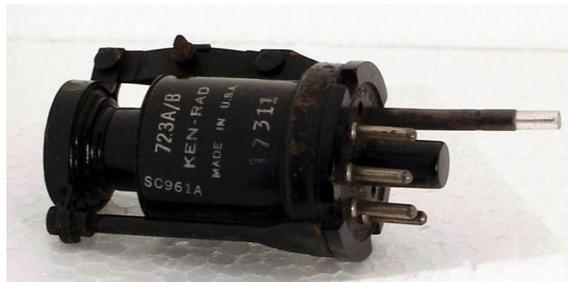


2.3.4 Klystron 2k25 y 723 A/B

Este klystron reflex (figura 14) fue diseñado para la generación de microondas con potencia de 20 mW y para trabajar con frecuencias aproximadamente de $9,7\text{ GHz}$ y $9,5\text{ GHz}$. Produce una salida continua y se puede modular para el uso de las comunicaciones.

El rendimiento del klystron, especificaciones de trabajo y características eléctricas se pueden observar en la hoja de especificaciones (Anexo E).

Figura 14. Klystron Reflex 723 A/B.



3. REPARACIÓN Y ARTICULACIÓN DEL EQUIPO GENERADOR Y TRANSMISOR DE MICROONDAS

El presente capítulo expone la metodología y el proceso llevado a cabo para acoplar un equipo generador y transmisor de microondas, a partir de los componentes hallados, de manera que éstos fueran nuevamente funcionales y usados dentro de los talleres y laboratorios de microondas de la Universidad Pedagógica Nacional.

También contempla los pasos tenidos en cuenta para realizar la reparación y articulación del equipo generador de microondas, por ejemplo, en primera instancia, la revisión general de los equipos encontrados en su estricto orden: fuente, guías de onda y klystron. Donde se inició el estudio y análisis de cada componente electrónico de ésta, con el fin de verificar si estos requerían de cambio o ajuste. Una vez logrado el funcionamiento de la fuente se continúa con la reparación de las guías de onda, debido a que estas se estaban desajustadas e incompletas. Como parte final de esta etapa, se toman la fuente y las guías de onda reparadas y se acoplan con el klystron buscando satisfacer los voltajes y corrientes necesarios para que este genere las microondas.

El modelo de enfoque metodológico del presente proyecto es mixto, ya que consta de elementos tipo cualitativos y cuantitativos realizados o tomados en cuenta dentro del desarrollo del mismo. Por un lado, presenta un enfoque cuantitativo por qué este proyecto en primera instancia se centra en la reparación y experimentación con los elementos de laboratorio, ya que es a través de estos elementos que se procede con la siguiente fase del proyecto que es el diseño de guías de laboratorio que comprendería la parte cualitativa del proyecto.

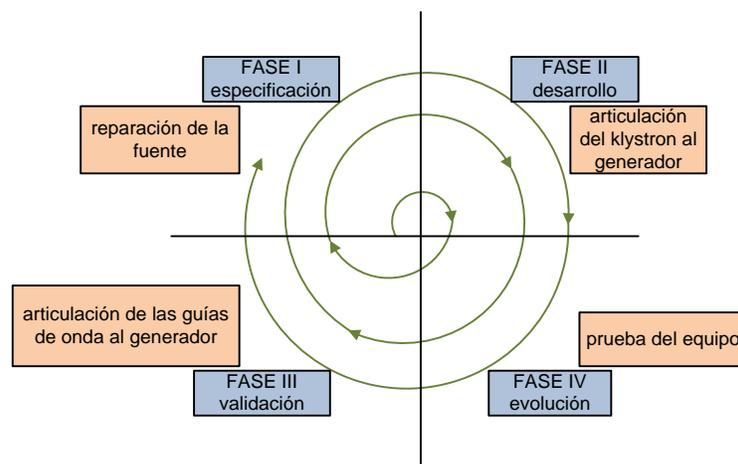
3.1 PROCEDER METODOLÓGICO

Debido a la naturaleza del presente proyecto, se hizo necesario dividirlo en dos partes para desarrollar los objetivos propuestos. Para la primera parte se optó por una metodología para la reparación del equipo, más que una metodología se optó por un modelo metodológico utilizado en construcción de software que se llama

espiral de software el cual se acomodó a los requerimientos necesarios. El modelo de espiral de software fue propuesto por Boehm; en este modelo, más que representar el proceso de desarrollo de software como una secuencia de actividades con retrospectiva de una actividad a otra, se adaptaron de cuatro actividades para llegar a la meta, que son la especificación, desarrollo, validación y evolución (Sommerville, 2005).

En primera instancia ese modelo se aplica porque se representa o se realiza a través de ciclos o actividades, cada ciclo se representa en una serie de actividades que la enmarcan, dependiendo de la verificación y realización de dicha etapa se procede a la siguiente hasta alcanzar el objetivo; como es un modelo espiral, éste permite tener constantes procesos de retroalimentación con las fases anteriores para determinar su validez y óptimo funcionamiento. En la figura 15 se tiene una representación de dichos ciclos o actividades del modelo de espiral de software traído al contexto del presente proyecto, los bloques azules representan las etapas de desarrollo del modelo y las cajas de color rosa representan la función o actividades realizadas en el presente proyecto; este modelo se realizó con el fin de verificar por medio del mismo los procedimientos de mantenimiento y ajuste al equipo generador, transmisor y receptor de microondas, ya que a partir del funcionamiento de éste se realizaba la articulación de los diferentes componentes conectados en un orden secuencial.

Figura 15. Modelo espiral.



Las fases realizadas en este modelo se nombren a continuación y se profundizan a lo largo del presente capítulo:

- Fase I: reparación de la fuente de alimentación (11740.93).
- Fase II: articulación del klystron al generador de microondas.
- Fase III: articulación de las guías de onda emisora y receptora con la fuente de alimentación y al generador de microondas.
- Fase IV: prueba del equipo articulado y reparado, implementando las guías de laboratorio del tema de propagación de ondas desarrolladas por el grupo de investigación: Enseñanza de las Ciencias como actividad de construcciones de explicaciones de fenómenos particulares del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional.

Por otro lado y luego de reparar el equipo se diseñaron las guías de laboratorio basadas en los referentes conceptuales nombrados en el ítem anterior, que toman como base para su elaboración el desarrollo experimental de dichos temas, a partir del equipo reparado.

En segunda instancia el diseño de las guías de laboratorio estarán divididas en dos momentos, el primero se encarga de mostrar la conexión del equipo y como proceder para su respectiva manipulación mostrando a su vez conceptos propios de sus componentes (Klystron, guías de onda y generador de señales) y la segunda estará enfatizada en la experimentación teniendo como base los conceptos de transmisión de señales y propiedades ondulatorias, a su vez complementado diferentes temas relacionados con los conceptos principales, como son las ondas electromagnéticas, el espectro electromagnético, propagación de ondas y las microondas.

Debido a que no existe una única metodología para la elaboración de guías de laboratorio se optó por crear un diseño de guía que contemplara aspectos elementales y útiles con el fin de proporcionar a quien la requiera una descripción clara de la actividad a desarrollar; por lo anterior las guías diseñadas contienen: título de la guía, numeración de la guía, materiales y elementos a usar en la guía,

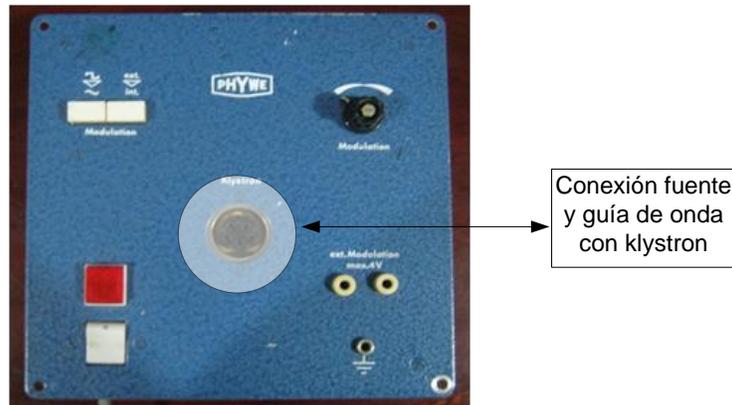
un párrafo introductorio sobre el tema a tratar, las actividades que se desarrollarán durante la guía, los objetivos de la misma y finalmente una serie de pasos y actividades a realizar durante la práctica. El anterior diseño se realiza para los dos momentos o elementos nombrados en el anterior párrafo; el de la conexión del equipo y su proceder técnico y el segundo con lo relacionado hacia la parte experimental. Resumiendo, en la segunda fase o instancia del proyecto se diseñaron las guías como se nombró anteriormente y posteriormente se realizaron pruebas piloto con las guías diseñadas para corroborar la funcionalidad del equipo a través de las mismas.

3.2 REPARACIÓN FUENTE DE ALIMENTACIÓN PHYWE® 11740.93

Esta parte hace referencia a la reparación y mantenimiento de la fuente generadora de microondas, esta fase comprendió una serie de trabajos prácticos mediante el uso de herramientas de medición alrededor de todos los componentes de la fuente con el fin de determinar que componente o componentes estaban afectando el correcto funcionamiento de la fuente. Como parte de los instrumentos usados para la medición de los componentes se tuvieron en cuenta multímetros y osciloscopios digitales y análogos para realizar medidas de voltaje, corriente, resistencia y continuidad; los equipos utilizados y referencia se muestran en el Anexo F.

En esta fase también se realizaron una serie de medidas referentes al punto de conexión de la fuente con el klystron; porque lo que se necesitaba era garantizar los voltajes del klystron para poder transmitirlos a través de la guía de onda emisora, este punto se señala en la figura 16.

Figura 16. Conector entre fuente y guía de onda emisora.



Este tipo de conectores tiene cinco puntos de salida, que corresponden a las partes o componentes del klystron, es decir, a la salida de cada punto de estos normalmente se deben medir los voltajes y las corrientes solicitadas por el klystron a la hora de emitir. Antes de entrar de lleno en este capítulo vale la pena recordar que la fuente original está diseñada para trabajar con un determinado klystron que es el de referencia Phywe® 06864 – 00, y es el que se cotizó (Anexo A), y los klystron con los que cuenta la universidad son de referencia 2k25 - 723 A/B y que manejan los siguientes voltajes y corrientes:

- Resonador a 300 voltios a 25 miliamperios.
- Reflector en -85 a -200 voltios.
- Header o filamentos con tensión continua o directa de 6.3voltios $\pm 8\%$.

Este primer proceso representó varios problemas y retrasos porque este tipo de fuentes no cuentan con información referente a las conexiones internas, ni del conector del klystron, razón por la cual se realizó una medición a partir de las posiciones del conector, de manera que se abarcaran todas las posibilidades de conexión entre los pines; con el fin de determinar si alguno de estos puntos cumplía con los requerimientos de funcionamiento del klystron. En la figura 17 se encuentra el conector del klystron y la distribución que se realizó por pines. Se asignó a cada pin un número y se tomaron medidas de voltajes de todos los pines contra los demás, por ejemplo se obtuvieron 14.9 Voltios de corriente directa entre

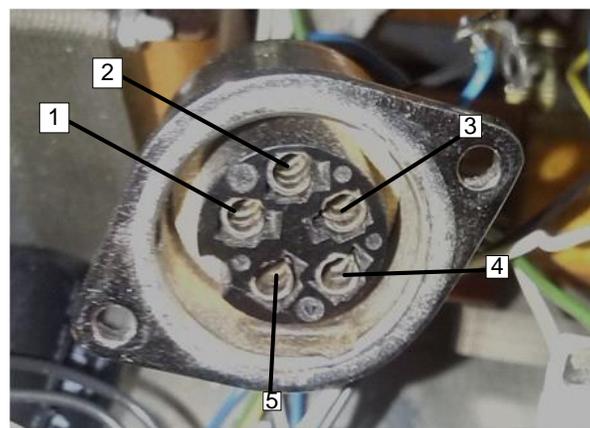
el 2 y el pin 5, entre el pin 1 y 2 se obtuvo -370 Voltios de corriente directa y así sucesivamente con todos los pines del conector. Esta primera etapa dió como resultados los voltajes relacionados en la tabla 4.

Tabla 4. Voltajes iniciales entre el conector del klystron.

	1	2	3	4	5
1	-	-370 V dc	370 V dc	7.5 V ac	1.2 V dc
2	374 V dc	-	0 V	375 V dc	14.9 V dc
3	374 V dc	0 V	-	375 V dc	14.9 V dc
4	7.4 V dc	-372 V dc	-372 v dc	-	1.3 V dc
5	-1.8 V dc	-16 V dc	-16 V dc	-1.7 V dc	-

Con los resultados obtenidos en esta primera etapa no se pudo concluir o determinar cuáles voltajes se acomodaban a las necesidades ya que la mayoría de los voltajes obtenidos mostrados en la tabla evidenciaban variaciones en el tiempo, por lo que se necesitó realizar más medidas para determinar la funcionalidad de la fuente, cambiando puntos de referencia entre el conector. En este punto no se obtuvo mayor cambio con los voltajes mostrados en la tabla 4. Ya que al analizar los datos obtenidos en estas mediciones se determinó que en su mayoría ningún voltaje ni corriente se ajustaba a lo requerido.

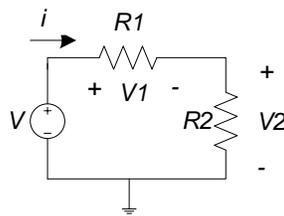
Figura 17. Conector 5 pines, conector entre fuente generadora de microondas y guía de onda emisora con klystron.



Como primera medida para intentar solucionar el anterior inconveniente se empezó a trabajar en el diseño e implementación de divisores de voltaje con el fin

de estabilizar los voltajes y lograr mediante esta alternativa suplir los voltajes. Ya que mediante una red de divisor de voltaje se puede tener disponibles varios voltajes a partir de una sola fuente de alimentación, es decir, se tomaron los voltajes de salida del conector del klystron como diferentes fuentes; y a través de fórmulas pertenecientes a esta técnica se calcularon valores de resistencia que lograrán bajar los niveles de voltaje a lo necesitado. En la figura 18, se muestra el diagrama del divisor de voltaje. Para la calcular los valores de las resistencias simplemente se realiza una serie de despejes a partir de la Ley de Voltajes de Kirchhoff y la Ley de Ohm.

Figura 18. Divisor de voltaje.



Los cálculos realizados para obtener los valores de resistencias fueron:

$$V = V_1 + V_2 = iR_1 + iR_2 = i(R_1 + R_2);$$

$$\text{Despejando la corriente quedaria: } i = \frac{V}{R_1 + R_2};$$

$$\text{Como el voltaje en } V_2 = iR_2; \text{ se reemplaza por: } V_2 = \frac{V}{R_1 + R_2} * R_2$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V \quad (1)$$

Se realiza un despeje a partir de (1) para averiguar el valor de R_2 :

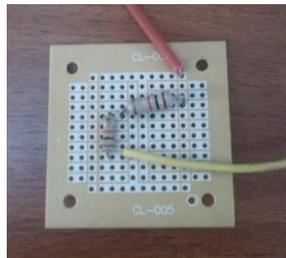
$$R_2 = \frac{-V_2 R_1}{V_2 - V} \quad (2)$$

A partir de los anteriores despejes se determinan las ecuaciones para averiguar la resistencia ya que se asume el valor de la primera resistencia R_1 , entonces, como ya se saben todos los valores de la ecuación 2 se puede averiguar el valor de R_2 .

Lo anterior se aplicó al problema de estabilización de los voltajes de la fuente; por ejemplo, para los voltajes de la primera fila de la tabla 4, es decir, para el voltaje entre el pin 1 y el pin 3 (figura 17), se tienen los siguientes valores: voltaje de entrada $V = 370 \text{ Voltios}$, voltaje de salida (voltaje resonador) $V_2 = 300 \text{ Voltios}$, para la R_1 se asumió un valor de $1 \text{ K}\Omega$, lo que produjo un resultado de $R_2 = 4,2 \text{ K}\Omega$.

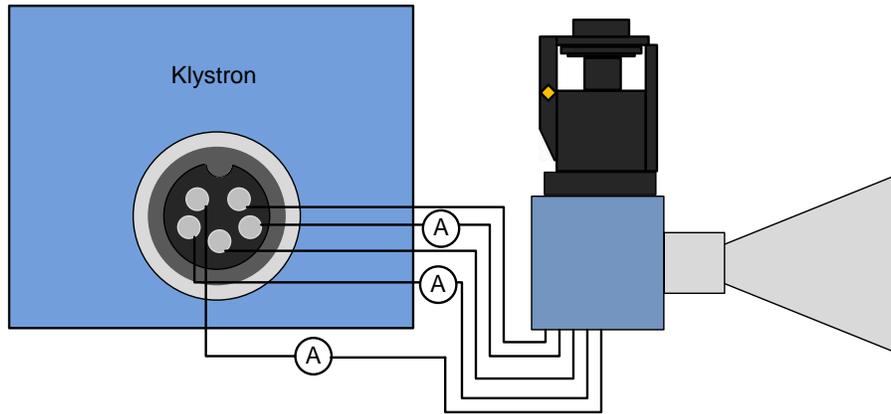
Para la conexión entre el pin 1 y el pin 4 se tomaron los siguientes valores: voltaje de entrada $V = 7,5 \text{ Voltios}$, voltaje de salida (voltaje header) $V_2 = 6,5 \text{ Voltios}$ y para la R_1 se asumió un valor de $1 \text{ K}\Omega$, lo que produjo un resultado de $R_2 = 6,5 \text{ K}\Omega$, en la figura 19, se observan los divisores de voltaje diseñados para la fuente y su respectiva conexión con la fuente y la guía de onda.

Figura 19. Divisores de voltaje para fuente generadora de microondas.



Al implementar la anterior técnica en la fuente se logró estabilizar dos de los voltajes, el del header y el resonador; pero no se consiguió que el klystron transmitiera ya que no tenía la suficiente corriente eléctrica para su funcionamiento, es decir, al medir las corrientes como se indica en la figura 20, con la carga conectada (klystron), las corrientes obtenidas no eran las necesarias para la carga de electrones dentro del klystron para que se acumularan y lograra transmitir las microondas.

Figura 20. Medición de corriente entre conector del klystron con guía de onda emisora con klystron.



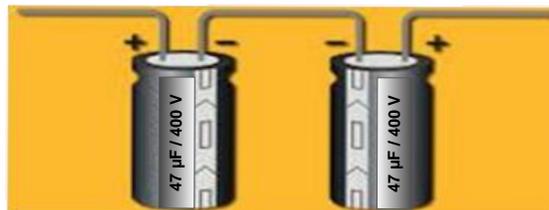
Por el anterior motivo se inició un nuevo trabajo de revisión interna de la fuente generadora de microondas empezando a revisar nuevamente pieza por pieza de manera más detallada y determinar qué elementos estaban funcionando óptimamente, a partir de las etapas de rectificación de las ondas en la fuente generadora de microondas (figura 10). Esta etapa también comprendió un trabajo de mapeo de las conexiones internas de la fuente.

Esta etapa dio como resultado que el condensador doble de referencia *Frako 50 – 50 μF a 350/385 V*, que son condensadores de tres terminales que a través de los cuales se puede obtener una doble capacitancia ya que tiene un pin o terminal conectado a la masa o tierra física de la fuente, el condensador se muestra en la figura 21, se concluyó que estaba dañado ya que solo servía una sola parte de dicho condensador, lo que producía que la etapa de rectificación de la señal quedara inconclusa, ya que este elemento junto con una bobina filtraban la señal procedente del puente de diodos. A pesar de que se encontró el daño en el condensador no fue posible cambiarlo por un condensador de la misma referencia debido a la obsolescencia del mismo por lo que se optó por armar un condensador a partir de dos condensadores electrolíticos de *47 μF a 400 V*, como se muestra en la figura 22.

Figura 21. Condensador Frako 50-50 μ F a 350/385 V.



Figura 22. Condensadores conectados en serie.

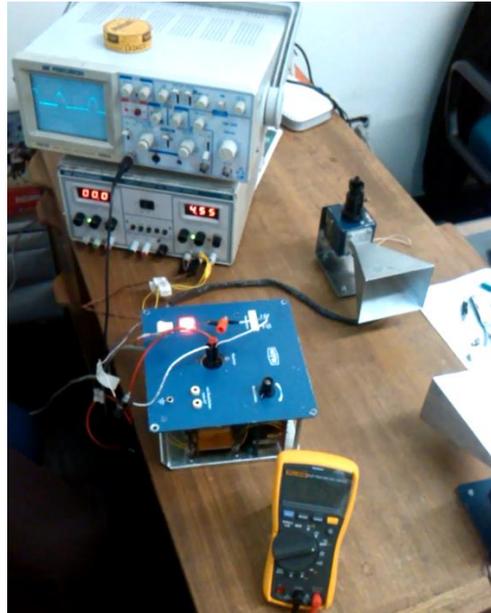


Una vez garantizado el funcionamiento del condensador, lo que aseguraba que la fuente lograra filtrar las señales que salían del transformador y del puente de diodos y a través de una nueva toma de medidas se logró establecer que la fuente ya lograba suplir dos voltajes de los requeridos para alimentar el klystron, estos voltajes eran los voltajes del resonador (300 voltios a 25 miliamperios) y el voltaje del reflector (-85 a 200 Voltios), el tercer requerimiento del klystron que es la parte de los filamentos no concordaba ya que daba por encima de lo necesitado en voltaje y por debajo de la corriente requerida.

Para lograr solucionar el tercer requerimiento de la fuente de alimentación se conectó una fuente externa dc, para alimentar los 6,3 voltios dc o ac, del header, en la siguiente figura (figura 23) se observa la conexión que se realizó con la

fuente externa junto con el equipo generador, emisor y transmisor de microondas; en el osciloscopio se midió la guía de onda receptora y se alcanza a notar en la imagen la onda que se recibe cuando las quías de onda están alineadas.

Figura 23. Conexión fuente generadora de microondas y fuente externa.



A partir de lo anterior y para suplir los voltajes de alimentación se optó por agregar una fuente de menor tamaño dentro de la fuente Phytwe®, para que supliera el voltaje de los filamentos, por eso se diseñó una fuente independiente para los filamentos, de $6,3 \text{ Voltios}$ y 0.44 amperios . La fuente se diseño a partir de la derivación del cable de alimentación de la fuente generadora de microondas, y se pasó por un transformador de tap central a 6.8 Voltios , un puente de diodos a 1 amperio y un par de condensadores de $4700 \mu F$.

A pesar de que la fuente es sencilla y no tiene mayores elementos en su diseño, porque, según las especificaciones del klystron (Anexo E), se necesita $6,3 \text{ V } dc \text{ o } ac$, entonces no requiere de unas etapas de filtrado y rectificación tan rigurosas, en la figura 24 se muestra el diseño esquemático usado para la fuente de $6,3 \text{ Voltios}$, para alimentar los header o filamentos del klystron y en la figura 25 se observa en la parte izquierda el diseño y quemado del circuito impreso en

PCB⁴ y en la parte derecha de la figura 25 el montaje final con los elementos agregados dentro de la fuente generadora de microondas; cabe aclarar que inicialmente se había sugerido realizar la fuente del header externa a la fuente generadora de microondas pero por comodidad en el uso de la fuente se optó por dejarla interna en la fuente generadora.

Figura 24. Diseño fuente para alimentación del header o filamento.

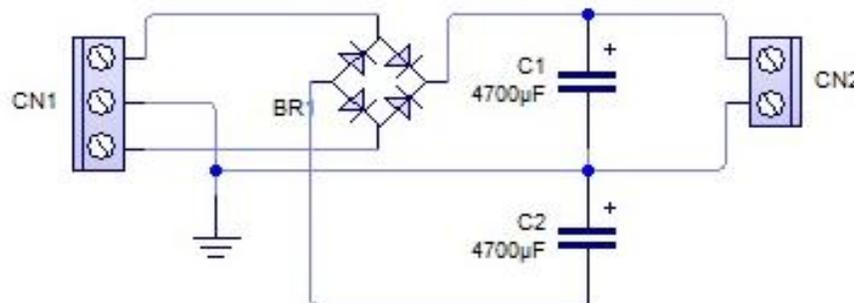


Figura 25. Diseño del PCB para la fuente del header y la fuente del header dentro de la fuente generadora de microondas.



Concluida la fuente de alimentación y tomando nuevamente las medidas de voltaje y corriente de la fuente generadora, se estableció que todos ellos ya estaban dentro de los limites necesitados por la fuente para poner en funcionamiento el klystron.

⁴ “Un circuito impreso o PCB (printed circuit board), placa o lámina aislante que tiene adheridas líneas conductoras muy delgadas por una o ambas caras. En una de ellas se montan los componentes electrónicos.” (Cekit S.A, 2000, pág. 25)

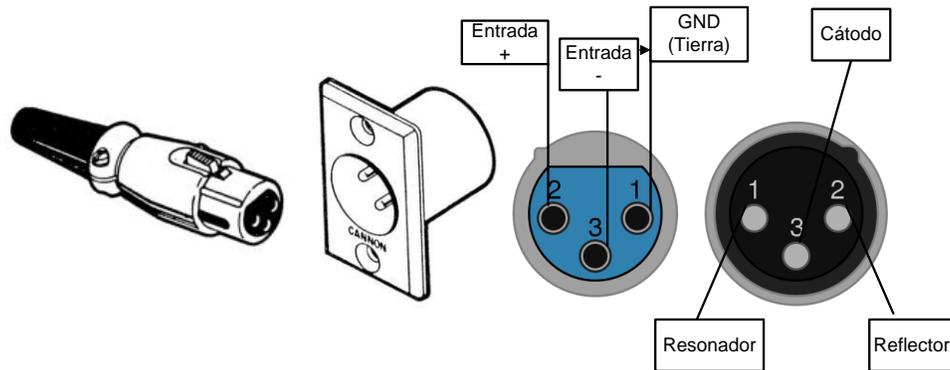
3.3 ARTICULACIÓN DEL KLYSTRON AL GENERADOR DE MICROONDAS

En la anterior sección se muestra la manera en que se logró suplir o proporcionarle al klystron los voltajes necesarios para que pudiera transmitir, los elementos, técnicas y prácticas mediante las cuales se logró darle nuevamente funcionalidad a la fuente. Ahora, en esta sección se muestra la manera en que se articuló la fuente con el klystron, es decir se explican los mecanismos de conexión entre la fuente generador de microondas y la guía de onda emisora con klystron.

Esta etapa contó con la modificación de la parte frontal de la fuente generadora de microondas, ya que al introducir una nueva fuente se cambiaba la distribución interna y las conexiones de salida. Para empezar, al agregar la fuente del header en la fuente de microondas (figura 25), se tenían dos nuevas terminales para alimentar la conexión o el conector del microondas, los terminales CN2 en la figura 24, razón por la cual se agregaron las conexiones del header en la parte frontal de la fuente, en la figura 27 se señala las conexiones del header o de los filamentos de la fuente y del nuevo conector del klystron. Por otro lado al no encontrar en el mercado el conector macho de cinco pines que encajara o se ajustara en el conector hembra (figura 17), se optó por cambiar el conector por uno de tres pines para micrófono⁵ que se ajustaba a las medidas de la fuente. En la figura 26 se muestra de manera más detallada los conectores utilizados para la conexión de los restantes pines de la fuente, es decir el resonador, el reflector y el cátodo. En la figura 26, el conector azul representa el conector XLR-3-11C y el conector negro el de la derecha, representa el conector XLR-3-32, con la distribución realizada para el conector del klystron. El cable utilizado para el conector fue un cable encauchetado de tres hilos número 12, con una resistencia para 400 voltios y 3 amperios, en la parte derecha de la figura 27 se muestran los conectores, este cable va unido a la guía de onda emisora, esta conexión se muestra en la figura 28.

⁵ Conector XLR-Cannon. "Este tipo de conectores, con sus cables, se utiliza mucho en sonido profesional para unir fuentes de audio con amplificadores" (Martin, 2010, pág. 190).

Figura 26. De izquierda a derecha: Conector XLR-3-11C, conector XLR-3-32 y diagrama de conexión.



Fuente: (Rayburn, 2013)

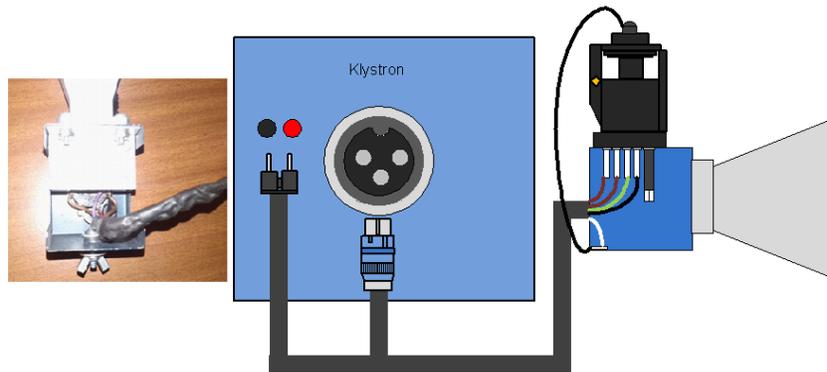
Figura 27. Nuevos conectores macho y hembra para la fuente generadora de microondas.



A partir de la salida de la fuente generadora de microondas, se tienen los respectivos conectores y un cable de conexión, en la parte izquierda de la figura 28, se muestra la conexión interna de la guía de onda emisora con klystron antes de la reparación del equipo, en ella se ven en total cinco cables pertenecientes a las conexiones de klystron (resonador header, header, cátodo y reflector), estos cables están distribuidos por determinados colores que se asociaron tanto con el conector como con la guía de onda, de esta manera se pudo determinar en un principio que cable pertenecía a cual parte del klystron, por ejemplo, antes de la modificación, el color café pertenecía a los header, el color rojo al cátodo, el blanco al resonador y el morado al reflector.

Al cambiar el cable, esta conexión cambio, quedando de la siguiente manera: los header de color café, el resonador color blanco, el cátodo color negro y el reflector color verde. En la parte derecha de la figura 28 se muestra un dibujo esquemático de la conexión entre la fuente y la guía de onda, es decir, internamente las conexiones se distribuyen de tal manera que cada cable alimente al klystron según las especificaciones de él Anexo E, para que pueda radiar las microondas a través de la antena que para el presente caso es la punta inferior del klystron que en la imagen está representado por la barra vertical de color negro y punta blanca.

Figura 28. Conexión interna guía de onda con klystron.



3.4 ARTICULACIÓN DE LAS GUÍAS DE ONDA EMISORA Y RECEPTORA CON LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y AL GENERADOR DE MICROONDAS.

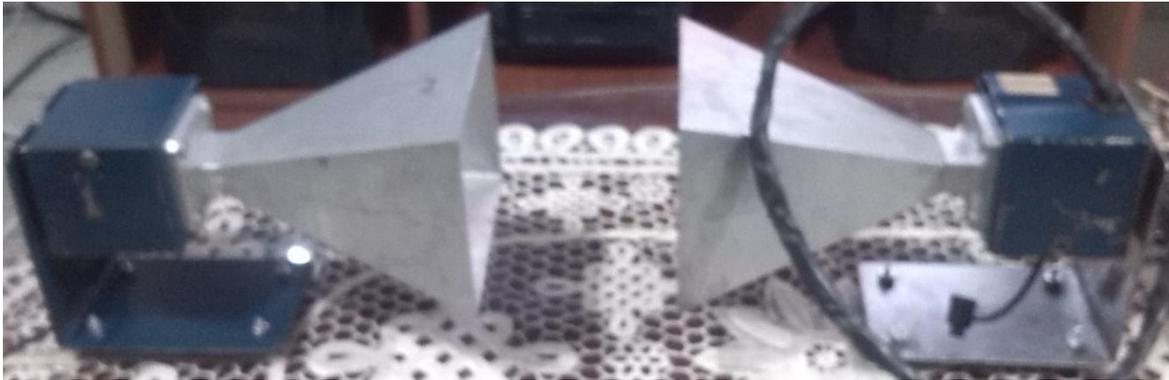
Una vez realizados los procesos de reparación y mantenimiento de la fuente generadora de microondas y realizado el proceso de articulación entre la fuente generadora de microondas y la guía emisora con klystron, procesos explicados en las anteriores secciones, se prosiguió a unir todo el equipo generador, emisor, transmisor y receptor de microondas. Este proceso conto con el mantenimiento de las guías de onda, se realizó una labor de desarme total de las guías de onda, cambio de piezas deterioradas y una capa de pintura. En la figura 29 se muestra el estado inicial en que fueron encontradas las guías de onda.

Figura 29. Estado inicial guías de onda.



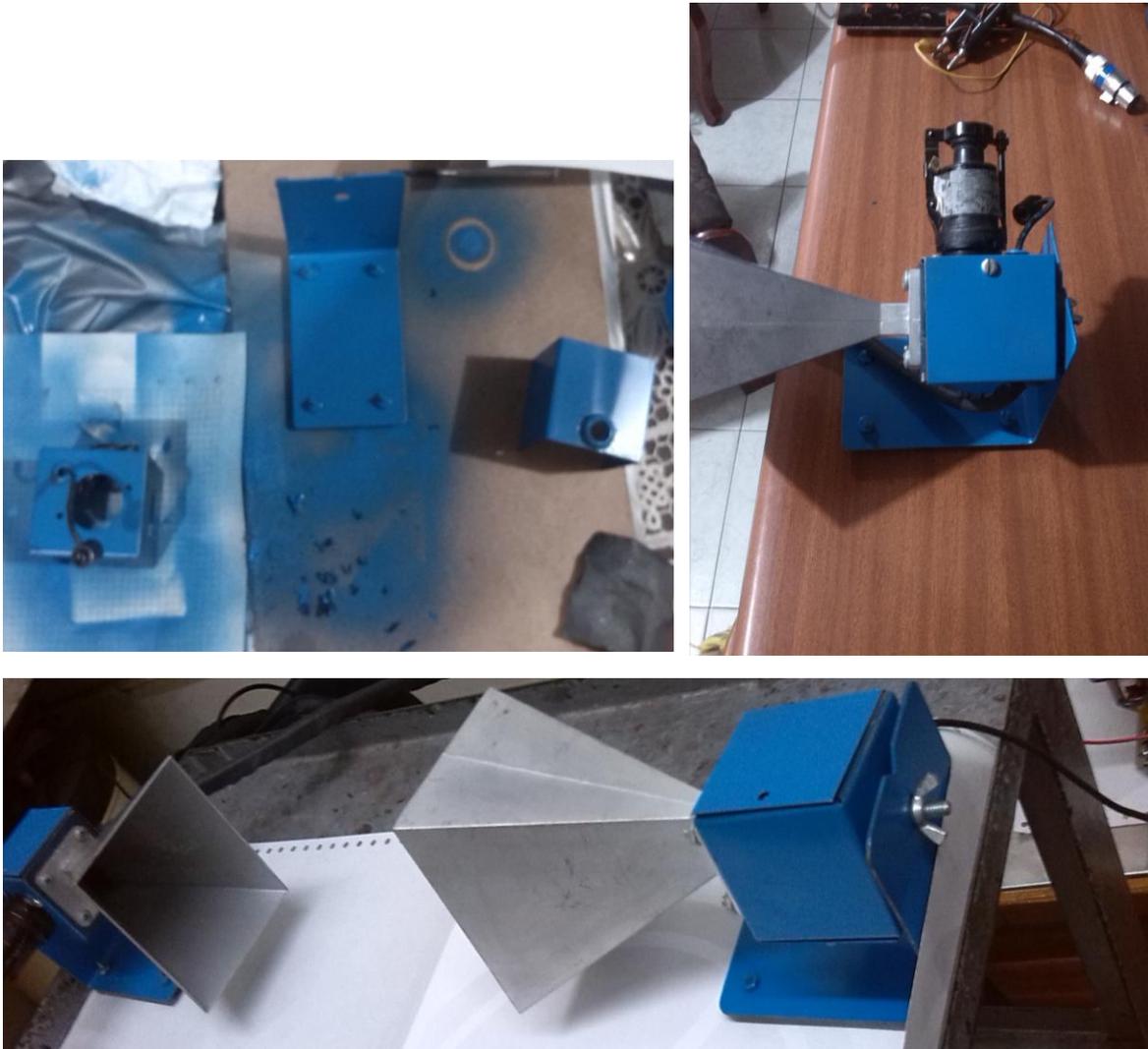
En el estado inicial se aprecia primero el deterioro superficial en el que se encontraron, segundo una de ellas no tenía una base de soporte en “L”, que tiene como función facilitar el desplazamiento o cambio de ángulos de emisión y de recepción ondulatorio durante los laboratorios, la falta de estos elementos tan sencillos hacen inservibles a las guías de onda pues imposibilita la realización de prácticas y laboratorios. Por la anterior razón lo primero que se hizo fue realizar una réplica del soporte usando una lámina de acero liviano con características resistentes, que permitirá darle la forma del soporte, el resultado de este proceso se aprecia en la figura 30.

Figura 30. Guías de onda con soportes.



Posterior a lo anterior, se inició un proceso de desarme en el cual se cambiaron algunas piezas que estaban deterioradas, al interior de las guías de onda. Además se realizó un proceso de pintura de la carcasa de la guía de onda es decir de la parte azul. A la parte de la guía de onda rectangular y de la corneta piramidal no se le realizaron cambios porque como se nombró anteriormente las guías de onda son fabricadas de materiales especiales que permiten el rebote y la transmisión de microondas a través de las paredes de la guía de onda. El proceso y el resultado de esta parte es el presentado en la figura 31.

Figura 31. Proceso y resultado mantenimiento guías de onda.



3.5 PRUEBA DEL EQUIPO ARTICULADO Y REPARADO

Esta fase comprendió una serie de pruebas con el equipo articulado y reparado, implementando unas guías de laboratorio sobre tema de propagación de ondas desarrolladas por el grupo de investigación: Enseñanza de las Ciencias como actividad de construcciones de explicaciones de fenómenos particulares del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. En estas guías de laboratorio se recopilan una serie de prácticas encaminadas a demostrar y estudiar las propiedades de las ondas por medio de este equipo.

En el Anexo G se muestran dos de las guías que este grupo ha desarrollado, pero que con el equipo no habían podido desarrollarse, estas dos guías muestran las propiedades de la reflexión y la polarización de las ondas, muestran la manera en que se deben colocar los equipos y la manera de realizar las mediciones.

Estas mismas prácticas o guías fueron realizadas en el presente proyecto con el objetivo de determinar si el equipo generador, emisor, transmisor y receptor de microondas estaba funcionando óptimamente luego de realizados los procesos nombrados en los ítems anteriores.

Este proceso resulto muy provechoso y satisfactorio para el desarrollo del proyecto ya que se pudo concluir que el equipo si estaba trabajando de manera adecuada puesto que al desarrollar las guías se obtuvo el resultado esperado. El primer laboratorio referente a la reflexión de ondas que tiene por objetivo “estudiar el fenómeno de reflexión y refracción de las ondas electromagnéticas haciendo uso de las relaciones entre los valores de los ángulos transmitidos y los ángulos incidentes” (Alfonso, 2012). En esencia esta guía consiste en colocar las guías de onda en un goniómetro⁶, de manera que las guías de onda emisora y receptora queden fijas en los extremos del goniómetro a aproximadamente 30° y a continuación se sitúa sobre el instrumento de medición angular una placa metálica en el círculo giratorio de tal manera que se pueda girar a determinados grados.

La práctica consiste en girar el soporte rotatorio de tal manera que el ángulo de incidencia valla variando e ir tomando mediciones con un multímetro o un osciloscopio, de los valores de voltaje de mayor valor según el ángulo de incidencia este proceso se muestra en la figura 32 y en la figura 33 se muestra el montaje práctico realizado para este experimento, cabe aclarar que aunque en el experimento sugiere el uso de un goniómetro, este no se usó, pero los cambios de los ángulos se realizaron de manera manual.

⁶ Instrumento de medición que se utiliza para medir ángulos, consta de un círculo graduado de 360°, el cual lleva incorporado una perilla giratorio sobre su eje, para poder medir cualquier valor angular.

Figura 32. Montaje del experimento sobre reflexión y refracción de ondas electromagnéticas.

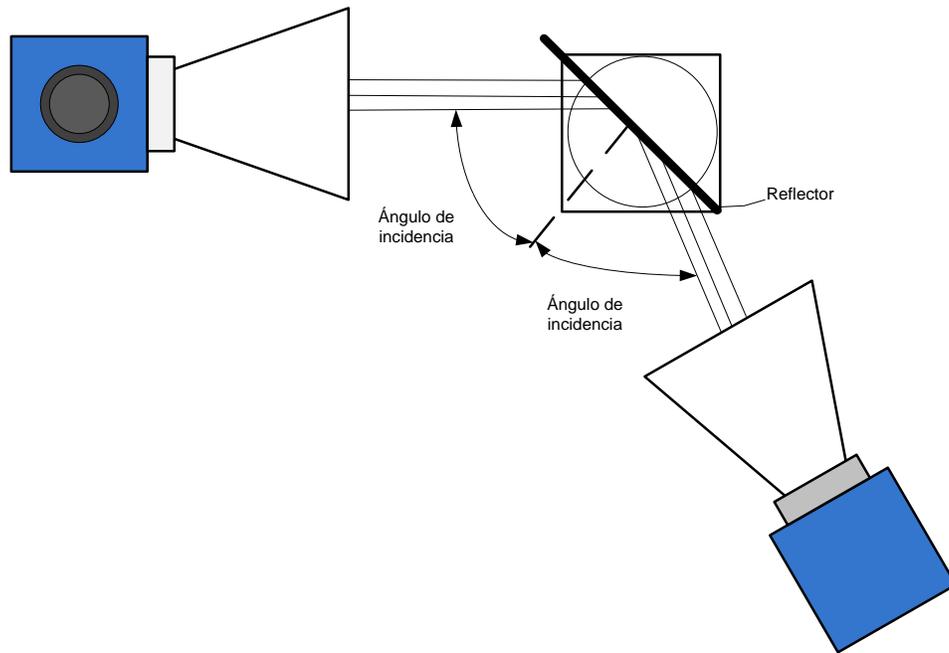
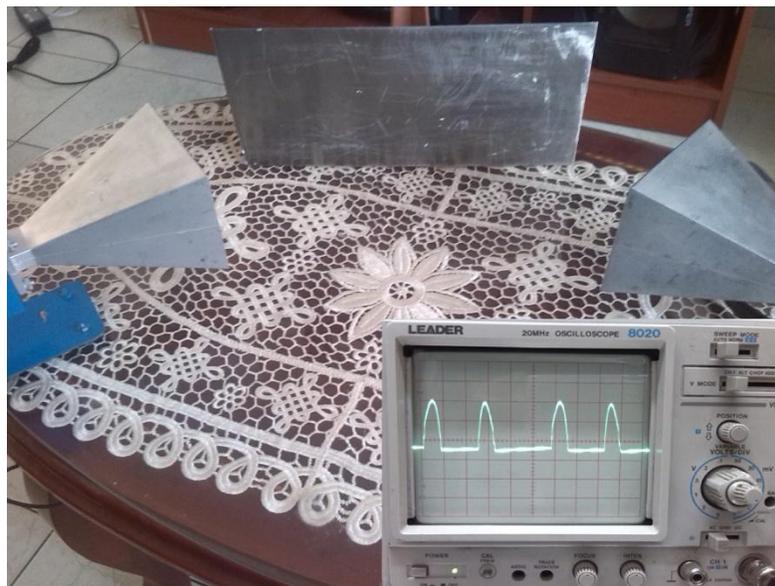


Figura 33. Mediciones de reflexión y refracción.



El segundo experimento tiene como objetivo “estudiar la polarización de las ondas electromagnéticas en la región de las microondas, analizando las características de un polarizador lineal de microondas, por medio de un estudio cuantitativo y cualitativo” (Alfonso, 2012). Lo anterior se realiza principalmente en dos actividades de medición, la primera consiste en medir señales detectadas en funciones de los ángulos de incidencia, y la segunda medición consiste en modificar los ángulos entre $+90^\circ$ y -90° y tomar mediciones. En la figura 33 se muestra el montaje de este experimento y en la figura 34 el resultado del mismo.

Figura 34. Montaje para experimento sobre polarización.

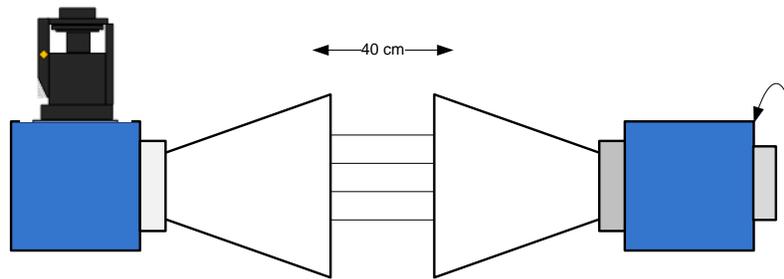


Figura 35. Práctica para experimento de polarización.



4. DISEÑO Y DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO

El presente capítulo contempla los elementos tenidos en cuenta para realizar el diseño de las guías para el área de comunicaciones para el programa de Licenciatura en Electrónica, esta parte se dividió en dos secciones que consistieron en realizar un manual de usuario para las personas que van a usar el equipo y en segundo lugar el diseño de tres laboratorios que buscan ser de ayuda en el desarrollo de áreas propias de la Licenciatura en Electrónica como los son sistemas de comunicaciones y física moderna, estas guías se encuentran en el ANEXO H, se tuvieron en cuenta aspectos de instrumentación electrónica en cuanto a la conexión de los diferentes equipos usados durante las prácticas. Específicamente las guías tratan propiedades de las ondas y propagación de ondas electromagnéticas.

Las guías de laboratorio muestran todo lo referente a la conexión del equipo trabajado previamente en el manual de usuario, la primera guía trabaja la propiedad de la polarización; la segunda lo referente a la propagación de señales y la tercera se encarga de explicar cómo se propagaría una señal de audio a través de este equipo.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Luego de realizar las etapas correspondientes a la reparación, articulación y prueba del equipo generador y transmisor de microondas se adelantaron una serie de análisis de los resultados con el fin de determinar el óptimo funcionamiento del equipo. Para empezar al retomar la prueba de variación ángulos en la guía de onda receptora, montaje que se puede observar en la figura 35, donde el emisor (guía de onda emisora con klystron) se encuentra en una posición fija y el receptor (guía de onda receptora) se coloca de tal modo que se pueda girar con respecto a la recta que los une. Al tomar las mediciones sobre este punto se determina que hay una señal proporcional a la intensidad de la emitida por el receptor. Es decir, cuando el receptor se encuentra en frente del emisor la medición alcanza un máximo de intensidad y a medida que se gira el receptor, este por ende se aleja de la línea de vista y la señal va decreciendo. Proceso experimental de las ondas estacionarias, procedimiento mediante el cual se puede llegar a medir la longitud de onda de las microondas. En la figura 36 se muestra un arreglo de fotografías producto de este proceso lo que produjo el anterior análisis. Por ejemplo en la figura 36, en la fotografía superior izquierda se muestra el proceso cuando las guías de onda están de frente, en la superior derecha se muestra cuando la guía de onda se desvía aproximadamente 10° , en la inferior izquierda aproximadamente 20° y en la inferior derecha 30° . En la tabla 5 se muestra los valores obtenidos durante este proceso; este proceso se puede evidenciar mejor en un video que se realizó durante el desarrollo de las pruebas, en este video se muestra que las guías de onda se encuentran a una distancia de 30 cm , y se realiza la recepción a través de un osciloscopio análogo; para este caso se realiza una variación de la guía de onda receptora sobre su propio eje (recordar que es una guía de onda rectangular piramidal), lo que origina un decaimiento de la señal durante la variación.⁷

⁷ https://www.youtube.com/watch?v=_6inXXbEZKo

Figura 36. Práctica sobre polarización de señales.

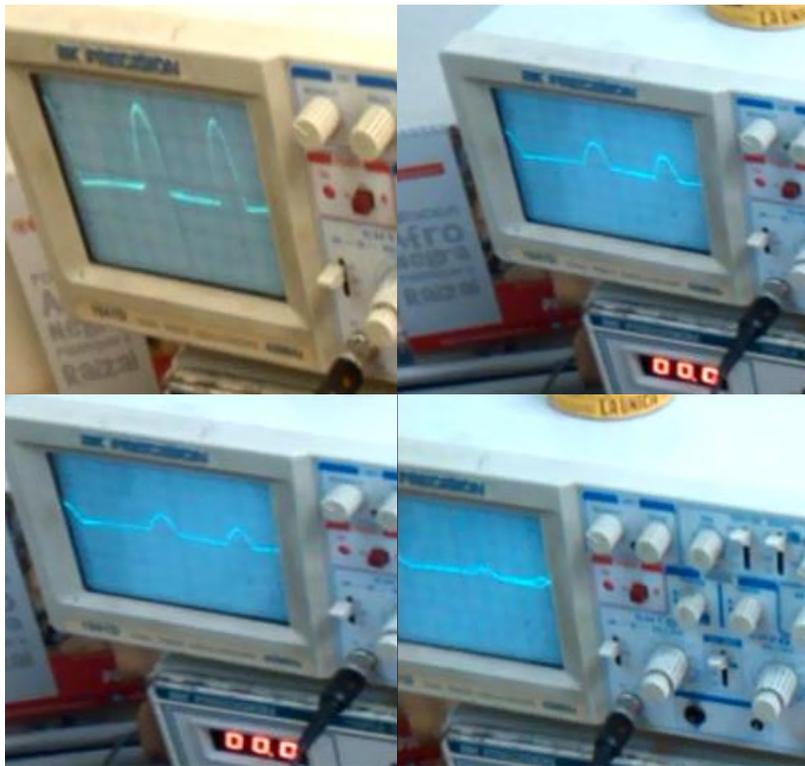


Tabla 5. Datos prácticos obtenidos.

Grados entre guía de onda emisora y receptora	Voltaje en mili voltios
180°	380
170°	250
160°	100
150°	50

Un segundo elemento que se tuvo en cuenta para realizar las pruebas fue transmitir una señal seno de 250 Hz y de una amplitud menor a 4 voltios (por especificaciones del equipo) a través del equipo, es decir, se conectó un generador de ondas a la entrada externa de modulación del equipo generador de microondas y se transmitió a través de las guías de onda, y en la recepción se utilizó un osciloscopio análogo para su visualización, en esta prueba se esperaba conectar una señal externa, que no excediera los 4 voltios, a la entrada de la fuente generadora de microondas y transmitirla por las guías de onda, este montaje se muestra con detalle en la figura 38. Como parte de la comprobación se

esperaba que al variar la frecuencia de entrada del generador de ondas, a la salida se viera afectada la frecuencia de salida, en otras palabras, que al variar la señal de entrada la señal de salida variará al mismo ritmo de la primera, esto con el fin de comprobar que la modulación externa estuviera respondiendo. Este proceso tuvo los resultados que se muestran en la figura 37, donde en las imágenes se ven dos señales de igual frecuencia, la señal superior es tomada en la salida de la guía de onda receptora y la señal inferior es tomada a la entrada del generador.

Este proceso mostró que a medida que se aumentaba la señal de entrada, la señal de salida respondía a dicho cambio, por ejemplo en la fotografía superior de la figura 37, se muestran las señales con una frecuencia de 250 *Hz*, en la inferior izquierda se aumentó la frecuencia a 280 *Hz* y la última fotografía que es la inferior derecha se tiene una frecuencia de 300 *Hz*. Este proceso también fue capturado en video⁸, en el cual se observa todos los elementos inmersos en esa práctica.

La variación de la intensidad en la señal a medida que se modifican los ángulos de emisión y la transmisión por el modulador externo evidencia que se logró una óptima puesta en marcha del equipo emisor y transmisor de microondas, ya que la transmisión realizada por un oscilador Klystron reflex que opera en la banda X (entre 8 y 9.5 GHz), muestra que con los cambios realizados en el interior de la fuente se lograron suplir las especificaciones requeridas, que a pesar de contar con varios sistemas en su interior, al realizar un estudio detallado se determinó que son relativamente mínimos; entre ellos las fuentes de polarización y los osciladores internos, y que el acoplamiento logró una puesta en operación correcta. Tanto en los sistemas internos de oscilación como en los sistemas externos de modulación, es decir, la transmisión a través de la guía de onda y la transmisión de señales periódicas y aperiódicas a través del equipo; este proceso hace parte de una de las guías diseñadas para los sistemas de comunicaciones, guías relacionadas o mostradas en el ANEXO H, guías que retoman conceptos sobre la transmisión de señales y antenas debido a los procesos paralelos que se

⁸ https://www.youtube.com/watch?v=_eOnLnT-Y4

pueden generar en torno a estos temas usando el equipo generador y transmisor de microondas.

Figura 37. Resultados obtenidos por modulación externa.

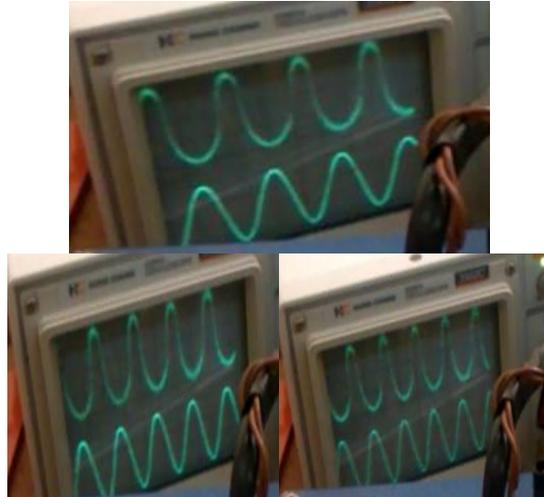
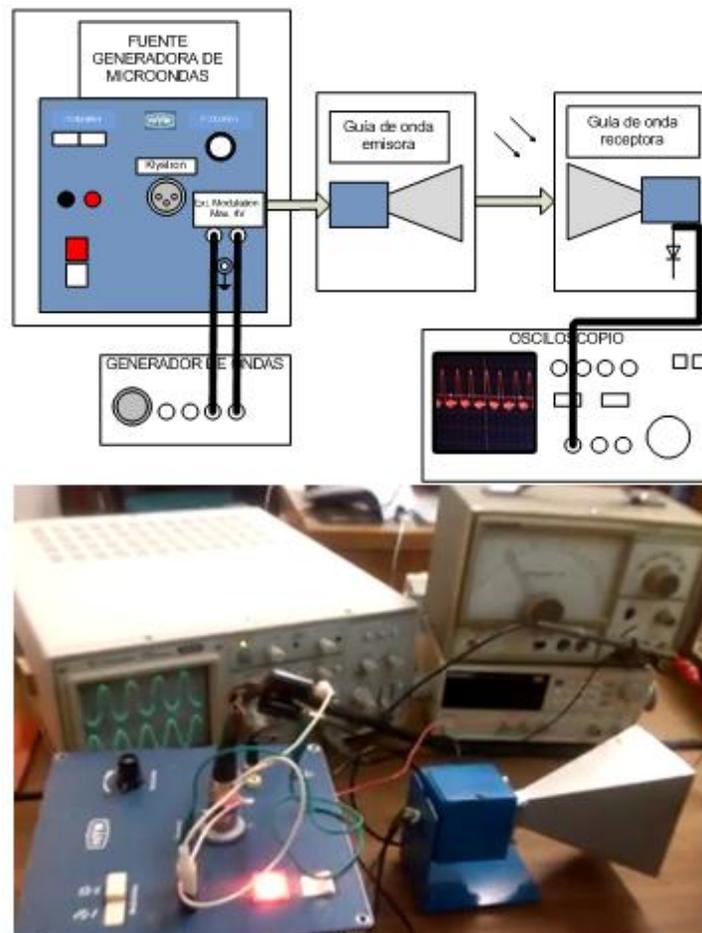


Figura 38. Conexión por modulación externa.



CONCLUSIONES

El uso de equipos que permitan realizar prácticas en torno a fenómenos físicos son de mucha ayuda dentro del proceso de enseñanza – aprendizaje, por qué a través de estas prácticas se logra relacionar contenidos teóricos vistos durante la carrera con el uso de objetos y equipos experimentales, lo que fue muy significativo ya que como dice (Malagón, Ayala, & Sandoval, 2011) las actividades experimentales ayudan a la construcción de elementos o fenomenologías teóricas y se estructuran a partir de hechos de observación; prácticas que en el presente proyecto se realizaron a través del equipo generador y transmisor de microondas y que originó la formulación de los objetivos del proyecto, los cuales se vieron satisfechos, ya que de acuerdo a lo experimentado durante el desarrollo y ejecución se puede decir que sirven como material de apoyo por medio del cual se pueden hacer experiencias complementarias a los fenómenos físicos teóricos relacionados con las ondas electromagnéticas, además de tener una serie de componentes y elementos relacionados con los que se podría generar muchas experiencias prácticas complementarias.

A partir de la experiencia relacionada en el presente proyecto y acorde con la literatura consultada, el equipo generador, transmisor y receptor de microondas cuenta con un número elevado de prácticas que se pueden realizar, por ejemplo estudiar los efectos y propiedades de las ondas, como la difracción, la interferencia, las ondas estacionarias, interferómetro de Michelson, ley de Snell, experimento de Bragg, entre otras muchas. Lo que proporciona un panorama de la importancia de este equipo en la experimentación.

El trabajo que se realizó durante el proceso de investigación, estudio y consulta complementa los conceptos adquiridos a lo largo del pregrado ya que muchos de ellos tuvieron que ser aplicados en la etapa de mantenimiento del equipo y otros a la hora de realizar la experimentación de temas que sólo se abordaron de manera teórica generando así una construcción integral y adecuada a la fenomenología asociada al carácter ondulatorio y las telecomunicaciones. Finalmente se realiza la

invitación a continuar trabajando en torno a proyectos donde se brinden herramientas e instrumentos para la comunidad educativa; docente y estudiantes.

La propuesta de hacer guías de laboratorio en un principio contemplaba unir los aspectos teóricos con los experimentales con el propósito de apoyar aquellos conceptos que solo abarcan una aproximación teórica. Pero que a partir del momento de la reparación del equipo se vió que se tenía una alternativa más para profundizar en el nivel de enseñanza.

Al usar una metodología propia del desarrollo de software, la cual consta de cuatro etapas, se concluye que este tipo de metodologías son adecuadas o sirven para el desarrollo de este tipo de proyectos ya que en la literatura no se encontró metodología que se adaptara a las necesidades del problema; porque este método tiene inmerso un sistema de retroalimentación que permite devolverse cuando no se supera o falla en una etapa, lo cual es de suma importancia en la instrumentación electrónica porque consecuentemente se necesita estar devolviéndose o arreglando elementos o sistemas que ya se creían que estaban en óptimo estado. Por ende este método es recomendado o sirve para solucionar problemas del tipo del presente proyecto.

Los componentes internos de la fuente generadora de microondas Phywe® (Figura 25) son de alto costo y cuenta con más de 25 años por lo que la mayoría de sus componentes ya están en la obsolescencia, a pesar de lo anterior y luego de la experiencia realizando el proyecto se concluye que los componentes (fuentes y guías de onda) pueden ser diseñados por los mismos estudiantes del departamento a un costo razonable, así como la ejecución de los mantenimientos preventivos para evitar el desuso; permitiendo continuar con la experimentación y el aprovechamiento al máximo de los equipos.

A pesar de que se logró recuperar un equipo que estaba sin usarse y que es de una gran ayuda para los desarrollos experimentales en temas particulares sobre ondas electromagnéticas falta o se tiene mucho trabajo en su entorno; se propone continuar profundizando o continuar con este proyecto por ejemplo se le podría

complementar o agregar amplificadores o señales de tipo luminosa a la salida para evidenciar mejor los fenómenos de propagación, realizar un análisis físico matemático alrededor de todos sus elementos de transmisión.

Los laboratorios propuestos sobre propagación de señales para el área de comunicaciones abarcan temáticas a través de las cuales se puede tener una aproximación más cercana a temas relacionados con transmisión de señales a través del aire y propagación de ondas electromagnéticas, ya que por medio de dichas guías también se pueden generar procesos paralelos encaminados a relacionar el equipo en general con los sistemas de comunicación y transmisión, en cuanto al modo en que las guías de onda actúan como antenas emisoras y receptoras, el proceso de modulación interno del equipo, y la demodulación que se realiza en la guía de onda receptora. También el tener una parte práctica de como se puede realizar un análisis de Fourier experimental y una aproximación a su definición teórica.

Finalmente se espera que la reparación y el diseño de las guías generen un impacto positivo en la comunidad universitaria del Departamento de Ciencia y Tecnología, a los estudiantes como una herramienta de apoyo en su proceso formativo, a los docentes como un complemento o instrumento para sus clases.

BIBLIOGRAFÍA

Alfonso, A. (2012). *Propuesta fenomenológica para la enseñanza de las ondas electromagnéticas analizados desde los trabajos de Heinrich Hertz*. Bogota : Universidad Pedagógica Nacional.

Ayala, M., Romero, A., Malagón, F., Rodríguez, O., Aguilar, Y., & Marina, G. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción de conocimientos sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Bataller, M., & Noguiera, A. (06 de 02 de 2002). *Universidad Politecnica de Valencia*. Recuperado el 18 de 02 de 2014, de Universidad Politecnica de Valencia: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Bocinas.pdf

Burbano, E., Burbano, G., & Muñoz, G. (2003). *Física General*. Madrid: Tebar.

Burbano, S., & Muñoz, C. (2003). *Física General*. Madrid: Tébar, S.L.

Cauca, D. d.-U. (14 de Mayo de 2013). Recuperado el 29 de Enero de 2014, de sitio Web de la Universidad del Cauca: <http://univirtual.unicauca.edu.co/moodle/mod/resource/view.php?id=25334>

Cekit S.A. (2000). Los circuitos impresos . *Curso fácil de electrónica básica* , 25-26.

Connor, F. R. (1976). *Transmisión de ondas. iii. Temas de Telecomunicaciones*. Barcelona: Talleres gráficos ibero-americanos.

Doménech, F. (1999). *Proceso de enseñanza/aprendizaje universitario*. Castellón: Universitat.

Freedman, Y., & Zemansky, S. (2009). *Física universitaria con física moderna* (Decimosegunda edición ed., Vol. II). México: Pearson.

Gómez, R. (1984). *Campo Electromagnético: Propagación y Radiación*. Granada: Universidad de Granada.

- Gupta, K. C. (1993). *Microondas*. Mexico, D.F.: Limusa Noriega Editores.
- Hernández, J. (1998). *Antenas: Principios básicos, análisis y diseño*. California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Bautizta, P. (1991). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Kosow, I. (1993). *Máquinas eléctricas y transformadores*. México: Prentice-hall.
- Malagón, J. F., Ayala, M. M., & Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogota: CIUP, Universidad Pedagógica Nacional .
- Martin, J. (2010). *Infraestructuras comunes de telecomunicaciones en viviendas y edificios*. Salamanca : Editex.
- Miranda, J. M., Sebastián, J., Sierra, M., & Margineda, J. (2002). *Ingeniería de Microondas*. Madrid: Prentice Hall.
- Moreno, R. (2010). *Protocolo Académico Microondas*. Corozal: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Poole, C. (1996). *Electron Spin Resonance: A Comprehensive Treatise on Experimental Techniques*. New York: Dover Publications.
- Porlán, R. (1997). *Construativismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla: Díada.
- Rayburn, R. (23 de 05 de 2013). *Sound first, LLC*. Recuperado el 28 de 04 de 2014, de Sound first: <http://www.soundfirst.com/xlr.html>
- Serway, R., & Faughn, J. (2010). *Fundamentos de Física* (Vol. II). México D.F.: Thomson.
- Sisodia, M., & Raghuvanshi, G. (2004). *Basic microwave techniques and laboratory manual*. Nwe Delhi: New age international.

Sommerville, I. (2005). *Ingeniería del software* . Madrid: Pearson.

Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.

Tipler, P., & Mosca, G. (2007). *Física para la ciencia y la tecnología* (Vol. II).
Barcelona: Reverté.

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas* (Cuarta edición ed.).
México: Pearson.