

01149

3



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO

DESARROLLO DE UN EQUIPO TRANSMISOR RECEPTOR DE
MICROONDAS EN LA BANDA X, CON APLICACIÓN EN UN
LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO, Y EN LA
TRANSMISIÓN DE DATOS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA

Ing. VENANCIO GERARDO CALVA OLMOS

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. JOSÉ LUIS PÉREZ SILVA

MÉXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Gracias a Dios por permitirme vivir este momento tan
anhelado.*

*Agradezco a mi querida y amada familia por todo su
amor, su apoyo sus enseñanzas su ternura, y su
comprensión. Sea para ellos este trabajo que representa
muchos años de esfuerzo.*

Más que cumplir con una tradición, es para mí un gusto agradecer al M. en C. José Luis Pérez Silva por haber dirigido este trabajo, y por supuesto por haber creído en el proyecto.

Le doy las gracias a todos aquellos que de alguna forma influyeron en el desarrollo de este trabajo. En especial al Maestro Alberto Herrera, a los también Maestros Alejandro Padrón, Miguel Bañuelos, José Castillo, Sergio Thierry, Saeid Akhavan. A los Ingenieros Carlos Ojeda, Ricardo Damían, Gerardo Rayo, Jorge Valeriano, Rosendo Fuentes. Al Arq. José Luis Juárez, al D.I. Salvador Pérez.

Al Doctor Boris Escalante y a la Maestra Brisia Jon por todo su apoyo.

A los señores Juan Corona, Luis Velásquez e Inocente Tapia.

**DESARROLLO DE UN EQUIPO TRANSMISOR
RECEPTOR DE MICROONDAS EN LA BANDA X;
CON APLICACIÓN EN UN LABORATORIO DE
ELECTROMAGNETISMO, Y EN LA TRANSMISIÓN
DE DATOS**

ÍNDICE

PARTE I

Diseño y desarrollo del equipo transmisor receptor de microondas

Transmisor de Microondas...	[10]
Cavidades resonantes...	[10]
Klystron reflex...	[15]
Modulación de la señal portadora...	[17]
Diseño y construcción de la electrónica utilizada por el transmisor...	[19]
Antenas utilizadas en microondas...	[26]
Antenas piramidales o de corneta...	[28]
Antena dieléctrica...	[33]
Medios de transmisión...	[36]
Guías de onda...	[36]
Frecuencia de corte de una guía de onda...	[40]
Diferentes formas de atenuación...	[44]
Atenuación en guías de onda...	[47]
Selección de la guía de onda para el sistema...	[49]
Algunos componentes útiles en las aplicaciones del equipo transmisor receptor...	[50]
Receptor de señales de microondas...	[52]
Detección de señales en microondas...	[52]
Diseño y construcción de la electrónica utilizada en la recepción de señales de microondas...	[54]

PARTE II

Aplicación del equipo transmisor receptor de microondas

Aplicación en un laboratorio de electromagnetismo

Grupo de prácticas para el laboratorio de electromagnetismo...	[63]
Equipo utilizado en las prácticas...	[65]
Enlace radioeléctrico...	[65]
Diseño de la presentación de las prácticas...	[70]
Prácticas para el laboratorio...	[71]
Experimento de Bragg...	[96]

Aplicación del equipo de microondas en un sistema de transmisión de datos asíncrono

Telecomunicaciones:

Transmisión.. [99]

Recepción...[101]

PARTE III

Ingeniería de producto del equipo de microondas

Proceso para obtener un prototipo...[106]

Nivel de prototipo...[106]

Ingeniería de producto...[111]

Staff de trabajo...[113]

Desarrollo de la Ingeniería de producto del equipo de microondas...[115]

Relación de planos de las piezas mecánicas del equipo de microondas...[122]

Relación de planos del equipo de Bragg...[134]

Manuales de apoyo al usuario

Manual de empleo y servicio...[156]

Hoja de sugerencias para el arranque rápido del equipo de microondas...[173]

Bibliografía...[175]

DESARROLLO DE UN EQUIPO TRANSMISOR RECEPTOR DE MICROONDAS EN LA BANDA X; CON APLICACIÓN EN UN LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO, Y EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS

PRESENTACIÓN

En este trabajo se presenta el resultado del desarrollo de una idea, la idea de poder contar con equipo electrónico hecho en el país, y con la mayoría de sus elementos adquiridos en el mercado nacional. Un trabajo que inicia con la obtención de un primer prototipo, y continúa hasta llegar a niveles muy cercanos a los obtenidos en una producción en serie. Para lograr algo como esto, es necesario pasar por ciertas etapas de prueba y error, en las que es posible ir eliminando fallas, y fortaleciendo características.

En ocasiones se tiene que partir de una idea básica para el desarrollo de un equipo, en algunas otras se tiene la gran oportunidad de hacer uso de un equipo, o equipos que sirven de referencia, para que a partir de ellos se genere una nueva versión del mismo.

Retomar un diseño, es una gran oportunidad para aprovechar los errores cometidos. Siempre es mejor partir de algo ya probado, que ha tenido fallas pero que de una forma u otra, funciona. En ocasiones tal vez tarda en funcionar o se sale de margen de operación, quizás sólo requiera de ajustes o de adicionar un circuito electrónico actual. Retomar un proyecto es renovar un prototipo. Es avanzar sobre bases más sólidas, creadas con base en algunos errores y muchos más aciertos.

Este trabajo está dividido en tres partes. En la primera parte se hace una breve presentación de lo que un sistema de comunicaciones en la frecuencia de las microondas comprende, los requerimientos mínimos para lograr un enlace punto a punto, además de una breve descripción del funcionamiento de partes tan importantes como los osciladores, en especial de los osciladores *Klystron*. Para un apropiado funcionamiento del oscilador, es necesario desarrollar los circuitos electrónicos de apoyo para tal efecto.

Las antenas son una parte fundamental en cualquier sistema de enlace, y el equipo de microondas no es la excepción, por ello, se presentan principalmente dos tipos de antenas, antenas piramidales o de corneta, y las antenas de material dieléctrico. De igual forma se presenta brevemente, una descripción del proceso de propagación de la energía en una guía de onda, el porqué de sus dimensiones y sus características más importantes.

Al final de esta parte, se hace mención del equipo desarrollado para la recepción de las señales generadas en el transmisor. El receptor de microondas tiene los amplificadores y circuitos electrónicos necesarios para poder presentar la señal recibida en diferentes formas, como una señal audible, cuando sea recomendable, como una señal para verse en un osciloscopio, y finalmente, se tiene la opción de medir la intensidad con que la señal está presentándose en el detector.

En la segunda parte, se tienen las aplicaciones que puede tener el equipo de microondas. En esta parte se desarrollaron un conjunto de experimentos con los cuales, es posible presentar algunos de los fenómenos más comunes en la transmisión de una señal electromagnética. Por ello se dio en denominar a esta aplicación, *laboratorio de electromagnetismo para la enseñanza*. El laboratorio hace uso de una gran parte del equipo de microondas desarrollado. Cuenta con un grupo de prácticas preparadas de modo que puedan aprovecharse los recursos del equipo de microondas, y están presentadas en forma tal, que se puede ir avanzando según se vayan comprendiendo los diferentes fenómenos que influyen en un enlace. La estructura de las prácticas está con base en bloques de información. Cada bloque ofrece información acerca del tema, los objetivos, una breve presentación del tema a desarrollar, el procedimiento a seguir para el cumplimiento del objetivo, y las observaciones. Cada práctica tendrá diferentes formas de apoyo, dependiendo de su complejidad.

Una segunda aplicación que se presenta con el equipo de microondas, es un enlace para el envío de señales. Su diseño consiste en el envío de señales de control entre un puesto de mando y un sistema actuador. La señal de microondas sirve de enlace entre ambas partes, y permite mediante un programa en Visual Basic, la presentación de los datos que recibe el actuador.

Inicialmente el sistema se probó con el envío de una serie de datos, para posteriormente en el lado receptor, contabilizarlos y determinar finalmente si coinciden con el número de datos enviados. El paso siguiente consiste en el envío y detección y actuación, con base en los datos recibidos. Como detalle adicional a esta aplicación, se presentan los diagramas de operación del sistema, así como algunos datos adicionales que ayudan a comprender la operación. El trabajo en detalle puede ser consultado aparte [9], en caso de buscar ahondar en este tipo de aplicaciones.

La tercera parte la constituye la ingeniería de producto realizada al equipo de microondas. En esta parte del trabajo, se presentan los desarrollos que se hicieron para lograr una envolvente práctica, útil y mínima para cada pieza que integra el equipo de microondas. Esta parte es realmente importante para la presentación de cualquier equipo electrónico. Generalmente se tiene la idea de que al obtener un arreglo de circuitos electrónicos, la envolvente “aparece” súbitamente a la medida del equipo, y no se considera

el tiempo empleado, el esfuerzo conjuntado de un grupo de personas que en la mayoría de las veces, provienen de diferente formación, y que contribuyen al desarrollo tanto de la parte interna como de la externa de la envolvente.

Aquí es dónde se toman en cuenta las recomendaciones del diseñador del equipo, en cuanto a requerimientos de aislamiento, de distancias entre diferentes bornes o tarjetas electrónicas, así como de los diferentes transformadores utilizados. Se debe tener en cuenta la forma en que se presentan los diferentes controles, conectores para señales, el o los interruptores, y las formas de presentación de niveles de intensidad.

Dentro del desarrollo de la Ingeniería de producto, se debe considerar la parte que corresponde con la imagen, la forma en que se ve un equipo, como es que se presenta la información, la posición de los medidores, el tipo de letra a utilizar, si existe una norma o no, la selección de color de la envolvente y de las diferentes leyendas con que deba contar cada pieza del equipo desarrollado.

En ocasiones toda esta tarea debe ser realizada por el mismo diseñador, ya sea por premura en la entrega del equipo, como por no contar con el personal adecuado que pueda aportar ideas y formas de desarrollo. Y no es que el diseñador no esté en la capacidad de llevar a cabo esta tarea extra, sino que es preferible relegar ciertas tareas a quienes tienen una mejor visión de cómo se puede o debe presentar un equipo. De esta forma se esta fortaleciendo el trabajo en equipo, y se posibilita el avanzar en algún otro proyecto, o continuar con la siguiente versión del mismo prototipo, esto último es muy aconsejable.

En resumen, se diseñaron y fabricaron: guías de onda (4); soportes de guía de onda (6); acopladores para guía de onda (6); bases con brida y cubierta para el oscilador Klystron (2); antenas piramidales (4); antenas dieléctricas (2); montura para diodo receptor (2). En la parte electrónica, se diseñaron y armaron los circuitos impresos: de las fuentes de alimentación del oscilador; del oscilador local, del amplificador de entrada y de las fuentes de alimentación de los circuitos electrónicos asociados al módulo transmisor. Así como el diseño y fabricación del medidor de voltaje digital (en base a un circuito integrado *Intersil*). También de la parte electrónica, se diseñaron y armaron los circuitos impresos del módulo receptor que incluyen: fuentes de alimentación de la electrónica utilizada; sistema electrónico del convertidor; electrónica de pre-amplificación de señales de entrada; sistema de amplificación y acondicionamiento de señales para la etapa de salida para osciloscopio, medidor de nivel analógico y salida para señales audibles.

Como se detalla en la parte tres de este trabajo, también se diseñaron y construyeron las carcasas de los equipos transmisor y receptor. Se diseñaron e imprimieron los diferentes letreros y formas que cada equipo debía llevar para su identificación. Se diseñó cortó y armó el embalaje total que contiene a todo el equipo.

Por tal razón, en esta parte se incluyeron los planos de fabricación así como algunos negativos para los circuitos impresos, también se incluyeron los dibujos utilizados en la serigrafía, en dónde fue posible se incluyeron fotografías de algunas partes del equipo.

Dado que cualquier equipo eléctrico debe tener un instructivo de uso, se diseñaron dos manuales de apoyo al usuario. Uno de ellos denominado Manual de Empleo y Servicio, es el más completo 17 páginas, este manual incluye además de la forma de encendido y recomendaciones de seguridad, diagramas de bloques del módulo transmisor y del receptor, lista de equipo estándar y opcional, lista de partes y los dibujos de los circuitos impresos.

El segundo manual, Hoja de Sugerencias Para el Arranque Rápido del equipo de Microondas Este manual menos extenso sólo dos hojas, tiene los pasos esenciales para el encendido sin olvidar las recomendaciones básicas de seguridad.

Ambos manuales se compararon contra el manual de philips, Basic Experiments I [32]

PARTE

I

DISEÑO Y DESARROLLO DEL EQUIPO TRANSMISOR RECEPTOR DE MICROONDAS

Introducción

A continuación se hace una breve descripción del equipo de transmisión recepción, de señales de microondas. Para el desarrollo de cualquier sistema de radioenlace se requiere de una fuente emisora, que para nuestro caso está en la banda X, la cual está comprendida entre los 8.2 GHZ y los 12.4 GHZ, y de una contraparte receptora, por supuesto en la misma banda. Para ello es posible diseñar estas herramientas como parte de un sistema de comunicación sin importar por el momento, cuales serán sus aplicaciones. La parte transmisora requiere de un sistema que genere una señal de alta frecuencia, estable en amplitud y frecuencia.

Así mismo para saber si se está enviando una señal o no, y para que tenga una utilidad real, es necesario que el sistema transmisor cuente con una fuente de información que le proporcione al oscilador una señal de baja frecuencia conocida, como pueden ser señales cuadradas o senoidales a una cierta frecuencia, o una señal cualquiera de baja frecuencia. También es posible alimentar al oscilador con una señal que este variando en amplitud y frecuencia, la cual se considera como una señal externa al sistema. Ambas opciones de alimentación funcionan en forma separada, para lograr modular la señal de alta frecuencia. El uso de una señal moduladora excluye a las demás.

Transmisión

Un sistema convencional de modulación requiere de varios elementos o subsistemas básicos, como se muestra en la siguiente figura. Figura (1).

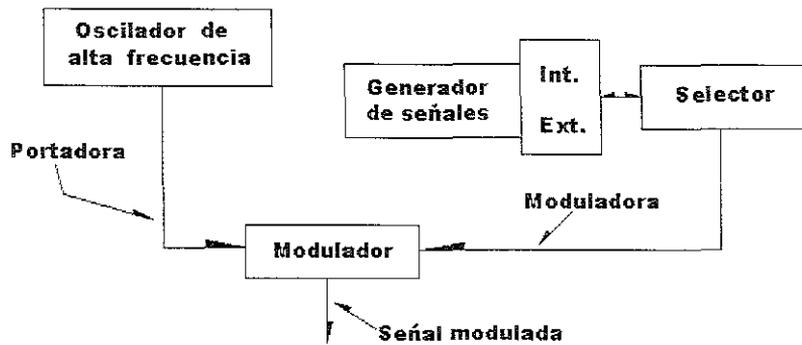


Figura (1). Diagrama de bloques de un sistema de transmisión.

A la salida de estos bloques se tiene una señal de alta frecuencia, conteniendo información (señal modulada), dicha información puede estar formada por unos y ceros, o por una señal continua. La señal de información puede ser una señal cualquiera para modular a la portadora de alta frecuencia.

Las señales cuadradas a una frecuencia fija, se utilizan principalmente para el inicio de este tipo de sistemas, porque es necesario primero realizar la correcta orientación de las antenas para saber si el transmisor está, o no enviando una señal de información. Posteriormente, teniendo las antenas orientadas, se puede transmitir cualquier señal teniendo la confianza de que se estará recibiendo en el lado receptor.

Recepción

La parte complementaria al transmisor lo forma el sistema de recepción, en ambos casos la misma palabra nos revela la función que se realiza dentro del sistema. En el receptor se va a recibir la señal enviada por el transmisor, la cual es amplificada y después, presentada a un medidor análogo o digital; también puede ser escuchada la señal (esto es conveniente cuando es una señal audible, como música, voz). La señal es primero amplificada en un amplificador de potencia y luego puesta en una bocina. En la figura siguiente, figura (2), se presenta un diagrama de bloques de los elementos mínimos con que debe contar un sistema de recepción.

En este diagrama de bloques se presenta un bloque denominado “medidor”, actualmente se tiene una gran tendencia a la utilización de medidores digitales, para las aplicaciones del equipo de microondas, se consideró que era mejor utilizar un medidor análogo, lo anterior debido a que es un poco más descriptiva la acción del medidor cuando la señal de entrada está teniendo variaciones alrededor de un cierto nivel. Otra razón para elegir este tipo de medidores, es porque en ocasiones es necesario fijar una lectura en un medio de la máxima desviación, para de ahí observar su variación. La respuesta de estos

indicadores se puede considerar instantánea. Además, en múltiples ocasiones es más fácil asociar una posición de la aguja en la carátula, que leer el dato de una medición.

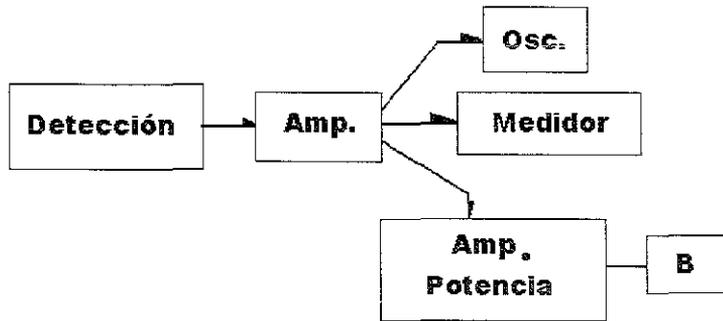


Figura (2). Diagrama de bloques de un sistema receptor.

El bloque “B” presentado en la figura(2), es una bocina de uso común para la reproducción de señales de audio. Esto resulta útil cuando se está demostrando el envío de una señal de audio. Al estar recibiendo la información se puede interferir la transmisión, situando algún objeto en la ruta de paso de la señal entre la antena de transmisión y la de recepción, ello produce una interrupción del enlace, y muestra la veracidad de la transmisión.

El bloque con la inscripción “ Osc.” presentado también en la figura (2), representa la salida hacia un osciloscopio, el uso de un osciloscopio es para observar la forma en que se recibe la señal, si presenta alguna alteración en su forma, o si a la señal recibida se le adicionaron señales que estén modificando sus características.

Los bloques que constituyen tanto al lado transmisor como al receptor están en envolventes individuales, diseñadas específicamente para ellos, y cuentan con sus respectivas salidas y entradas para los diferentes conectadores de las antenas, y los aditamentos necesarios para su correcta operación.

Transmisor de microondas

Cavidades resonantes

Los circuitos resonadores de baja frecuencia convencionales, (frecuencias por debajo de los 50 MHZ) consisten usualmente, de una bobina y un capacitor, arreglo poco adecuado para ser utilizado en frecuencias que comprenden las regiones de las microondas. No son arreglos adecuados, debido a que los valores que se requieren para generar las altas

frecuencias, serían de un valor pequeño, demasiado pequeño. Sin embargo, dicha configuración de inductancia y capacitor, sirvió de base para el desarrollo de alternativas. La búsqueda condujo a la decisión de tomar un pedazo de metal hueco, que hiciera las veces de circuito LC, en dónde las paredes actúan como la inductancia, y la parte superior e inferior actúan como capacitancia [5, 8].

Pero cómo se llega a ello. Se partió del hecho de que, a mayor frecuencia, se requieren menores dimensiones de bobina. Siguiendo el anterior razonamiento se tiene el diseño de una bobina con una sola vuelta, y el capacitor se reduce al área existente entre los extremos de la misma bobina lo que nos conduciría a un arreglo conocido como tanque de horquilla, el cual teóricamente está constituido por la bobina de una vuelta, y el capacitor del tamaño del área seccional del cable de la bobina. La configuración de dicho circuito se presenta en la siguiente figura (3).

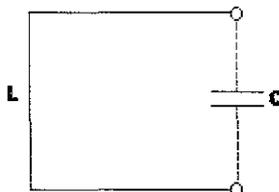


Figura (3). Dibujo del circuito conocido como tanque de horquilla.

La configuración no es útil tratándose de armar algún circuito, pero sirve de base para el desarrollo de un arreglo realizable. Por ello se continúa la idea, agregando un segundo tanque de horquilla en paralelo al ya existente, se tendrá entonces una configuración cerrada, como se puede apreciar en la siguiente figura (4).

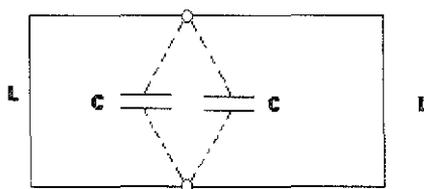


Figura (4). Dibujo de la forma en que se conectarían las dos horquillas

En un arreglo como el de la figura (4), el valor de la inductancia se va a disminuir, lo que es bueno porque se pueden lograr frecuencias más altas, al mismo tiempo se están acoplando los dos capacitores en paralelo, lo que produce un incremento de la capacitancia.

que a su vez compensa la disminución de inductancia y por lo tanto se conserva la frecuencia original.

Lo anterior puede llevar a la implementación de más tanques de horquilla en paralelo igualmente espaciados, hasta llegar a formar una pequeña cavidad circular como se aprecia en la figura siguiente (5). Es como si al arreglo de la figura (4) se le hubiera hecho girar rápidamente en torno a su eje, hasta crear la ilusión de un pequeño tambor.

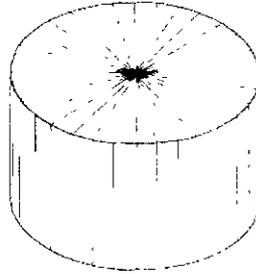


Figura (5). Dibujo que presenta una sucesión infinita de pequeños circuitos de horquilla que al final forman una cavidad.

El tamaño o dimensiones de la cavidad determinan que tanta inductancia y capacitancia se tiene en el circuito, y por lo tanto la frecuencia de oscilación [1, 5, 8]. Entre mayor sea la cavidad, mayor será la capacitancia y la inductancia, lo que conlleva a obtener una frecuencia menor, debido a que la frecuencia de resonancia es inversamente proporcional, a los valores de L y C . Esto por supuesto conduce al diseño de una cavidad pequeña, para lograr una frecuencia de oscilación alta.

Osciladores en alta frecuencia

Un diseño fijo de la cavidad sería muy rígido en su operación, y no permitiría ajuste alguno después de haber sido fabricado. Esto se puede corregir agregando a la configuración un émbolo deslizante, hacia arriba y hacia abajo. Mediante este agregado, se estará variando físicamente la distancia entre las dos placas del capacitor, formado por las horquillas, y de este modo se puede variar la frecuencia de resonancia del circuito oscilador, dentro de un intervalo, que tiene como límites la distancia máxima y mínima entre las dos placas.

Obviamente el ajuste que se logra no es muy grande, pero permite variar la frecuencia de oscilación en unos cuantos Giga Hertz. En la figura (6), se puede apreciar internamente la configuración de una cavidad de oscilación con su ajuste mecánico.

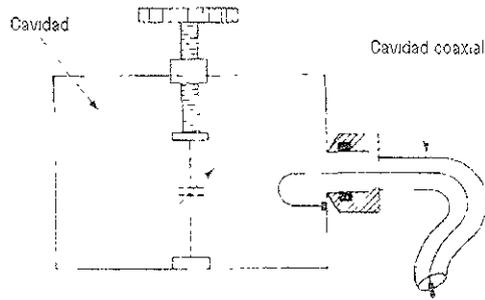


Figura (6). Dibujo de la cavidad de oscilación con ajuste mecánico de la cavidad

Este principio de operación condujo a la aparición de tres tipos de tubos de oscilación; estos tubos de oscilación son utilizados exclusivamente en sistemas de microondas, como osciladores y/o como amplificadores.

El magnetrón es utilizado como fuente de alimentación de pulsos de corta duración, pero con picos de potencia superiores a los mega watts, lo que resulta de una gran importancia para su aplicación en equipos de radar.

El oscilador o amplificador *Klystron*, es utilizado para amplificar una señal de microondas, o para suministrar una baja potencia. Este oscilador puede proporcionar una onda continua a su salida, que generalmente es usada como oscilación local en algunos receptores superheterodinos en microondas.

El tubo de onda viajera (TWT), es generalmente usado como amplificador lineal de señales de microondas en sistemas terrestres y en equipos de comunicación satelital.

Oscilador Klystron

Antes de tratar brevemente el tema del oscilador Klystron, se menciona como dato curioso el origen de la palabra Klystron. La palabra *Klystron*, se deriva de la palabra griega *Klyzein*, que significa “ rompimiento de olas en la playa”, más adelante, al exponer el funcionamiento de este oscilador se verá o tratará de relacionar su nombre con el significado de la expresión. En la figura siguiente se presenta la estructura simplificada de un Klystron de dos cavidades.

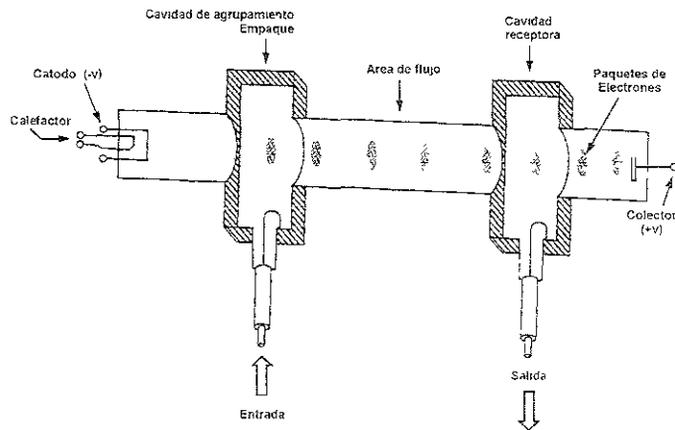


Figura (9). Dibujo simplificado de la estructura básica de un Klystron de dos cavidades

En el dibujo de la figura (9), se aprecia la estructura interna simplificada de un oscilador de dos cavidades. Un cátodo emite una corriente o flujo de electrones que inmediatamente es atraída, y viaja hacia el potencial (alto) del colector, pasando por las dos cavidades para que finalmente el flujo de electrones llegue al otro extremo del dispositivo donde se tiene el colector.

En uno de sus extremos del oscilador klystron, se inyecta una señal (al empaquetador, primera cavidad, según se puede apreciar en la figura (9)), lo que causa una oscilación dentro de la misma cavidad, es decir, causa una aceleración y un frenado del flujo de electrones, que van del cátodo al ánodo. Para explicar lo que sucede, se utiliza la analogía de una vía rápida en una ciudad moderna, en la que el flujo de automóviles llega a un punto en el que se frenan y se hace un grupo muy compacto de varios automóviles y posteriormente, pasando ese punto, pueden volver a acelerar y deshacer el grupo, luego llegan nuevamente a un punto donde vuelven a frenar y se hace de nuevo el grupo de autos, para nuevamente pasando ese punto acelerar. Se está modificando su **velocidad** [1, 5, 7, 8].

La oscilación de baja frecuencia y amplitud que se introduce en la cavidad empaquetadora, provoca paquetes de electrones a la frecuencia de la señal de entrada con la que se le está alimentando. Los paquetes de electrones cruzan el espacio del resonador designado como colector, a razón de un paquete por ciclo de señal de entrada. Los paquetes recibidos provocan oscilaciones en la cavidad resonadora del colector, y se transfieren hacia fuera de la cavidad utilizando un lazo de acoplo.

Los paquetes de electrones generados, y que posteriormente excitan la cavidad recolectora, alcanzan finalmente el colector en forma de ráfagas u oleadas.

Se distingue el hecho de que se utiliza una pequeña señal para modular la **velocidad** de un haz de electrones, por lo que la punta de prueba que está acoplada a la salida. proporcionará una señal similar a la de entrada, pero ahora amplificada. Este tipo de Klystron de dos cavidades, es usado como amplificador y por lo tanto también puede utilizarse como oscilador. Para que el *Klystron* funcione como oscilador, se alimenta a su

entrada una parte de la salida de él mismo, la cual es tomada del colector y conducida a la primer cavidad o empaquetador, que entonces se estará considerando como la entrada del oscilador.

Klystron Reflex

Un tipo especial de *Klystron* es el conocido como *Klystron* reflex o de reflexión, [5, 6, 7, 8]. El *klystron* reflex es un oscilador de baja potencia, que está específicamente diseñado para ser usado como oscilador local en un sistema superheterodino; este tipo de oscilador tiene un cierto intervalo de sintonización, en la siguiente figura (10), se tiene un dibujo en el que se presenta en forma sencilla el principio de operación del *Klystron* reflex.

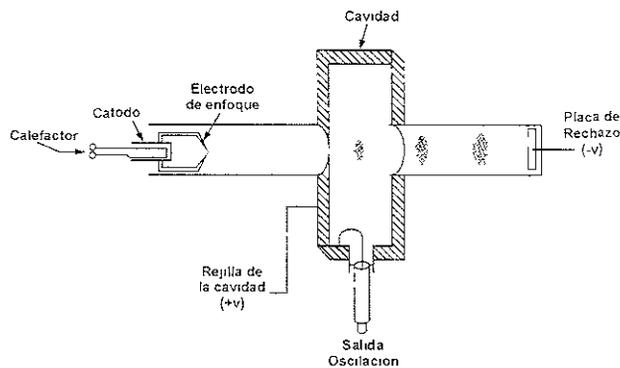


Figura (10). Dibujo de un oscilador Klystron reflex

Este tipo de oscilador solamente tiene una cavidad resonante y como algunos osciladores, no requiere de realimentación externa; por el contrario, el mismo se proporciona su realimentación (interna) positiva. La realimentación se logra reemplazando la polarización positiva del colector por una polarización negativa que rechaza el flujo de electrones.

Para explicar en forma sencilla la operación del oscilador *Klystron* Reflex, se debe suponer primero, igual que con algunos otros osciladores, que las oscilaciones han empezado, y segundo, se procede a describir cómo se sostiene oscilando.

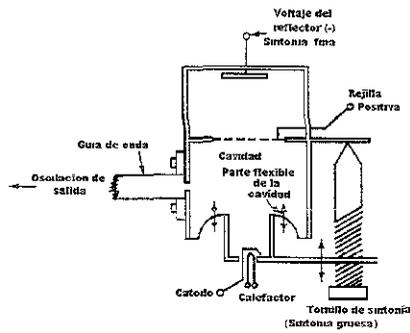


Figura (11). Dibujo esquemático de un oscilador Klystron reflex con control de ajuste en frecuencia. Este oscilador presenta como característica, el tener ya acoplada una guía de onda para facilitar su acoplamiento.

El Klystron utiliza la cavidad resonante como su principal modo de operación, y en el caso específico del *klystron reflex*, solamente utiliza una cavidad resonante. Como es sabido, una de sus principales ventajas es su habilidad para oscilar sin ningún tipo de componentes externos que seleccionen la frecuencia de oscilación. En la siguiente figura (12), se puede apreciar el dibujo del corte transversal de un tubo oscilador *klystron reflex*, en el se aprecian algunas de sus partes más importantes. El cátodo se encuentra a un potencial negativo muy alto, en comparación con el potencial que presentan el ánodo de enfoque, y la cavidad.

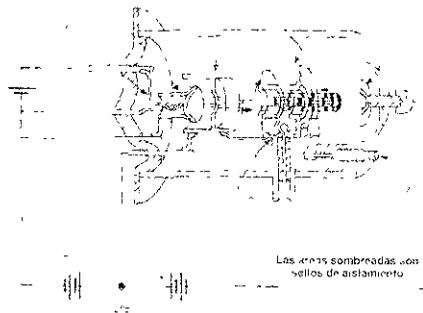


Figura (12). Dibujo esquemático del interior de un klystron reflex

La alta emisión de electrones que sale del cátodo es enfocada por el ánodo para que sea un haz de electrones controlado, el cual tiene que pasar a través del espacio que comprende la entrada a la chimenea de la cavidad, y finalmente pasa a la salida de la chimenea. El voltaje negativo del reflector se usa para detener el movimiento de los electrones, obligarlos a dar vuelta, y mandarlos de regreso a través de la cavidad por la cual

pasaron previamente. Como los electrones regresados vuelven a entrar a la cavidad, el volumen de carga debido al empaquetamiento estará en fase, y ello hará que se refuerce la siguiente ola de electrones empaquetados [5].

Los electrones que fueron regresados cederán su energía para sustentar la oscilación, y finalmente pasarán a través de la pared de la cavidad para quedar como una corriente de d.c. El voltaje negativo del reflector se fija para que los electrones completen su viaje a través de la abertura de la cavidad, dar la vuelta y regresar por la misma abertura de la cavidad, en tres-cuartos de un ciclo de la frecuencia de la señal de RF. [5, 7].

El tiempo que requiere el viaje de los electrones a través de la cavidad puede ser un número cualquiera de ciclos, más tres-cuartos de un ciclo. Cumpliendo con el requisito se logra sostener la oscilación. El ciclo de operación [1, 8] se expresa según la siguiente relación.

$$T = \left(n + \frac{3}{4} \right) \lambda \quad (1)$$

Se debe especificar, que los electrones nunca tocan el reflector, por lo que no existe corriente en el reflector. Específicamente, si los electrones llegaran a alcanzar (tocar) el reflector, el tubo se destruiría. Debido a esto, la mayoría de los manuales de empleo [6, 32] indican o hacen énfasis, en el hecho de tener un voltaje de reflector encendido antes de que el voltaje de cátodo sea aplicado. Generalmente, el voltaje de reflector se encuentra en un intervalo que puede tener en un extremo un valor cercano a cero, hasta (-)250 Volts de d.c. Para el alto voltaje del cátodo se pueden encontrar fuentes de alimentación que llegan hasta los (-)750 Volts de d.c. dependiendo del modelo de *Klystron* que se vaya a manejar. El cátodo puede tener un voltaje dentro del intervalo que va de (-)500 a (-)1500 Volts de d.c.

Modulación de la señal portadora

Para el envío de una señal de información, es indispensable poder alterar alguna de las características de la señal portadora. Una forma de lograrlo, es modificando la frecuencia de la señal portadora de acuerdo a la señal de información, cuidando que la modificación sea lineal y dentro de un intervalo, para que en el lado receptor al ser detectada esa variación, sea interpretada como información [1, 5]. Para lograrlo, se alimenta la señal de información junto con el voltaje del reflector del *Klystron*, de forma tal que la señal pueda afectar al voltaje del reflector [8].

Otra forma de modular la señal portadora, es modificando en forma muy ligera el voltaje del reflector del *Klystron*, alrededor del centro de uno de los modos [5, 6, 7], figura(13); esto produce una modulación en frecuencia muy cercana a una modulación lineal, aunque a la salida se tiene una señal que también puede estar modulada en amplitud, en un cierto nivel, que dependerá de que tan grande sea la excitación del voltaje modulado.

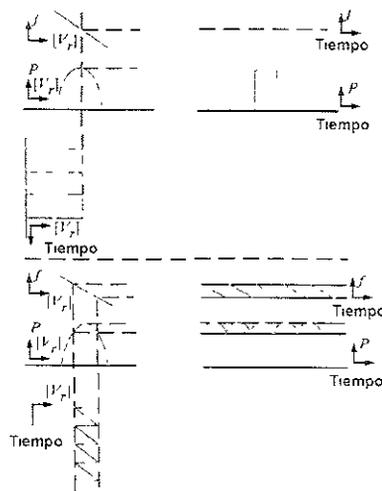


Figura (13). Características de modulación de un Klystron reflex Potencia de salida(p); frecuencia de oscilación(f); Voltaje de modulación del reflector(V_r).

La modulación se logra debido a que se tiene un cambio en el voltaje del reflector, ese cambio producirá una alteración en el tiempo de retorno del haz de electrones en el oscilador Reflex, lo que lleva a obtener un cambio en la frecuencia de salida. Como se mencionó anteriormente, la frecuencia de salida del oscilador se puede ajustar ligeramente con el tornillo externo que mueve las placas de la cavidad. Ese tornillo de ajuste se puede apreciar en el dibujo de la figura (12).

La fuente de oscilación, deberá estar en un intervalo de frecuencia alta, que puede comprender frecuencias de 8.2 GHz hasta 12.4 GHz. Estas frecuencias límite corresponden con la banda de transmisión denominada banda X. Esta asignación se hizo cuando la segunda guerra mundial comenzaba, y la necesidad de un sistema de microondas era urgente, por tal razón el cuidado que usualmente se tiene en la asignación de las bandas de frecuencia se abandonó por lo apremiante de la situación. Actualmente se proponen asignaciones espaciadas en una manera más uniforme, anteriormente se asignaban esos valores porque eran los extremos en los que se podía coincidir al fabricar los osciladores. Con los controles de procesos modernos, es posible obtener cavidades centradas en cualquier frecuencia que se desee.

Esta asignación a las bandas de frecuencia se volvió un estándar industrial y se continuó con ella hasta que el programa de desarrollo satelital tomó mayor importancia.

Las microondas también se pueden generar usando dispositivos semiconductores, aún cuando estos dispositivos se basan en principios diferentes, su límite de frecuencia se ha extendido hasta el intervalo de microondas. Sin embargo, la atención se sigue poniendo en tres tubos de oscilación, el *Klystron*, el magnetrón y los tubos de onda progresiva.

Por sencillez y margen de potencia, se utiliza el tubo de oscilación *klystron*, y específicamente el tubo *klystron reflex 2K25* fabricado por la empresa *philips* [6], que es comúnmente utilizado como oscilador local.

Diseño y construcción de la electrónica utilizada por el transmisor

El oscilador *Klystron reflex* requiere de dos fuentes de voltaje de d.c., una de ellas fija a 330 Volts máximo, para alimentar al resonador; una segunda fuente de (-) 440 Volts como máximo, y ajustable para el reflector. Estos valores pueden variar dependiendo del oscilador que se haya seleccionado. Una tercera fuente de voltaje de 6.8 Volts a.c., se aplica al cátodo del *klystron* para producir el chorro de electrones. Mediante estas tres fuentes de voltaje es posible hacer funcionar al *klystron*.

Fuentes de alimentación

Alto voltaje

Para el oscilador *2K25* las fuentes se hicieron partiendo de transformadores de 275 Volts a.c. la rectificación se hace con diodos 1N 4006, seguido de dos capacitores de 20 μ fd. La regulación de la tensión se logra mediante un arreglo transistor y diodo zener a la base. Para cada fuente de voltaje se utilizan tres diodos zener a 110 Volts cada uno. El arreglo utilizado es como el que se presenta en la figura (14).

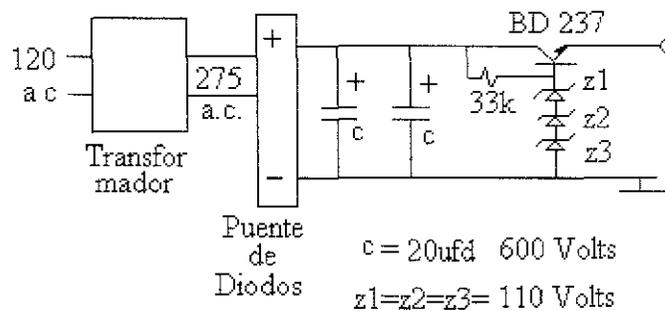


Figura (14). Diagrama esquemático de una fuente de alto voltaje para el *klystron*

La segunda fuente de alimentación utilizada en la operación del *Klystron* es similar a la presentada en la figura (14), con la diferencia de que en esta segunda fuente se puede ajustar manualmente el voltaje de salida, para que se generen los diferentes modos de operación, los niveles de potencia, y los intervalos de frecuencia. La frecuencia de operación estará dentro del intervalo en el cual puede ser ajustado el oscilador en forma

eléctrica. También es posible lograr un segundo ajuste del oscilador, mediante el tornillo externo que tiene el *Klystron* a un costado del cuerpo. Con ese tornillo del *klystron*, se modifica la distancia existente entre las dos rejillas internas del oscilador

Para obtener el ajuste en frecuencia y potencia, se modifica la tensión de voltaje en el reflector sin llegar a rebasar el máximo voltaje permitido, el cual viene especificado en las hojas de datos del oscilador. El diagrama de bloques de la fuente utilizada, se presenta en la siguiente figura (15).

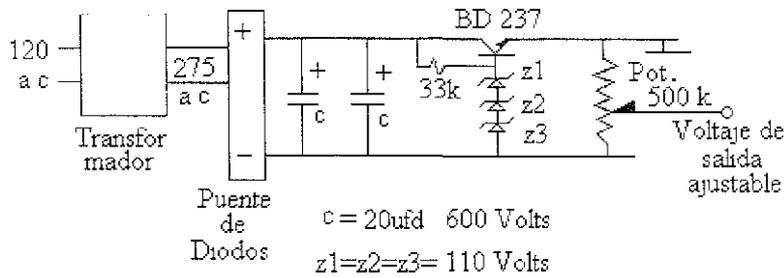


Figura (15). Diagrama esquemático de la fuente de alimentación del resonador del *Klystron*

Este segundo voltaje aplicado al oscilador *klystron*, es negativo respecto a tierra, y deberá ser como máximo de (-)400 Volts d.c., Se tiene una restricción de seguridad para este voltaje, no deberá permanecer en cero Volts por periodos prolongados de operación.

Bajo voltaje

Una cuarta fuente de alimentación, polariza los diferentes circuitos electrónicos del transmisor como el generador de onda cuadrada, también se alimenta con esta fuente al sistema de amplificación, que se utiliza en la admisión de la señal externa moduladora.

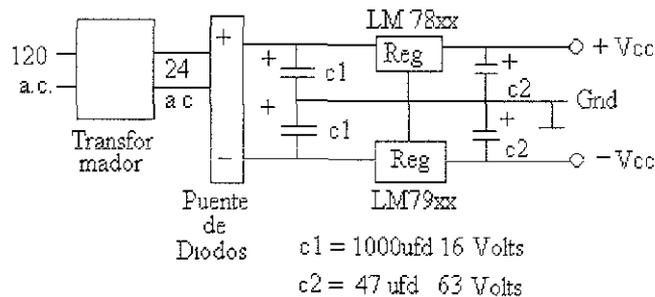


Figura (16). Diagrama esquemático de la fuente de alimentación de los circuitos electrónicos contenidos en el módulo de alimentación del *Klystron*.

El diagrama de conexión de los diferentes bloques que integran al transmisor, se presenta en la figura (17). En esta figura (17), se presenta un bloque que tiene el letrero de *Modulación*; la modulación puede ser externa o interna. Cuando se utiliza la modulación interna, generalmente es porque se necesita probar el enlace (señal de prueba) entre el transmisor y el receptor, además de ser útil para realizar algunas pruebas o experimentos propios de un laboratorio. Posteriormente a la calibración, es posible utilizar alguna fuente externa de modulación, la cual es introducida hasta el oscilador *klystron*, mediante un pre-amplificador y un amplificador diseñados explícitamente para tal propósito.

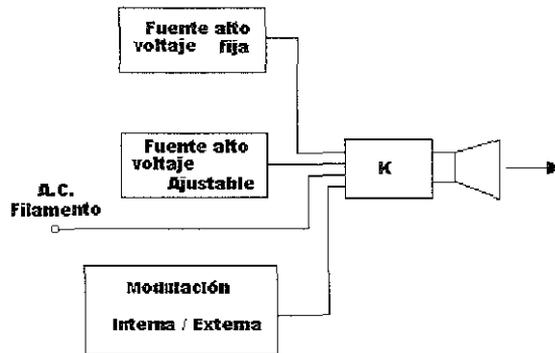


Figura (17). Diagrama de bloques simplificado de un transmisor en la banda de microondas

Electrónica utilizada en la modulación.

Generador de señal única de prueba

Para generar una señal de información, se puede utilizar una señal de baja frecuencia ($\cong 1$ KHZ) estable y conocida, como lo es una señal cuadrada y/o una señal senoidal. En este caso en particular, se genera internamente una señal cuadrada mediante un oscilador que utiliza un amplificador operacional de uso común [2]. El diagrama esquemático del oscilador se presenta en la figura (18).

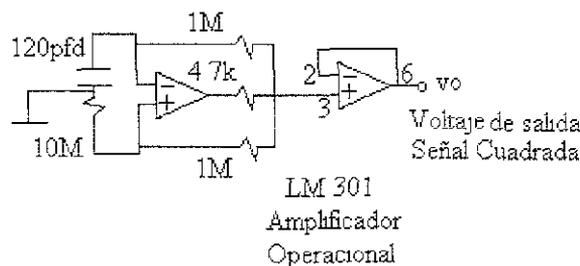


Figura (18). Dibujo esquemático del circuito electrónico del oscilador de señal cuadrada

El circuito oscilador está basado en un amplificador operacional convencional, su frecuencia de oscilación la determina el arreglo RC, en sus entradas positiva y negativa. Los valores asignados son:

$$R = 10M\Omega$$

$$C = 120 \text{ pfd.}$$

Las resistencias adicionales fijan una ganancia para el oscilador, al que se le agrega un amplificador en configuración seguidor para evitar un drenado excesivo de corriente.

Generador de funciones

El primer generador puede realizar un función de prueba para el arranque del enlace. sin embargo, en ocasiones es necesario el envío de una señal diferente a la senoidal. Para tales circunstancias se tiene un generador más completo como el generador integrado XR8038A [17], con el cual se puede tener acceso a una señal triangular y a una cuadrada, además de la senoidal. Cubre un intervalo de operación que puede ser de entre 62 HZ hasta 3100 HZ. Lo anterior se logra con un número mínimo de componentes externos, que incluye un potenciómetro para la selección de la frecuencia.

El circuito integrado tiene un intervalo de frecuencia de operación dividido en ocho décadas, que se seleccionan mediante un par de elementos (una resistencia y un capacitor). Una característica importante que conviene resaltar, es el hecho de que las tres formas de onda son totalmente independientes, y están disponibles simultáneamente por cada una de sus salidas.

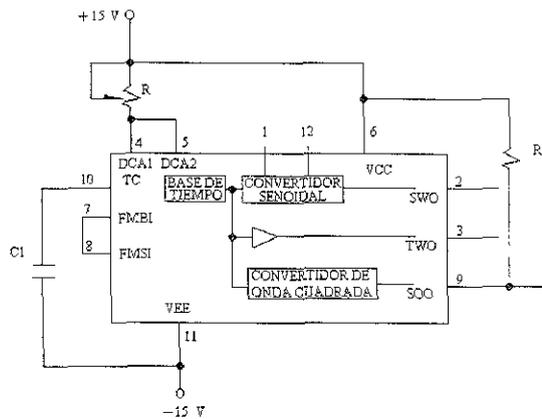


Figura (19) Dibujo esquemático del generador interno

El circuito integrado XR-8038A, se puede alimentar con una sola fuente o mediante una fuente bipolar, en ambos casos presenta características que lo hacen una herramienta versátil para un gran número de aplicaciones. Para el generador de funciones se debe

disponer de un potenciómetro de control de frecuencia, el cual debe estar al frente del módulo del transmisor.

Utilización de una señal externa en la modulación

Otra opción de modulación, es utilizar una señal externa de baja frecuencia y de bajo voltaje. Cuando se selecciona esta opción, se utiliza el conector BNC de entrada, el cual está al frente del módulo de transmisión, también se debe seleccionar esta opción mediante la llave selectora. La señal moduladora externa entra a un amplificador que tiene una ganancia mínima de diez, con esta ganancia se está obteniendo una señal adecuada en tamaño y con un nivel de potencia suficiente, para lograr la modulación.

La salida de este amplificador puede modular la señal de microondas para ser transmitida hacia el lado receptor. En la siguiente figura (20), se presenta el diagrama esquemático del amplificador utilizado en la amplificación de la señal de información externa.

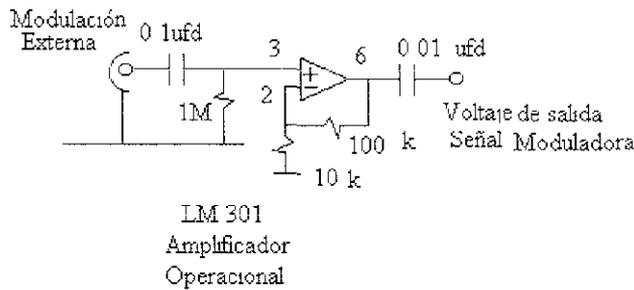


Figura (20). Diagrama esquemático del circuito electrónico utilizado en la amplificación de la señal moduladora externa.

Circuito Impreso

La electrónica necesaria para lograr la operación del transmisor de microondas se agrupa en tarjetas de fibra de vidrio, las cuales están contenidas junto con las fuentes de alimentación, controles de voltaje, selector de funciones e indicador numérico de voltaje en una envolvente especialmente diseñada para tal función

Medidor de Voltaje

En el módulo de transmisión que contiene los circuitos electrónicos necesarios para la operación del Klystron, se presenta también un medidor de voltaje que permite conocer el voltaje aplicado al reflector del Klystron. El medidor presenta una pantalla luminosa de tres y medio dígitos, está basado en un circuito integrado Intersil 7106 ICL [18], que contiene los elementos necesarios para recibir el voltaje, hacer la conversión de la medición

análoga a digital, y posteriormente pasarla por los manejadores de pantalla, para finalmente presentar la medición en un despliegue luminoso [19]. A este circuito sólo es necesario agregarle cuatro resistencias y cuatro capacitores, además de un sencillo filtro a la entrada para minimizar la posibilidad de una interferencia.

Originalmente el medidor es capaz de medir dos márgenes de voltaje, uno de ellos es de 0 a 200 mVolts, y el segundo está entre cero y dos volts. Para extender el intervalo de aplicación hacia márgenes más amplios, se tiene que agregar un divisor de tensión a la entrada del circuito integrado.

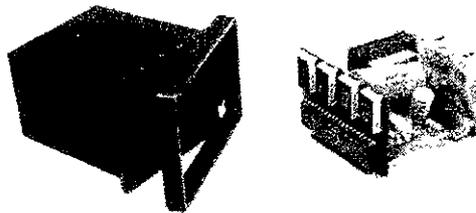


Figura (21). Fotografía del medidor de voltaje. El medidor tiene su propia envolvente plástica.

En la siguiente figura (figura (22)), se presenta la fotografía del módulo que contiene la electrónica necesaria para el funcionamiento adecuado del transmisor. En la fotografía se aprecian los controles de nivel de voltaje del reflector, de paso suave; el selector de moduladora, con las opciones: externa, senoidal y cuadrada. También se aprecia el conector BNC de entrada, para la señal de modulación externa.



Figura (22). Fotografía del módulo que contiene la electrónica necesaria para la operación del oscilador Klystron

Características de operación del transmisor utilizando un *Klystron philips 2K25*

La frecuencia de oscilación es ajustable dentro de la banda de 8.5 GHZ a 9.66 GHZ, con una potencia [W0] de salida de 45 mW [32].

Voltaje de calentamiento [Vf]	6.8 Volts máximo
Voltaje de resonador [Vres]	330 Volts máximo
Corriente de resonador [Ires]	37 mAmp
Voltaje de reflector [Vrefl]	-400 Volts máximo
Temperatura [de cuerpo] de operación	110 °C

La frecuencia de oscilación del tubo *klystron* puede ser ajustada mediante un control eléctrico asociado al voltaje del reflector. Modificando el voltaje del reflector, se pueden generar tres modos de frecuencia.

Frecuencia	Voltaje de reflector
F = 8.5 GHZ	(-) 85, (-) 135 Volts
F= 9.66 GHZ	(-) 143, (-) 200 Volts
F= 9.37 GHZ	(-) 75, (-) 120 Volts

De igual forma la potencia a la salida varía al variar el voltaje aplicado en el reflector, según sus hojas de datos el *klystron 2K25* presenta tres posibles modos de potencia. Los modos de potencia están especificados según la frecuencia a la que está oscilando el *klystron*. [32].

F= 8.5 GHZ	W0 = 20 mW
F= 9.66 GHZ	W0= 20 mW
F= 9.37 GHZ	W0 = 35mW

Modulación

Interna.

Señal de prueba.
Frecuencia.: \cong 833 HZ
Amplitud. : \pm 6 Volts
Forma de onda. : Cuadrada.

Generador de funciones
(opcional)
Circuito integrado XR 8038A

Algunas de sus características más importantes se reproducen a continuación.

Frecuencias: 62 HZ – 3100 HZ
Amplitud: 0.5 Volts – 10 Volts [Para una resistencia de carga de 100K Ω]
Formas de onda: Triangular. Cuadrada. Senoidal

Según su hoja de datos [17] cumple con:

Linealidad de: 0.1%

Estabilidad en temperatura: 50 PPM/°C

Impedancia de salida: 200Ω

Externa.

Impedancia de entrada. :10¹²Ω

Impedancia de salida. : 100Ω

Voltaje de entrada. :200mVolts [Max]

Voltaje de salida. :10 Volts

Potencia

55 Watts

Medidor de voltaje

Circuito integrado

Intersil ICL7106

Intervalo de medición. 0 – 500 Volts D.C.

Presentación: 3.5 Dígitos luminosos.(rojo)

Alimentación: directa de la línea.

Esta dispuesto en su envoltente plástica.

Antenas utilizadas en microondas

En un sistema de comunicaciones el medio por el cual viaja la información recibe el nombre de canal. En ocasiones el canal es una línea física de transmisión, ya sea un cable coaxial o par balanceado o fibra óptica, y por supuesto el aire. Cuando se trata del aire como medio de enlace o canal, las condiciones son diferentes con respecto a los otros medios, ya que se está pasando la energía de un medio acoplado a uno que presenta una impedancia diferente. La forma en que se puede lograr un acoplamiento entre el medio de transmisión o canal y el transmisor, es haciendo uso de un elemento conocido como antena [12]. La antena es el elemento que permite radiar la energía en todas direcciones, en una sola o en varias, según sean las necesidades de comunicación que se presenten.

Las antenas se pueden definir, como a los componentes de todo sistema electrónico que depende del espacio libre, como medio de propagación. Es decir, la antena es un dispositivo que proporciona los medios para radiar o recibir ondas de radio, es un transductor entre la onda electromagnética guiada y la onda electromagnética propagándose

en el espacio libre. Cuando se habla de un enlace en comunicaciones, el transmisor se conecta a través de un cable o guía de onda a una antena, y la señal es radiada a otra antena situada a una distancia prudente, para posteriormente pasar a otro cable o guía de onda y de ahí hacia el receptor.

Pasando a lo que diseñar una antena involucra, se puede definir que, sin importar las diferencias físicas que puedan existir en la fabricación de los diferentes tipos de antenas, y de las frecuencias que éstas deben poder manejar, existen ciertas propiedades que les resultan comunes, y que además son las de mayor interés.

El patrón de radiación, la ganancia, la polarización y la impedancia, son propiedades de las antenas que se pueden ajustar, según los requisitos de diseño de un sistema de comunicaciones [1, 3, 12]. El patrón de radiación de una antena determina la distribución espacial de la energía radiada. Para el caso muy especial de una antena vertical, esta origina una cobertura uniforme en el plano horizontal, con cierta direccionalidad vertical que le permite radiar su energía hacia cualquier dirección, ejemplo de ello son las antenas usadas en radiodifusión.

Para algunas antenas direccionales las propiedades de mayor importancia en el patrón de radiación son el ancho del haz, y el nivel que presentan los lóbulos laterales. El ancho del haz en un plano determinado, es generalmente definido por la parte ancha que presenta el haz cuando se mide a partir de los 3db [12], por abajo del nivel máximo del haz. El nivel de los lóbulos laterales se considera en referencia al máximo nivel del lóbulo principal, y se expresan en db por debajo de este.

Los diferentes tipos de antena, determinan la técnica utilizada en el diseño de la misma. Las antenas formadas con alambre, como los dipolos o *Yagi* [1, 3], se analizan a través de su patrón de radiación, o corrientes de radio frecuencia. Las antenas de apertura, tales como las cornetas y reflectores, se analizan usando las propiedades de radiación de los campos. Ahora, esto no significa que una antena de corneta no pueda ser estudiada, a partir de su patrón de radiación de hecho, obtener el patrón de radiación de una antena sea cual sea, es una práctica común y de gran ayuda para conocer el desempeño de la antena.

Aun cuando se dispone de teorías exactas para el diseño de antenas, las mediciones experimentales son una valiosa herramienta. Con las mediciones se describe el comportamiento de la antena, y de esta forma se puede lograr un mejor diseño, desarrollo y desempeño de la antena. Un tipo muy especial de antena lo constituyen las utilizadas en microondas conocidas como antenas de corneta. De hecho, son un símbolo que permite inclusive reconocer a un sistema de microondas; asociadas a ellas están las guías de onda, piezas de vital importancia para la conducción de la señal de información.

Antenas piramidales o de corneta

Las guías de onda rectangulares son por si mismas elementos útiles en la radiación [1, 5, 8], se comportan como antenas sencillas que radian energía por la parte abierta. Sí se intenta transmitir de esta forma, es posible lograr una cierta ganancia con respecto de una antena isotrópica. Esto es posible dependiendo de la relación que se tenga entre las dimensiones físicas de la guía de onda, y de la longitud de onda a la frecuencia de operación. La posible ganancia que se tenga, es el resultado de la concentración de la energía en una sola dirección. Al utilizar de esta forma a la guía, se está obteniendo un patrón de radiación muy parecido, a la forma de un balón [12].

Existe el ligero inconveniente de un posible desacoplo entre la impedancia de la guía de onda y la impedancia en el espacio libre, lo que daría por resultado una relación de onda estacionaria muy elevada [1, 12]. El desacoplo debido a la diferencia de impedancias, se corrige ensanchando lentamente la apertura en uno de los extremos de la guía de onda utilizada, hasta formar una corneta o extremo piramidal. Además de lograr con este método la reducción del desacoplo, y del nivel de la relación de onda estacionaria (*SWR*), también proporciona una buena ganancia; un ángulo del ancho del haz estrecho, medidas pequeñas, con poco peso y algo importante, una fabricación sencilla. Además, debido a que no tiene partes resonantes, la antena de corneta puede cubrir un cierto intervalo de frecuencias.

Se debe notar la relación que se tiene entre la guía y la antena, presentada en los dibujos de la figura (23). La letra "a" se le asigna a la parte ancha de la guía, hasta el extremo de la propia guía de onda o garganta, y que corresponde con la dimensión "A" de la parte ancha de la antena de corneta, en la llamada boca o base de la pirámide. Lo mismo se aplica para la dimensión "B" de la boca o base de la corneta.

Se supone un modo de excitación estándar TE_{10} [1, 5] para la guía de onda rectangular, de esta forma se tiene un campo eléctrico E a través de la dimensión "b", de la guía de onda. En la figura (24), se presenta una antena de corneta en el plano "H"; en cambio en la figura (23) se presenta una sección en el plano E. La antena de corneta en la figura (25), se abre en ambas direcciones logrando con ello una antena piramidal.

La antena de corneta o piramidal es común en las comunicaciones por microondas. La dirección del campo eléctrico E, en la antena de corneta establece la polarización de la señal transmitida. La figura (23) tiene sólo polarización vertical.

Los factores que controlan la ganancia y el ancho del haz, son las relaciones entre las dimensiones A/a y B/b; la longitud de la corneta o extensión piramidal de la guía de onda, que va de la garganta (extremo de la guía) a la boca (base piramidal) de la antena son influenciados por estas relaciones dimensionales, así como la frecuencia de operación.

Las relaciones que guardan, las dimensiones de la antena se presentan en el dibujo de la figura (23), estas figuras están para el plano A, para el plano B es la misma relación, solamente se tiene que sustituir A por B

El ángulo de apertura de la antena de corneta, controla la directividad de la ganancia, y el ancho del haz de la energía emitida por la corneta, sin embargo, el ángulo de apertura es función de la longitud, medida a partir de la boca de la corneta. Lo anterior explica el porque la ganancia y el ancho del haz, están generalmente expresados en términos de la longitud de la propia corneta, comparada con el área de la boca ($A \times B$) en longitudes de onda.

Según se muestra en la figura (23), cuando el ángulo de apertura de la guía de onda se abre de cero grados hasta llegar a (\pm) quince grados, la directividad y la ganancia se elevan, y el ancho del haz se estrecha. El ancho del haz se va estrechando durante el proceso del incremento de la ganancia.

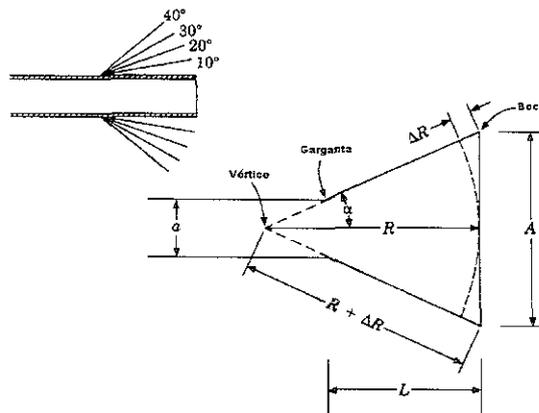


Figura (23). En este dibujo se representan las dimensiones y los ángulos que afectan la ganancia y el ancho del haz.

Longitud de la antena y su ganancia

El límite superior se alcanza cuando la longitud de la pendiente ($R + \Delta R$), se vuelve 0.375 veces mayor que la línea central imaginaria (R), es decir, que $\alpha = \text{Arc Cos}(R/1.375R) = \pm 43.4$. Se debe notar que es aproximadamente ± 45 , muy cercano a un ángulo total de apertura de noventa grados [1]. Los extremos se expresan como longitudes mínimas, y la longitud óptima que resulta de estos dos ángulos, limitan un área específica de la boca de la corneta.

La antena de corneta puede tener una longitud (L) adicional, por lo cual lo mejor será utilizar la longitud óptima en vez de una longitud mayor o máxima. Para una longitud menor a la mínima, el lóbulo de radiación principal comienza a separarse en dos lóbulos, y luego en tres, y así continuaría si se sigue reduciendo la longitud; reduciendo la ganancia y abriendo el ancho del haz.

La longitud mínima de la corneta (L_{min}), es una función del máximo ángulo de apertura, y se puede determinar comparando la diferencia entre las dimensiones de la boca

de la antena y las de la garganta de la guía de onda [1]. Lo anterior se expresa en la ecuación [2].

$$L_{\min} = \frac{(A-a) + (B-b)}{4} \quad (2)$$

Ahora, la longitud óptima de la corneta es:

$$L_{opt} = \frac{AB}{\log 2} \quad (3)$$

La expresión más común para la ganancia es $(10 \log(7.5AB/\lambda^2))$, y la ecuación asociada con el ángulo del haz (α), se utiliza cuando se buscan condiciones óptimas solamente. En las siguientes figuras se presentan unos dibujos, con las posibles formas que puede tomar una antena de corneta.

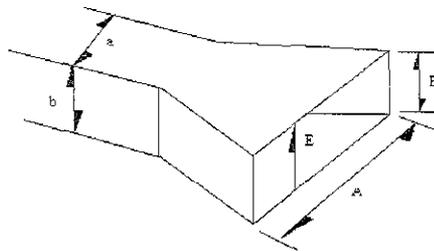


Figura (24). Antena de corneta. Plano H.

En este tipo de antena figura (24), sólo se aumentó la dimensión “a” del plano. En cambio, para el dibujo en la figura (25), el aumento en las dimensiones de la boca de la guía de onda, fue en ambas dimensiones logrando una forma simétrica de desarrollo.

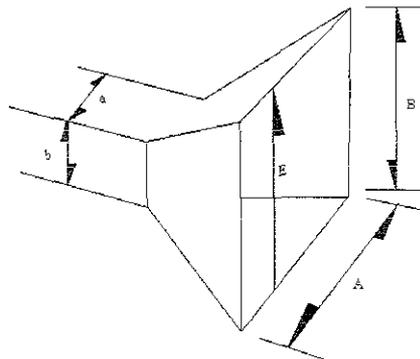


Figura (25). Antena de corneta. Piramidal

La forma presentada en el dibujo de la figura (23), es la forma complementaria de la figura (24). En la figura (23) se modificó solamente la dimensión b.

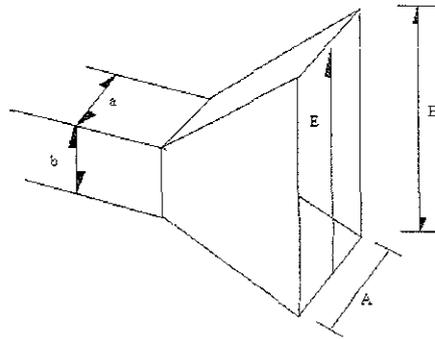


Figura (26). Antena de corneta. Plano E.

Para este tipo de diseños, la alimentación en la guía de onda se mantiene como TE_{10} , sin embargo se considera a la antena de la figura (24), como una sección de corneta en el plano H [1, 5]. El dibujo de la figura (23) representará entonces una sección de corneta en el plano E.

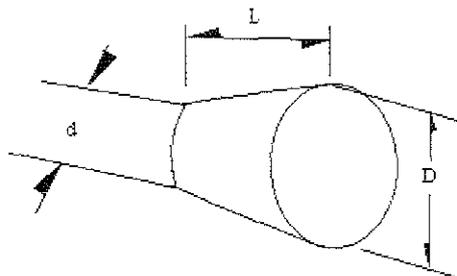


Figura (27). Antena de corneta. Tipo Cónica

En ocasiones las antenas de corneta se utilizan como patrón de referencia para la ganancia, entonces es cuando se requiere que su exactitud sea menor al 1%. Las ecuaciones aquí presentadas pueden ser excelentes herramientas para lograr una aproximación muy cercana a la exactitud deseada al grado tal, que bajo condiciones de prueba en laboratorio han dado resultados satisfactorios, comparados con los obtenidos con ecuaciones de desarrollo consideradas como óptimas.

Después de todo, es más importante conocer como funciona la antena de corneta cuando se le presentan señales bajo ciertas condiciones, que tener soluciones teóricas elaboradas, que aunque necesarias en ocasiones, están un poco alejadas de la realidad.

Las cornetas redondas conocidas también como antenas de corneta cónicas, son utilizadas principalmente en sistemas de antenas giratorias, que pueden girar 360 grados en su horizonte. La guía de onda asociada debe pasar de una forma rectangular a una forma redonda, para poder ser utilizada en los diferentes dispositivos de giro con que cuenta el sistema.

Se puede tener una gran variedad de tipos de antenas de corneta, aquí sólo se mencionaron las más populares dentro de los sistemas de transmisión-recepción. En la figura siguiente se presenta la fotografía de un par de antenas piramidales, una de ellas con soporte descubierto para el oscilador *Klystron*, la otra presenta una nueva versión (redonda) de brida para el acoplo con el oscilador o con la parte de recepción. Los planos para la fabricación de la antena piramidal se encuentran en la parte III, plano GC_11.

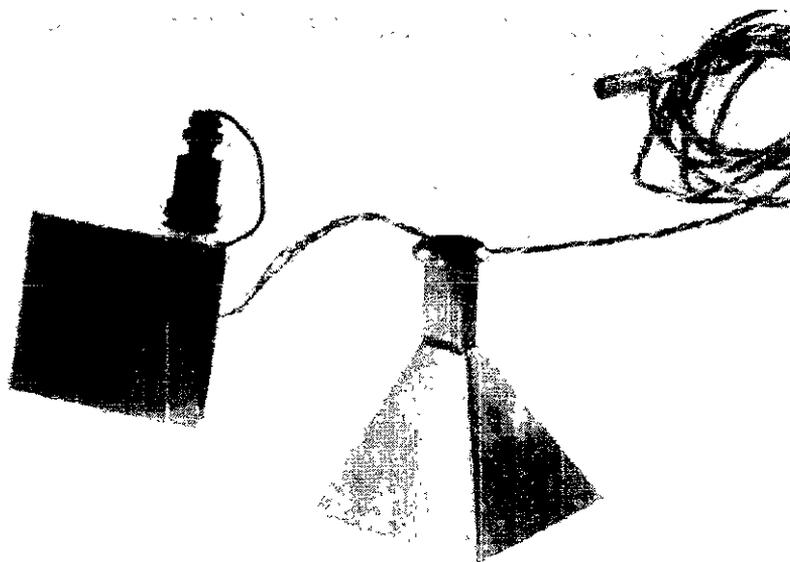


Figura (28). Fotografía de un par de antenas piramidales o de corneta

Campo lejano

En casi todos los sistemas la antena receptora se encuentra en el campo lejano de la antena transmisora [13]. El concepto de la distancia al campo lejano de una apertura plana, es importante cuando las propiedades de radiación de las antenas deben ser medidas. Los intervalos de las antenas externas normalmente satisfacen la aproximación de campo lejano, mientras que los intervalos de las antenas de uso interno, más compactas, pueden estar en el límite entre el campo cercano y el intervalo del campo lejano [15].

La región del campo lejano, es una región donde las ondas esféricas radiadas desde una apertura, se pueden considerar como ondas planas, sin variación en el plano transversal a la dirección de propagación [13, 14, 15, 16]. El cambio en el campo, entre la región de campo lejano y la región de campo cercano es gradual. Para explicar el concepto se presenta el dibujo de la figura (29).

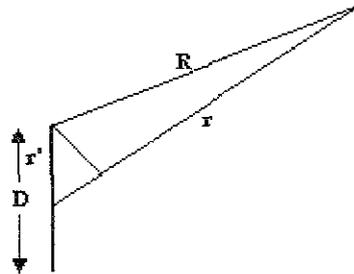


Figura (29). Dibujo que representa las distancias entre dos puntos, uno en el campo lejano y el otro en el campo cercano.

Si se supone que R es la distancia desde la apertura que tiene un diámetro D, y la fuente emisora. La distancia al campo lejano se puede expresar como [13].

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} \quad [4]$$

Se considera a D, como al diámetro de la antena receptora que está bañada con la señal del transmisor, que para el caso que nos ocupa es aproximadamente 10.5 cm, y si la longitud de la onda se considera de 3 cm. La región del campo lejano estará un poco más allá de los 73.5 cm.

Antena dieléctrica

Una antena dieléctrica ofrece ventajas para ser utilizada en las aeronaves modernas. Los aviones militares modernos son delgados y de muy alta velocidad. Para ellos, los sistemas de computo y de comunicaciones son vitales, una parte de su efectividad la basan en sus sistemas de detección de aviones o posiciones contrarias.

En el sistema de radar algunos utilizan un tipo de antena muy similar a la aquí descrita. Son antenas construidas de un material del tipo dieléctrico. El dieléctrico con el que están hechas puede ser de cualquier tipo, el requisito es que sea poroso y de alta resistencia. debe tener una constante dieléctrica entre 2.5 y 32. [1]

La energía se le suministra a la antena a través de un cable coaxial corto, hacia la guía de onda en la cual está empotrada. La sección de guía de onda está llena del mismo material dieléctrico, y la energía se propagará por él. Para secciones de varilla pequeñas la

energía se mueve hacia la salida de la varilla (el extremo delgado que está fuera de la sección de guía de onda), y se propaga a la velocidad de la luz en el espacio libre.

Al reducir un extremo de la varilla se logra transferir la energía de adentro hacia fuera de la misma varilla, y lanzarla hacia delante a lo largo de la misma varilla.

Para este tipo de antenas se tienen diversos modelos o arreglos que cumplen con la finalidad de acoplar la línea de transmisión con el espacio libre, y a la vez dirigir la energía hacia una zona en especial [1, 8]. Un modelo típico de estas antenas se muestra en la figura (30), en ella se puede apreciar un dibujo con los elementos necesarios para un buen funcionamiento.

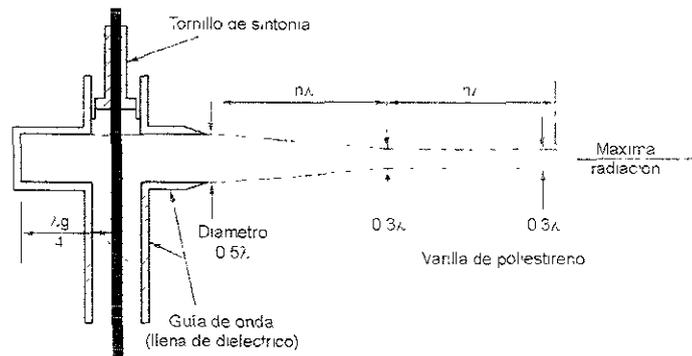


Figura (30) Dibujo de una antena de varilla dieléctrica. La guía de onda que tiene acoplada está llena del mismo material.

En la figura siguiente se presenta una fotografía de una antena dieléctrica construida según los conceptos vertidos en los párrafos anteriores. En ella se aprecia la unión entre el material no conductor y el soporte metálico. El soporte metálico tiene acoplado un sistema de brida para su fácil conexión con cualquier elemento mecánico. La conexión se hace mediante un cable coaxial con extremo BNC, en ambos extremos. Los planos de fabricación se encuentran en la parte III de este trabajo. Planos GC_1 al GC_4 y GC_10.

Cuando se utiliza en el extremo transmisor, la antena puede ser fácilmente desmontada de su extremo metálico. En este caso, la alimentación de la antena se hace directamente de la sección de guía de onda a la antena. De igual forma, las bridas coinciden para un acoplo sin pérdidas.

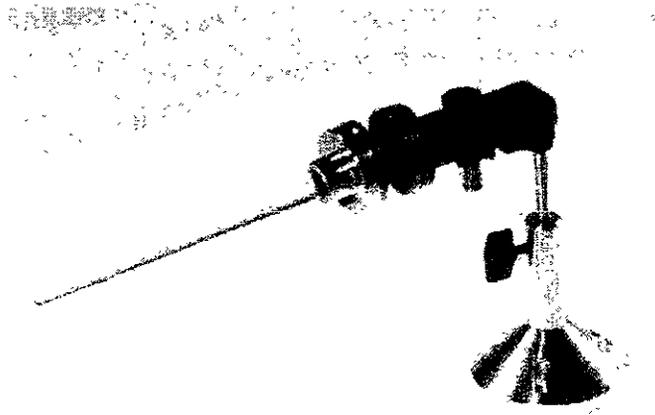


Figura (31) Fotografía de una antena dieléctrica en una montura de recepción y en una base de aluminio con ajuste de altura

Después de haber presentado algunos de los conceptos importantes respecto de las antenas, se puede sugerir una definición que las pueda describir.

Una antena es una porción de estructura, asociada con la región de transición, entre la guía de onda y el espacio libre.

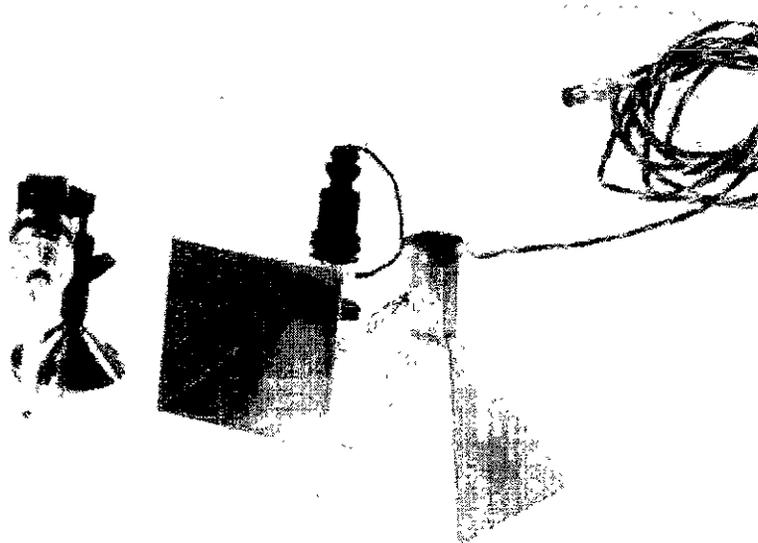


Figura (32). Fotografía en la que se muestran los dos tipos de antenas diseñadas.

Los planos de fabricación de cada uno de los elementos presentados en las figuras, están agrupados en la parte III de este trabajo.

Medios de transmisión

Guías de onda

El medio más común en microondas por el cual se logra la transferencia de la energía es la llamada guía de onda. Una guía de onda es una cavidad de material conductor rectangular o circular. La energía de las microondas es transportada a través de la guía por la reflexión a lo largo de sus paredes internas. Esto es posible si las dimensiones de la guía de onda son ligeramente mayores que un medio de la longitud de la onda del voltaje aplicado [1, 5, 8, 10]. De aquí se tiene que el tamaño de la guía de onda está directamente relacionada con la frecuencia. 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. Por supuesto tratándose de frecuencias altas, como las microondas.

Las guías de onda están normalmente hechas de aluminio o de latón. Además de encontrarlas en las más diversas formas y longitudes que se pueda imaginar. Se tienen guías de onda con un cierto ángulo de inclinación o curvadas para hacer un cambio de polaridad, y algunas incluso son flexibles. A cada extremo de la guía de onda se tiene una brida, que permite el correcto acoplamiento entre secciones de guía, y/o las diferentes piezas de equipo.

Las frecuencias que ocupan las microondas, están situadas al extremo superior de las radio frecuencias y al principio de las frecuencias ópticas [8]. De hecho, las frecuencias consideradas como microondas son únicas en su comportamiento, ya que estas pequeñas frecuencias son ondas de radio que tienden a actuar como ondas de luz. Cuando se habla de ondas de luz, se puede considerar el siguiente ejemplo: si se dirige (apunta) un haz de luz a una línea de transmisión (como un cable coaxial), fácilmente se puede ver el resultado, la energía no es transmitida ni en una mínima parte. Pero ahora, si este mismo haz de luz, se apunta hacia una abertura de una sección rectangular de guía de onda, la energía emergerá en el extremo opuesto de la sección utilizada. Mediante la analogía anterior, se puede conceptualizar el porque las guías de onda pueden ser utilizadas para conducir la energía en las frecuencias altas de microondas.

En las guías de onda circulares, la polarización puede desplazarse, por lo que la mayoría de las guías de onda están hechas en forma rectangular, con una altura de aproximadamente un medio de su ancho. El ancho de una guía de onda debe ser ligeramente mayor que la mitad de la longitud de onda de la señal más baja que se va a transmitir, su frecuencia será la frecuencia de corte f_{co} .

A una frecuencia de $2f_{co}$ "a" (ver figura (33)), es una longitud de onda completa, y la guía de onda cambia su modo de operación, se puede utilizar la guía con un mínimo de atenuación hasta 1.33 de f_{co} . Sin embargo una guía de onda puede estar operando entre las frecuencias límite de f_{co} y $2 f_{co}$. La frecuencia de corte para una sección de guía de onda dada se encuentra según la expresión.

$$f_{co} = V_c/2 (a) ; [\text{HZ}] \quad (5)$$

donde V_c es la velocidad de la luz en la atmósfera y a es la parte ancha de la guía de onda.

En una guía de onda, las frecuencias superiores a la de funcionamiento pueden propagarse por ella, mientras que las frecuencias inferiores sufren una fuerte atenuación. Por lo tanto, una guía de onda actúa como un filtro paso altas. En general, una guía de onda presenta una impedancia característica de 50 OHMS a la banda para la cual ha sido diseñada.

Desarrollo de una guía de onda rectangular

Aún cuando una guía de onda puede tener cualquier forma, la más común y más reconocida, es la guía de onda rectangular. Las dimensiones de una guía de onda cualquiera, son siempre mediciones internas; la dimensión pequeña es considerada como la altura y la dimensión mayor el ancho.

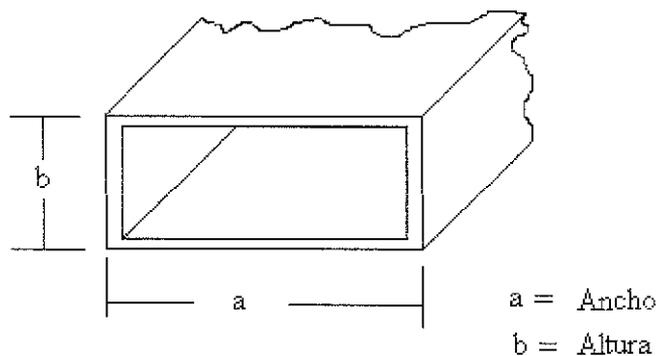


Figura (33). Dibujo de una guía de onda rectangular

Para llegar al concepto de guía de onda, se debe pensar primero en un arreglo de dos líneas de transmisión, sostenidas mediante dos aisladores. Los aisladores se consideran de una cierta impedancia tal que no permitan la transmisión de energía hacia la tierra ni entre los dos conductores, ya que si esto se diera causaría una pérdida de potencia [8]. Si la señal que se está transmitiendo es de baja frecuencia bastará con un arreglo como el de la figura (34)

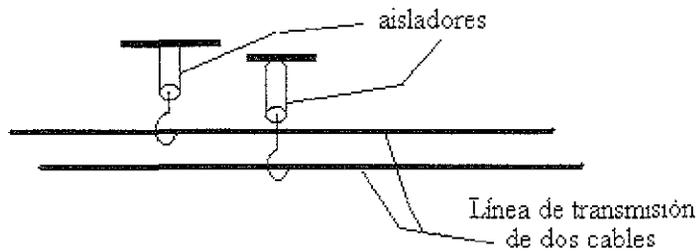


Figura (34) Línea de transmisión formada por dos cables

Para la transmisión de una frecuencia más alta, las condiciones del cable transmisor cambian. Si consideramos que la forma de onda de la señal a transmitir es senoidal, el comportamiento de la corriente será similar al presentado en la figura (35).

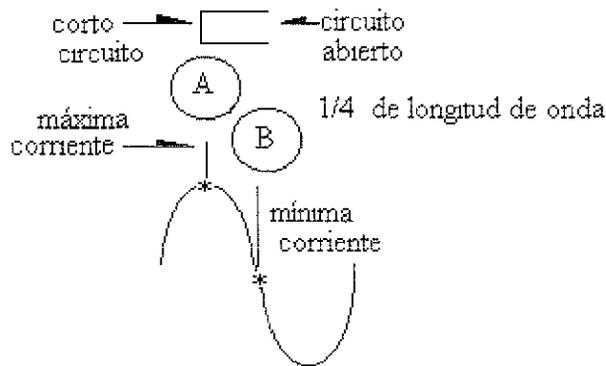


Figura (35). Forma de onda de la corriente senoidal

Según la forma de onda presentada en la figura (35), la máxima corriente ocurre en el punto A, cuando es un corto circuito, y en un cuarto de longitud de onda después del corto circuito, en el punto B, la corriente será cero y esto sucede cuando se tiene un circuito abierto.

De aquí que si se toma una sección de guía de onda como la presentada en la figura (33), se tendrá una máxima corriente en el punto del corto circuito. Si en este punto se realiza una unión con una línea de transmisión, la transmisión de corriente es máxima, y un cuarto de longitud de onda aparte de este punto de máxima corriente, se tendrá un punto de circuito abierto o de alta impedancia. Regresando al concepto ilustrado en la figura (35), este punto se puede considerar como un aislante que puede ser un gancho metálico, y usarse para soportar la línea de transmisión; la línea de transmisión puede ser "colgada" de un

soporte metálico de un cuarto de longitud de onda sin que se afecte el funcionamiento de la línea.

En resumen, si se tienen soportes metálicos para detener un par de cables de línea de transmisión, bastará con que los soportes estén a un cuarto de longitud de onda para que no exista derivación alguna, y por consiguiente no se tendrá pérdida de potencia [8].

Si se analiza la dimensión de ese cuarto de longitud de onda, para una frecuencia considerada como baja, las medidas resultarán grandes. Pero si ahora se consideran frecuencias comprendidas en el intervalo de las microondas, las medidas de los aisladores van a ser pequeñas, unos cuantos centímetros. De aquí que su principal aplicación sea precisamente en estas frecuencias, donde mayormente se considera a este principio de operación.

Si ahora se extiende el concepto y se tienen soportes encima y abajo de los cables de transmisión, ambos extremos cumplirán con el requisito de tener como dimensiones un cuarto de longitud de onda. Se tendrá entonces en total un marco de media longitud de onda, y si además se continúa agregando más marcos similares en dimensiones, se obtendrá una estructura como la de la figura (36).

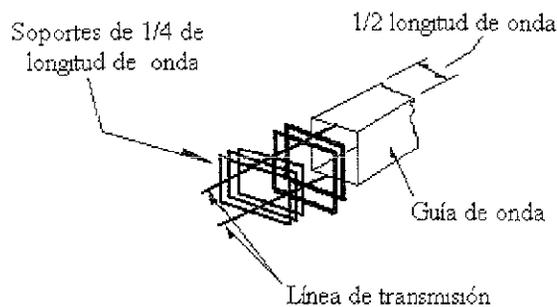


Figura (36) En este dibujo se ilustra la extensión del concepto de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda

Como se aprecia en la figura (36), al ir incrementando el número de marcos, se va extendiendo el concepto de la transmisión de energía por los dos cables de la línea de transmisión sostenida por los ganchos. Y ahora el dispositivo conductor se va transformando en una sección rectangular de guía de onda. Pero por supuesto que las guías de onda no son construidas de esta forma, se construyen a partir de un extruido de algún material conductor como aluminio o latón [1].

Las ondas electromagnéticas pueden ser transmitidas a lo largo de tubos, o guías de onda bajo ciertas condiciones y a ciertas frecuencias. Las ondas guiadas son las mismas que se transmiten bajo el concepto de los dos alambres o el cable coaxial, y su comportamiento resulta de gran interés en los intervalos de frecuencia, que comprenden a las microondas.

Una guía de onda es esencialmente un metal hueco circular o rectangular aún cuando también se encuentran en muy diversas formas. En este tipo de conductores o canales,

existe el concepto de modo de transmisión o propagación. El modo de propagación es esencial en términos de los campos magnético y eléctrico, esto debido a la no-existencia del conductor central, por lo que la guía hueca sirve para encausar la onda electromagnética [5, 8]. Más adelante se presenta una breve descripción de los modos de transmisión en una guía de onda.

La guía de onda está representada por dos importantes características.

- 1) Para toda guía de onda existe una frecuencia mínima abajo de la cual, una señal con cierta longitud de onda no será transmitida. Esta frecuencia es la llamada frecuencia de corte f_c , que es directamente proporcional a las dimensiones físicas de la guía de onda utilizada.
- 2) Siempre se tiene una componente de E o H, a lo largo de la dirección de propagación.

Las ondas guiadas pueden ser propagadas a lo largo de la guía de onda con diferentes patrones que son comúnmente llamados modos. Los modos son principalmente de dos tipos, aquellos que tienen el componente de E a lo largo de la dirección de propagación, y que se denotan por las siglas TM, u ondas E, y las que tienen a su componente H a lo largo de la dirección de propagación, que son conocidas como TE u ondas H. Para distinguir entre los varios tipos de modos que se pueden dar, se les agregan los sufijos m y n, respectivamente [5].

Los modos más conocidos son los modos rectangulares, que son TE_{mn} (H_{mn}) y el modo TM_{mn} (E_{mn}) donde m, n son números enteros. El sufijo m se refiere al número de medias variaciones sinusoidales del campo a lo largo de la dimensión "a" de la guía de onda. Mientras que el sufijo n, se refiere al número de medias variaciones sinusoidales del campo a lo largo de la dimensión "b", de la misma guía de onda. Como ejemplos se tienen TE_{10} (H_{10}), TM_{11} (E_{11}).

Frecuencia de corte de una guía de onda

Una línea de transmisión de dos cables conducirá cualquier señal desde una frecuencia en VHF, hasta cero Hertz. Las guías de onda, sin embargo actúan como filtros paso altas, teniendo una frecuencia de corte (f_c) que es determinada por las dimensiones físicas de la propia guía de onda.

Cuando la frecuencia utilizada disminuye, la estructura metálica de la guía de onda dejará de ser equivalente al cuarto de longitud de onda de la señal (en referencia a los marcos en ambos lados de la línea de transmisión, soportes, descritos al principio). La energía que se está propagando por la guía de onda empezará a encontrar derivaciones, por lo que se saldrá del camino que le presentaba en un principio la guía de onda. Los marcos

de un cuarto de longitud de onda ya no le presentarán una alta impedancia a la señal. De aquí que se defina a las guías de onda como filtros paso altas, que permiten sólo el paso de señales con frecuencias por arriba de la frecuencia de corte.

Modos de transmisión en una guía de onda.

El modo de transmisión describe el patrón de energía electromagnética que se propaga por el interior de la guía de onda. En el modo eléctrico transversal (TE), el campo eléctrico es transversal (cruza) la dirección de propagación, y el campo magnético es paralelo a la dirección de propagación [1, 8, 14]. En la figura (37) se ilustra la forma en como se desplazan los campos dentro de la guía de onda.

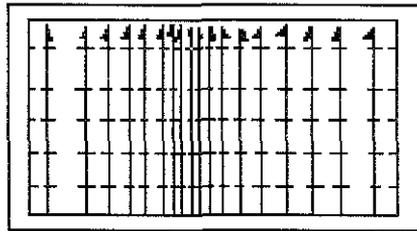


Figura (37) Patrón del modo eléctrico transversal

La figura (37) ilustra el patrón del modo de propagación transversal eléctrico a través de la guía de onda rectangular, las líneas sólidas indican las líneas de fuerza del campo eléctrico, y las líneas cortadas representan las líneas de campo magnético, cuando van viajando por la guía de onda.

En la figura (38) se ilustra la combinación de vista de la guía de onda, en ella se aprecia el concepto de dos campos perpendiculares dentro de la guía de onda rectangular [8].

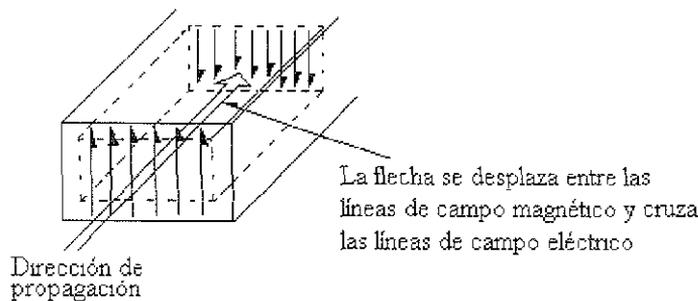


Figura (38). Dibujo que ilustra el comportamiento de los campos magnético y eléctrico dentro de una sección e guía de onda. Modo TE

La dirección de propagación está indicada por la flecha que va viajando a lo largo de la guía (de izquierda a derecha), y se supone que no corta ninguna línea de fuerza del campo magnético. De hecho debe viajar entre dos cualesquiera líneas de fuerza del campo magnético. Sin embargo, es claro que al campo eléctrico sí lo corta la dirección de propagación, y por esta razón al modo de propagación se le conoce como transversal eléctrico (TE).

Modo dominante en una guía de onda

En una guía de onda se presenta un modo dominante o modo óptimo de operación, y éste es cuando se transmite la frecuencia más baja del intervalo seleccionado [14]. Esto se da, debido a que a esta frecuencia es cuando las dimensiones físicas de la guía de onda, coinciden con un medio de la longitud de onda de la frecuencia transmitida.

El modo TE₁₀, es el modo dominante de propagación de energía con el mínimo de pérdidas en una guía de onda rectangular. Los dos sufijos en TE indican el número de patrones de media longitud de onda que pueden caber en el ancho y alto de la guía de onda. Para el caso en que TE tenga los sufijos 10, es decir; TE₁₀, esto indica que se tiene una media longitud de onda, en la dimensión denominada “a”, o ancho de la guía de onda. Y cero patrones de media longitud de onda en la dimensión b, o altura de la guía de onda. Esto para la guía de onda rectangular.

La teoría de los modos de transmisión se basa en la relación que guarda el campo eléctrico con respecto al conductor, y también del campo magnético que lo rodea, ambos ocasionados por la corriente fluyendo por el cable.

Esta distribución de los campos eléctrico y magnético, es muy similar a la distribución que se presenta en una antena (dipolo); el voltaje y la corriente cambian según una frecuencia, y al alimentar un arreglo o sistema de antenas con ambos, se genera la presencia del campo eléctrico y magnético alrededor, precisamente del dipolo de antena, como se presenta en la figura (39.a).

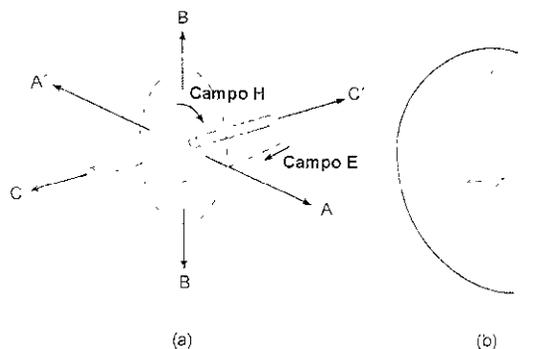


Figura (39) Dibujo que representa, a) Campo eléctrico y magnético de una antena dipolo de media longitud de onda. b) Patrón seccionado del radiación del dipolo.

En esta figura (39), se aprecia que el campo eléctrico (E) rodea el dipolo con líneas de fuerza de extremo a extremo del metal. El campo magnético (H) rodea la antena como si fuese una orbita, como anillos alrededor del metal; y tiene como característica, ser más fuerte en el centro y más débil conforme se aleja del centro. La energía emitida por la antena generará un patrón de radiación en forma de dona; teniendo al dipolo en el centro de la figura, como se ejemplifica en la figura (39.b), en ella se presenta sólo la mitad de la dona para poder constatar la posición del dipolo.

Las líneas de fuerza de campo eléctrico son paralelas a la punta de prueba, y tendrán un máximo de fuerza en el área más cercana a la punta misma, esa fuerza irá disminuyendo con la distancia como ya se explicó que sucede en el dipolo. La parte más débil o el punto donde el campo eléctrico es más débil, se encuentra a un cuarto de la longitud de onda de distancia de la punta de prueba, la cual debe coincidir con la posición de las paredes laterales y con la pared posterior.

Cuando se alimenta la guía de onda con un *loop*, el campo magnético es el predominante, y se designa como transversal magnética o TM. En la siguiente figura se presenta una serie de dibujos que ilustran las formas en que pueden ser alimentadas las guías de onda, pudiendo con ello cambiar el modo de propagación.

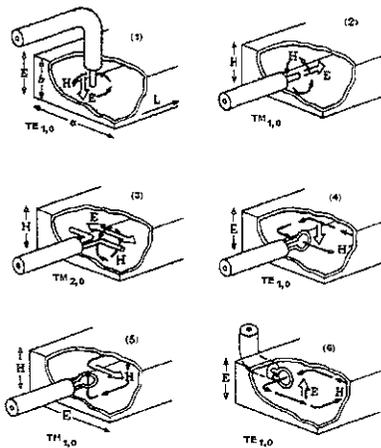


Figura (40) Dibujos que ilustran algunas formas de alimentación de una guía de onda, ya sea con punta de prueba o con *loop*, para lograr un modo específico TE o TM.

Las líneas de campo eléctrico son paralelas a la punta de prueba, las líneas de campo magnético se mueven alrededor de la punta de prueba. Las líneas de campo magnético en un *loop* de acoplo (antena), van a través del centro del *loop*, las líneas de campo eléctrico están en el mismo plano que el alambre del *loop*.

Para una conexión de entrada que tiene la punta de prueba, se tiene que visualizar primero como van las líneas de campo eléctrico, y el campo magnético estará rotado 90 grados con respecto del propio campo eléctrico. Para una conexión de entrada que utiliza un *loop*, se debe primero identificar las líneas de campo magnético, las cuales deben ir a

través del loop, y las línea de campo eléctrico deberán ir en el mismo plano del alambre del *loop*.

Las guías de onda son el principio del desarrollo de diversos elementos que son útiles en el uso de los sistemas de microondas. Si no todos, la gran mayoría de los elementos usados en un sistema de comunicación en el intervalo de microondas, hace uso del principio de operación de las guías de onda. A partir del diseño de las guías, se pueden diseñar antenas de tipo corneta, útiles en la emisión y recepción y como alimentadores de reflectores grandes, como las antenas (reflectores) del tipo parabólico o secciones de esfera.

Diferentes formas de atenuación

En ocasiones, algunas pruebas o experimentos requieren de un elemento de disipación de la energía que viaja por la guía de onda. Para tal caso, es necesario agregar a una sección de guía de onda, un elemento que pueda absorber cierta cantidad, del total de la energía, además de que es recomendable para algunos casos, que esa absorción de la energía pueda ser de algún modo controlada, para evitar posibles daños a ciertas piezas de equipo que sean muy sensibles a los niveles altos de potencia.

En la siguiente figura se presenta un dibujo de cómo se puede lograr una atenuación casi total, al introducir un elemento de absorción a la sección de guía de onda. El comportamiento de este elemento de absorción es similar al de una antena, con la diferencia de que toda la alimentación que se le hace a está antena no será radiada, será absorbida, sino totalmente si una gran parte de la misma, logrando con ello un acoplamiento entre generador y carga muy cercano a lo ideal.

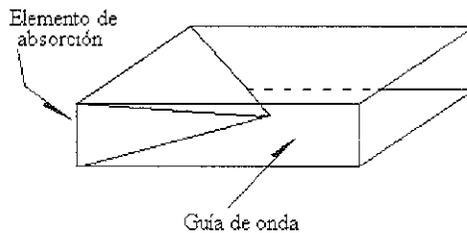


Figura (41) Dibujo que representa una carga resistiva de tipo piramidal

El tipo de carga resistiva que se usa en una guía de onda, puede ser variante, e inclusive depende del uso que se le vaya a dar dentro de una sección de guía de onda. Tal es el caso de la siguiente figura (42), donde se presenta una carga resistiva triangular centrada en el fondo de la guía. Con esta forma de carga se obtiene un resultado similar al de la carga piramidal, disipando una gran cantidad de energía y logrando con ello, una reflexión mínima. Ambas formas de carga resistiva, piramidal y triangular, están forradas con un material de alta resistividad al cual, cuando se le aplica una señal de mucha potencia a través de la guía de onda, disipa la potencia absorbida en forma de calor.

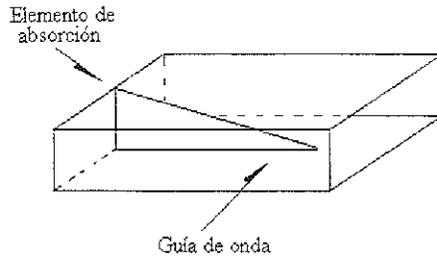


Figura (42). Carga resistiva de tipo piramidal

Formas de alimentación de una guía de onda

Las guías de onda se alimentan con la señal de microondas generada por el oscilador local, mediante el uso de un cable coaxial logrando acoplamiento electrostático, el cual se obtiene con una pequeña antena de prueba formada con el conductor del mismo cable coaxial. Este tipo de acoplamiento se ilustra en la figura (43), en ella se presenta el dibujo de una porción de guía de onda con la antena en su interior, y a una distancia de un cuarto de longitud de onda a cada lado; además se puede tener la opción de poder variar el acoplamiento mediante el uso de una pared deslizante, la cual se mueve utilizando un pistón con un tornillo en un extremo. Variar el acoplamiento, significa que se está modificando la distancia de un cuarto de longitud de onda que se tenía en un principio.

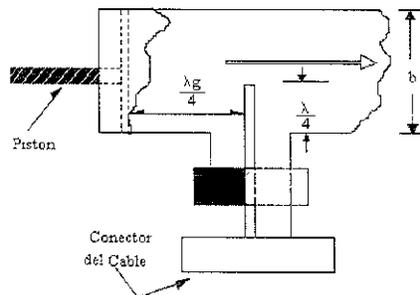


Figura (43). Dibujo de una sección de guía de onda con entrada de alimentación electrostática.

Igualmente, se puede tener una alimentación mediante acoplamiento electromagnético, el acoplamiento se logra con una pequeña antena en forma de “bucle” que se le hace al conductor del cable coaxial. En la figura (44) se presenta un dibujo de cómo es que se acoplan el cable coaxial y la guía de onda [8].

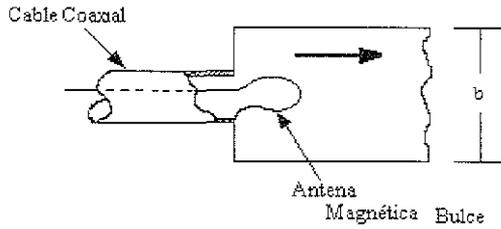


Figura (44) Dibujo de una sección de guía de onda con alimentación horizontal. Acoplamiento magnético

Para el caso del acoplamiento electromagnético como el ejemplificado en la figura (44), el conductor interno o central del cable coaxial, se toma como una pequeña antena la cual se forma doblando el conductor central en forma de bucle, logrando una especie de orquilla (*loop* cerrado). La dimensión del bucle no es muy crítico, y su extremo se solda a un extremo de la guía de onda; se considera que este tipo de arreglo es como una vuelta de bobina en una antena.

Se pueden lograr varios tipos de modos de alimentación de una guía de onda, todo dependerá del tipo de acoplamiento utilizado, y de la posición que tenga dentro de la guía de onda. A continuación se muestran tres ejemplos de formas de alimentación de una guía de onda. Estos se consideran formas típicas de alimentación de una guía de onda rectangular. Figura (45).

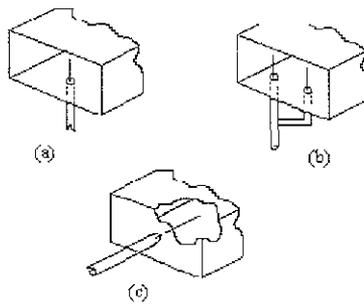


Figura (45). En esta figura se presentan tres posibles modos de alimentación de una guía de onda rectangular

Cuando se utiliza un oscilador Klystron como el 2K25, lo que se acostumbra es fabricar una sección de guía de onda con una montura en uno de sus extremos, expresamente diseñada para que el oscilador esté sobre la guía de onda, con su antena atravesando una de las paredes para alimentarla. Las formas de alimentación presentadas en la figura (45.a y 45.c) sirven como ejemplo de las formas en que se puede disponer un oscilador Klystron sobre la guía de onda. Este tipo de Klystron tiene una salida en forma de punta de prueba, lo que facilita su disposición en la guía de onda.

En la siguiente figura, se presenta una fotografía de dos versiones de arreglo antena montura de oscilador. En la parte derecha de la fotografía, se aprecia que la montura cuenta con una protección para evitar tocar el oscilador, en la parte superior de la cubierta tiene una rejilla que permite la circulación del aire para la ventilación del elemento. En esta versión se utilizó una antena cuya guía de onda tiene acoplada una brida circular. En la versión de la izquierda, el oscilador está al descubierto y la montura del oscilador está directamente acoplada a la guía de onda, y a la antena piramidal.

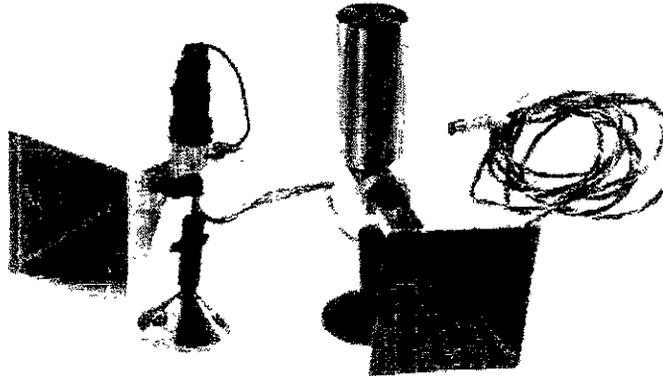


Figura (46). Fotografía de dos osciladores con antena piramidal, en la fotografía se puede apreciar a la derecha la montura del Klystron con protección

Atenuación en guías de onda

Cuando se intenta transmitir una señal con frecuencia por debajo de la frecuencia de corte, se estará experimentando una atenuación grande conforme se aleje la señal cada vez más de la frecuencia de corte. Por lo general la atenuación se presenta cuando se tiene una señal que posee una longitud de onda mayor, a dos veces la dimensión de “a” de la guía de onda. Cuando esto sucede la energía de la onda estará viendo un corto circuito en las paredes laterales de la guía de onda. Para estas señales de frecuencias más bajas que la frecuencia de corte (consecuentemente con una longitud de onda grande), el efecto de estar viendo un corto circuito será cada vez más severo conforme se disminuya la frecuencia de la señal que se quiere transmitir, y por supuesto, las pérdidas irán incrementándose al ir disminuyendo la frecuencia.

La pérdida de potencia de una señal debida a la utilización de una guía de onda no adecuada o por la disminución en la frecuencia central de operación, se puede aproximar mediante la siguiente expresión.

$$\text{Pérdida de Potencia} = 455 / \lambda_{co} \quad [\text{db/m}] \quad (6)$$

En la expresión anterior λ_{co} , está en centímetros.

Lo anterior enfatiza la necesidad de utilizar dimensiones en la guía de onda que estén por encima de las especificaciones, esto debido a que la atenuación será menor a frecuencias por encima de la frecuencia de corte.

Una expresión que permite obtener la atenuación “ α ” en guías de onda rectangulares es la siguiente.

$$\alpha = \frac{0.3883}{a^3} R \left[\begin{array}{c} \frac{a}{2b} \left(\frac{2a}{\lambda_0} \right)^3 + \frac{1}{2a} \\ \left(\frac{2a}{\lambda_0} \right)^2 - 1 \end{array} \right] \lambda_0 \quad (7)$$

La expresión (7) nos da valores en db / metro.

De la expresión anterior la constante 0.3883 ya incluye la velocidad de la luz, y la permeabilidad de espacio dentro de la guía de onda ($4\pi \times 10^{-12}$ F/m). El término R se refiere a la resistividad del material con el que está hecha la guía de onda, específicamente con el material de las paredes interiores de la guía, el cual es comparado con el de una guía de onda de cobre que contiene aire como dieléctrico.

Si se considera que cuando se tienen paredes de cobre y aire como dieléctrico, el valor de la resistividad es uno, entonces para los demás materiales que usualmente se utilizan se tendrán valores alrededor de uno [1]. Lo anterior se presenta en la tabla siguiente.

Plata	1.041
Cobre	1.000
Oro	0.841
Aluminio	0.781
Latón	0.495

Tabla [1] Resistividad de materiales más comúnmente utilizados

En la tabla [1] se tienen solo unos cuantos materiales, los cuales al ser comparados con el cobre dan un valor menor a la unidad, a excepción de la plata que es ligeramente mayor.

Para la fabricación de perfiles para guía de onda, se acostumbra utilizar aluminio o cobre, esto debido a su facilidad de extrusión. Como dato adicional. La atenuación puede variar en 1db/100 ft, esto considerando el uso de la ecuación [7], lo anterior es debido a la

rugosidad interna de la guía de onda; aún cuando se tenga un buen trabajo de maquinado, las superficies pueden presentar alguna rugosidad, lo que se recomienda es realizar un recubrimiento de las paredes internas, con plata que aunque tiene una mayor resistividad, pero asegura una superficie más uniforme más suave, con lo que se logra reducir las pérdidas.

Selección de la guía de onda para un sistema

Para la selección de la guía de onda de un sistema, el principal criterio que se utiliza es la frecuencia de corte, debido a la limitante que la misma frecuencia impone para la transmisión adecuada de la señal de interés. Por lo anterior, para la selección de componentes se debe partir de la frecuencia que será utilizada en el sistema, para posteriormente basados en ella, definir el resto de los componentes del mismo. En este caso, la frecuencia a utilizar cubre el intervalo de la banda denominada como X, cuyos límites inferior y superior son: 8.2 y 12.4 GHZ.

En el diseño de sistemas, al llegar a la parte que corresponde con el diseño de las guías de onda, es recomendable tratar de obtener un perfil de material, aluminio o latón, ya existente, para evitar un excesivo gasto en la fabricación. En el caso de estar diseñando todo, inclusive un perfil acorde a especificaciones estándar, entonces el problema se traslada a la fabricación del molde con el que se pueda extruir un perfil normalizado, y que cumpla con el requisito de frecuencia de corte que se tenga, que para este caso en particular, sería una frecuencia de corte de 6.56 GHZ, según estándar *WWII*, lo que da por resultado las siguientes dimensiones, una altura (**b**) de 0.4 pulgadas y un ancho (**a**) de guía de 0.9 pulgadas. Las anteriores medidas cumplen con el estándar (WR90) [1] para el manejo de guías de onda.

Lo anterior no limita el utilizar un perfil con medidas un poco diferentes, lo importante es que permita la correcta propagación de la energía generada por el oscilador, y que las uniones entre las guías, se hagan en forma adecuada para evitar cualquier posibilidad de desacoplo. Para lograr un buen acoplo, se utilizan las bridas a cada extremo de la porción de guía de onda. Estas mismas bridas se utilizan en los diferentes elementos que conforman el sistema.

De aquí que se deba tener cuidado en seleccionar un perfil que permita el libre paso de la señal generada, para evitar cualquier atenuación por estar en los límites de la frecuencia de corte, o por debajo de está. Para este caso en particular se utilizó un perfil comercial de aluminio, con medidas internas de 2.2 cm x 0.93 cm, lo que nos da una frecuencia de corte de:

$$f_c = V_c/2a = 300 \times 10^6 / 4.4 \quad [1/\text{seg}] \quad [8]$$

$$f_c = 6.8181 \text{ GHZ}$$

Aún cuando en esencia una guía de onda se comporta como un filtro paso altas, existe una frecuencia superior que limita la operación de la guía a una longitud de onda completa, lo cual da una frecuencia de 13.63 GHZ como frecuencia máxima.

La anterior es una frecuencia de corte (f_c), ligeramente mayor a la establecida por las medidas estándar que la fijan en 6.56 GHZ y 13.12 GHZ en su extremo superior. Si la frecuencia a utilizar se encuentra comprendida entre las frecuencias de 8.2 y 12.4 GHZ se puede ver que está, dentro de las frecuencias permitidas por las dimensiones físicas de la guía de onda.

Para la guía utilizada, la frecuencia a la que se obtiene un mínimo de atenuación es de 9.068 GHZ que representa un 33% arriba de la frecuencia de corte [1]. Si el oscilador está generando con esta frecuencia se puede asegurar un paso óptimo de la señal.

Algunos componentes útiles en el uso del laboratorio de electromagnetismo.

La calidad y precisión de los componentes en microondas es muy importante cuando se trata de realizar mediciones, y en diversas ocasiones esto depende del conocimiento práctico que se tenga y de los márgenes de tolerancia que sean empleados. Para lograr eliminar el mayor número de errores se diseñan elementos, que ayuden al sistema a disminuir errores debidos a conexiones mal hechas, o situaciones forzadas en el acoplamiento de dispositivos sensores de señal.

La mayoría de las guías de onda se fabrican en secciones rectas, sin embargo habrá ocasiones en las que se tenga que hacer una curva para cambiar de dirección la señal, ello se logra mediante una guía de onda torcida; con una guía de onda torcida o girada, es posible cambiar la polarización de una señal, pasar de una polarización vertical a una horizontal y viceversa.

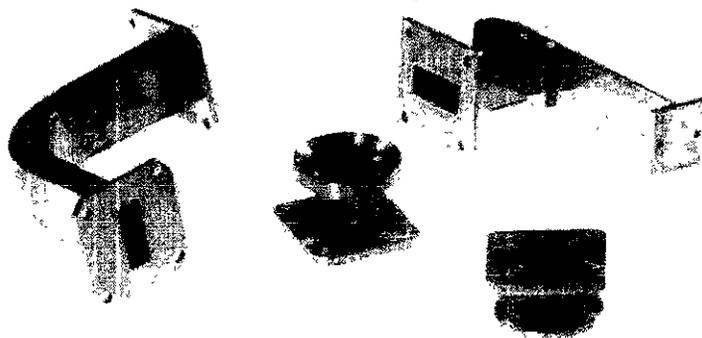


Figura (47). Fotografía de una guía de onda curvada, junto con los acopladores de brida y una montura de diodo de detección.

En algunas ocasiones habrá que ramificar una misma señal, de aquí que sea necesario proporcionar un elemento capaz de conectar dos o más salidas para una misma entrada. Se pueden fabricar elementos conocidos como unión T, estos elementos se fabrican para plano E, o plano H o inclusive una combinación de ambos. Cuando se tiene una combinación se conoce como T híbrida o mágica. Estos elementos son esencialmente redes de tres o más puertos, en ellos la potencia de la señal de entrada se divide en igual proporción para cada salida, siempre y cuando la T híbrida esté bien acoplada.

Carga artificial

Las cargas artificiales se utilizan para evitar el regreso de potencia, que pudiera causar *interferencias innecesarias cuando se efectúan ajustes y comprobaciones en los equipos*. Una carga artificial de microondas debe ser de un diseño especial para evitar la creación de ondas estacionarias. Por ejemplo, una resistencia formada por un arrollamiento de hilo conductor crearía una reactancia inductiva muy alta en las frecuencias de microondas, causando un fuerte desacoplo entre la guía de onda y la carga artificial, con un efecto de pérdida de potencia y producción de onda estacionaria. Si la misma carga artificial del ejemplo se aplicase directamente a la salida de un transmisor de microondas, podría afectar también a la sintonía del transmisor.

Muchas veces se utilizan cargas artificiales deslizantes o variables, cuando se prueban nuevos componentes de microondas en el laboratorio. De esta manera la carga artificial puede adaptarse a la impedancia exacta de la guía de onda. También se utilizan cortocircuitos deslizantes para ajuste de algunas guías de onda.

En la siguiente fotografía se aprecia la carga de 50 Ohms diseñada y fabricada en una sección de guía de onda de aluminio. La guía de onda tiene acoplada una brida estándar para utilizarse con el resto de las secciones en las que sea necesario su uso, en su interior tiene una estructura de material aislante. Se presenta en la misma fotografía una sección de guía de onda con corto circuito deslizante, con la que se posibilita el cambio de onda estacionaria al variar la distancia de la pared posterior de la guía. Esta sección de guía de onda tiene un mecanismo, que al girar el tambor que la rodea, se desplaza la pared posterior en su interior. Los planos utilizados en la fabricación de ambas piezas están disponibles en la parte III de este trabajo.

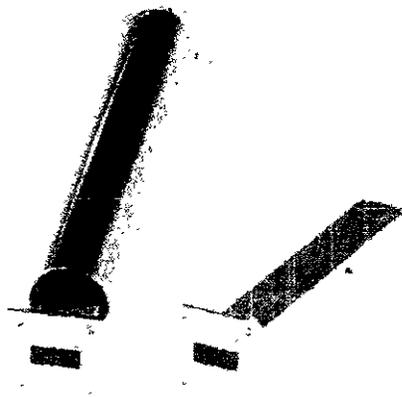


Figura (48) Fotografía de una carga de 50 Ohms para microondas y una guía de onda con corto circuito.

RECEPTOR DE SEÑALES DE MICROONDAS

Para el módulo de recepción se diseñó un sistema que fuese capaz de recibir las señales de baja amplitud provenientes del detector, amplificarla y presentarla como nivel de intensidad en una carátula, en una salida directa para el osciloscopio o en una bocina.

En altas frecuencias los detectores de potencia reciben el nombre genérico de Bolómetros. Uno muy popular sino el más popular en sus inicios, es el conocido como *hot carrier* o diodo de contacto de punta. Los diodos de contacto de punta rectifican la señal de R.F., y su salida es llevada a un nivel de d.c. para ser utilizada en los medidores del lado receptor. El voltaje de d.c. que se obtiene, es proporcional a la energía de R.F que se le aplicó a la señal portadora, de aquí que, en el medidor asociado a la entrada de señal en el lado receptor, la carátula esté rotulada directamente en Watts. El éxito que ha tenido el diodo de contacto de punta, es debido a su buena sensibilidad para detectar potencia de R.F de muy bajo nivel, además de tener una baja característica de ruido.

Detección de señales en microondas

Elementos de detección

La forma en que se detecta, o el elemento con el que se percibe la señal enviada por el transmisor de microondas es el diodo. Los diodos que se emplean en frecuencias bajas no son útiles en frecuencias altas, como lo son las microondas. En un tiempo se llegaron a utilizar los tubos de vacío, pero sufren los efectos de una rápida degradación. Tratándose de

diodos semiconductores normales, estos tienen una gran capacitancia de unión que los hace inadecuados para utilizarse en altas frecuencias.

Los diodos que si se pueden emplear en la detección de microondas requieren de un diseño especial, y se conocen como diodos de contacto de punta. También se tienen los diodos de barrera Schottky metálicos semiconductores.

Los diodos de contacto de punta tienen en su interior un bigote de gato de tungsteno, mediante el bigote, se hace contacto con una oblea de silicio. En la figura (49), se presenta un dibujo simplificado, representando la forma en que se constituye internamente el diodo de contacto de punta.

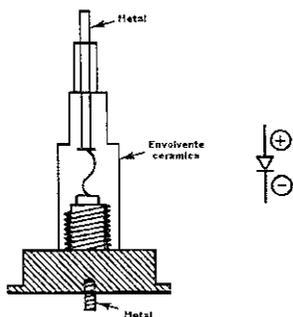


Figura (49) Dibujo de la conexión interna del diodo de contacto de punta.

La otra alternativa para la detección es el diodo de barrera Schottky metálico semiconductor. En la siguiente figura (50) se muestra en forma sencilla como está constituido internamente este tipo de diodo. Consiste de una serie de procesos similares a los utilizados en la construcción de transistores y circuitos integrados.

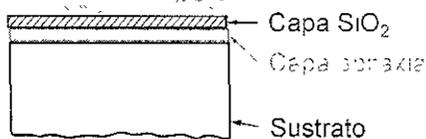


Figura (50). Dibujo del interior de un diodo; las capas de material que lo componen

Ambos diodos tienen una respuesta tipo ley cuadrática. La corriente de salida es proporcional al cuadrado del valor de campo eléctrico que incide sobre el diodo.

Los diodos de estado sólido como el diodo *schotky*, y cualquier otro tipo de bolómetros se insertan directamente al centro de la sección de la guía de onda, para de esa

forma recibir la energía de microondas que le está llegando [8]. Los diodos reciben la energía la rectifican y luego proporcionan una señal de relativa baja potencia. Teniendo esta señal, se puede alimentar a un arreglo de amplificadores, y posteriormente hacer uso de un medidor previamente rotulado para determinar el nivel de la señal recibida. De esta forma es posible mediante el diodo, detectar la modulación contenida en una señal portadora de alta frecuencia.

Dentro de los elementos utilizados ya se mencionaron a los bolómetros, estos elementos se pueden clasificar por su coeficiente de temperatura, positiva y/o negativa.

- 1- Barretters. Tienen un coeficiente de temperatura positivo.
- 2- Termistores. Tienen un coeficiente de temperatura negativo.

Los elementos cuyo coeficiente de temperatura se incrementa con el incremento en temperatura, son utilizados cuando se requiere manejar niveles de potencia elevados. Estos elementos son fabricados con un alambre muy fino de resistencia conocida.

Montaje del diodo detector

Cuando se diseña una pieza de equipo que incluye un diodo detector se debe tener cuidado no solamente en el diseño de lugar en el que debe quedar acoplado, sino también en el tipo de montura, una montura que permita remover el diodo y que por supuesto permita una operación adecuada. Los diodos detectores de microondas generalmente se encuentran disponibles con un tipo de envolvente que permite su manipulación, el diseño de la envolvente por parte del fabricante debe ser específico para que las reactancias parásitas que introduzca sean mínimas.

El diodo detector se puede acoplar directamente sobre una línea coaxial o en una guía de onda, éste último es el recurso más recomendable, pero eso depende del tipo de sistema de medición que se quiera implementar dentro del sistema. En ocasiones para lograr un excelente acoplamiento, se monta el diodo en un extremo y al centro de la pieza a utilizar, y en el extremo contrario se pone un cortocircuito variable. La distancia entre el extremo con el cortocircuito y el diodo, se puede variar moviendo un pistón de sintonía para ajustar la distancia, sólo en caso de ser necesario.

Diseño y construcción de la electrónica requerida en la recepción de señales de microondas.

Para el receptor de señales se diseñó una electrónica sencilla pero efectiva, con la que sea posible detectar amplificar y presentar la información contenida en la portadora. La idea principal es tener un módulo de recepción, con una entrada para el diodo detector y un

selector de salida. Es decir, en ocasiones es necesario presentar la señal de información en un osciloscopio y en algunas otras es más útil escucharla.

Con lo anterior, se procedió al diseño de la electrónica que pudiera cumplir con lo especificado. Para lograr el diseño del receptor, se partió de un diagrama de bloques como el que se presenta en la figura (51).

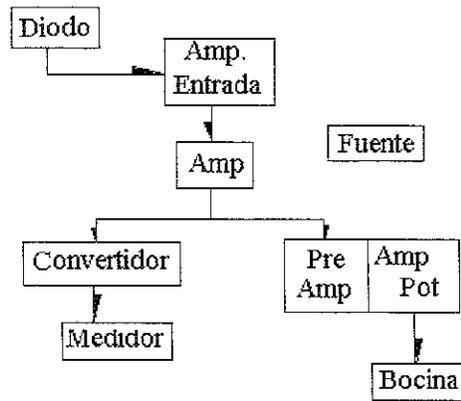


Figura [51] Diagrama de bloques del sistema de recepción.

Diodo.

Para la detección de la señal que se está enviando, se utiliza un diodo diseñado específicamente para el intervalo de frecuencias en microondas. El diodo es de la marca ALPHA; y el modelo es el: 1N218. El diodo debe ir insertado directamente en una porción de guía de onda, la cual puede ir a su vez en una antena, o acoplarse mediante una brida con los diferentes aditamentos propios del equipo.

La distancia entre el diodo y las paredes de la porción de guía de onda, debe corresponder con un múltiplo de la longitud de onda de la señal de interés. En la siguiente figura (52), se presenta una fotografía de la montura de diodo detector con brida, diseñada y fabricada expresamente para el equipo receptor de microondas en la banda de frecuencia seleccionada.



Figura (52). Montura para el diodo detector con brida en un extremo, para su acoplamiento y salida mediante un conector BNC.

En la fotografía se aprecia además de la estructura del conjunto de montura, la porción de guía de onda, la brida el conector BNC y el tapón que detiene al diodo en su posición. Los planos utilizados en su fabricación se encuentran en la parte III de este trabajo.

Amplificador de entrada.

El arreglo que se utilizó para esta etapa consta de un amplificador TL081 de alta impedancia y bajo consumo de corriente [21, 26]. A continuación se enlistan algunos datos propios del circuito integrado.

- Corriente de alimentación: 1.8 mA
- Corriente de polarización: 50 pA
- Impedancia de entrada: $10^{12} \Omega$
- Voltaje de alimentación: $\pm 18 \text{ V}$

En la figura siguiente se presenta el diagrama del circuito.

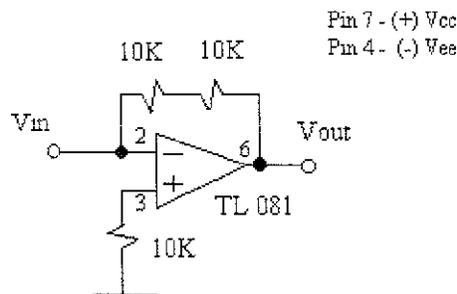


Figura (53). Dibujo del circuito electrónico utilizado en el amplificador de entrada

Este arreglo que se puede considerar convencional, cumple satisfactoriamente con los requisitos de amplificar la señal de entrada con el mínimo de distorsión. El mismo arreglo se utilizó en algunos de los restantes bloques que integran el receptor. Sólo se le hicieron modificaciones sencillas, por recomendación expresa en las hojas de datos de los circuitos integrados [21], o por así determinarse en el banco de trabajo.

Pre-amplificador; Amplificador de potencia

En este bloque se agrupan las acciones de un pre-amplificador y las de un amplificador de potencia. Para el caso del pre-amplificador, se utiliza una topología similar a la presentada en la figura (53), la diferencia consiste en que se empleó un circuito

integrado LM301 [20, 24]. La disposición de entradas y salida, así como de polarización son las mismas que tiene el circuito TL081 [21, 26].

En la figura (54) se aprecia el dibujo esquemático del circuito electrónico de amplificación. Consta de dos secciones, la primera es un arreglo inversor con una ganancia [2, 4] aproximada de veinte, el amplificador operacional se compensa en frecuencia [2, 4, 20] mediante un capacitor de 33pfd, su salida está acoplada con la segunda sección (etapa de potencia) mediante un capacitor de 0.1ufd hacia el amplificador operacional de potencia.

La etapa de potencia se logra con el uso de un amplificador de potencia integrado modelo: LM 390 [20, 23, 24]. El amplificador está diseñado para trabajar en ciertos niveles de voltaje (6, 7.5, 9: Volts) con baja impedancia de salida. Este elemento ofrece la facilidad de tener una ganancia fija de 20, con el mínimo de componentes externos, o una ganancia variable dentro de un intervalo que comprende los límites de 1 a 200 aproximadamente agregándole algunos componentes [20, 23, 24]. Se decidió por este circuito integrado, debido a su bajo requerimiento de elementos externos para su aplicación.

El circuito electrónico está contenido en el módulo de recepción del equipo; al frente del módulo se dispuso el control de volumen, único control disponible para el usuario, en lo que respecta a la etapa de salida audible de la señal.

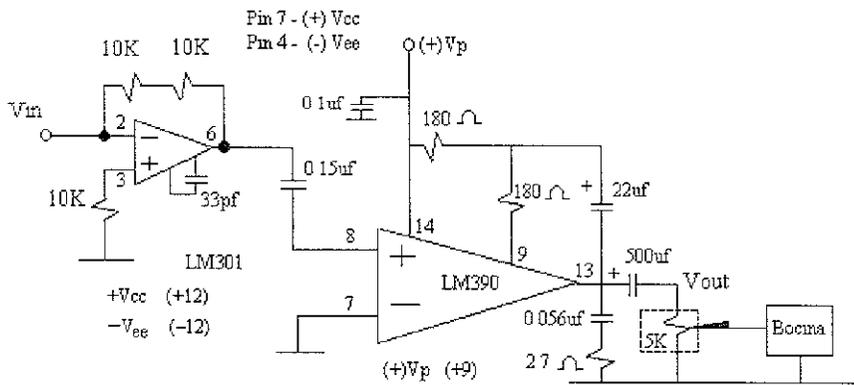


Figura (54). Diagrama esquemático del circuito electrónico de la salida de potencia.

Convertidor

Debido a la forma de trabajar del diodo detector con que cuenta el equipo receptor de microondas, para obtener un nivel de intensidad que nos indique el promedio de la señal recibida, es necesario hacer uso de un circuito electrónico que calcule el valor promedio de un voltaje de c.a. Este tipo de circuitos lo encontramos en la literatura electrónica, bajo el nombre de circuito convertidor de c.a.- a - c.c.[11]. Un circuito rectificador de onda completa también se conoce como circuito de valor absoluto, y puesto que un valor promedio también se conoce como circuito de valor medio absoluto, un circuito convertidor podrá entregar una señal promedio.

Por supuesto que la señal que se introduce al convertidor debe ser amplificada para su uso en él, de igual forma se debe tener especial cuidado en no drenar una corriente excesiva, lo que conduce a la necesidad de agregar una etapa de aislamiento con el circuito que lo precede. En la figura siguiente (figura (55)), se presenta un diagrama esquemático de la electrónica empleada en el convertidor.

El circuito consta de cuatro pasos o etapas de proceso, la primera es una etapa de aislamiento que se logra utilizando un amplificador operacional de uso común [2], en configuración seguidor, con lo cual se está logrando una alta impedancia de entrada. En la segunda etapa se presenta un amplificador inversor, con una ganancia aproximada de seis [2]. La tercera etapa o etapa de conversión se alimenta con la señal proveniente del amplificador, el convertidor es un amplificador que mediante la ayuda de un par de diodos, siempre presenta una señal positiva a la etapa que le precede, esta señal se presenta a la entrada de la cuarta etapa o sumatoria junto con la misma señal que se presenta a la entrada del convertidor, logrando obtener un valor promedio [4] de la señal a la salida de la cuarta etapa.

Finalmente, la señal es llevada a un medidor, el cual indica el nivel de intensidad de la señal recibida en el módulo receptor.

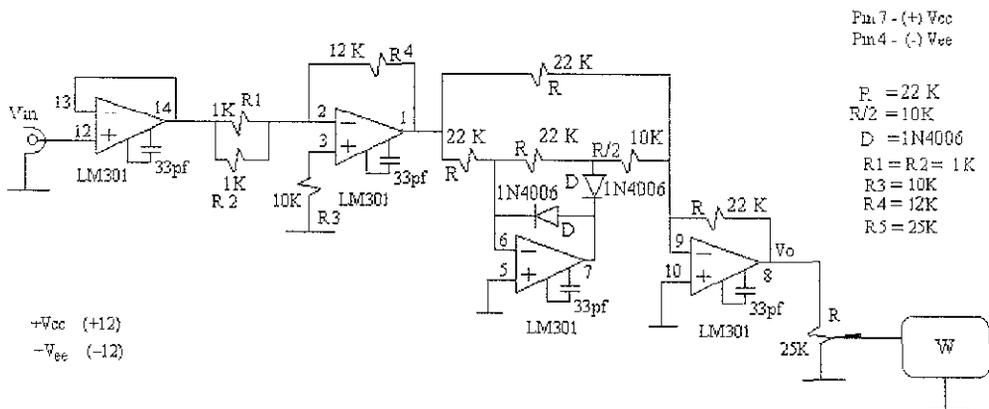


Figura (55). Diagrama esquemático del circuito electrónico convertidor con sus cuatro etapas.

El circuito electrónico de conversión realiza la tarea de rectificar la señal de entrada para que a la entrada del sumador, siempre se tengan dos señales de igual signo. Por lo tanto, la salida del circuito V_o es positiva, y es igual al valor rectificado o absoluto de la entrada. Un circuito electrónico que sea capaz de entregar el valor medio absoluto de una onda de voltaje, es aproximadamente igual a su valor cuadrático medio (VCM). Por tanto, un circuito de bajo costo que entregue el valor medio absoluto, puede utilizarse como sustituto para un circuito de un costo mayor que calcula el valor cuadrático.

Fuente de alimentación del receptor

El módulo receptor del equipo de microondas contiene todos los circuitos electrónicos que hacen posible la detección de la señal. Su amplificación a diferentes niveles para la medición de intensidad, y también para escuchar la información contenida en la señal si es necesario. Para que todo funcione adecuadamente, el receptor requiere de una fuente de alimentación bipolar. La fuente que tiene el receptor corresponde con el diagrama esquemático de la figura (56).

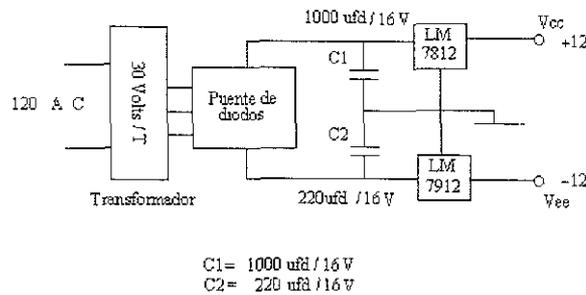


Figura (56). Diagrama esquemático de la fuente de alimentación utilizada en el módulo de recepción del equipo de microondas.

Disposición de elementos dentro del receptor

El diseño de la envoltura corresponde con un diseño ya utilizado, y por lo tanto tiene características fijas de antemano. Internamente el módulo del receptor está dividido básicamente en dos partes. La primera corresponde con el área designada para los transformadores y circuitos de fuente o fuentes de alimentación. La segunda parte por cierto la más grande, corresponde a la posición o área de las tarjetas de circuito impreso. Para este caso muy particular se tiene un añadido en la parte alta de la segunda área, en el añadido se fija la bocina. Esta segunda parte no se utiliza al máximo, debido a que se tiene que reservar espacio para los interruptores, contactos y para el medidor. En la figura siguiente se presenta un dibujo con la disposición interna de los elementos.

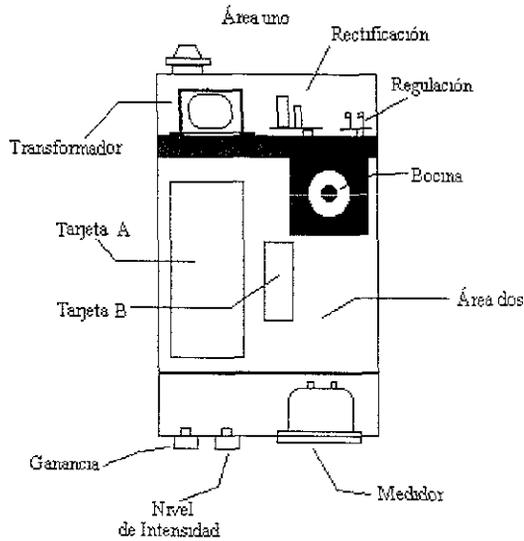


Figura (57). Dibujo de la posible disposición interna de componentes del receptor.

En la siguiente figura se presenta la fotografía del módulo del transmisor parcialmente desarmado, se aprecian la sección de los transformadores (al fondo de la foto), y al frente está la carcasa de plástico conteniendo el medidor digital el cual se fija por dentro del módulo, y las tarjetas de circuito impreso de las fuentes, generador y los sistemas de amplificación.

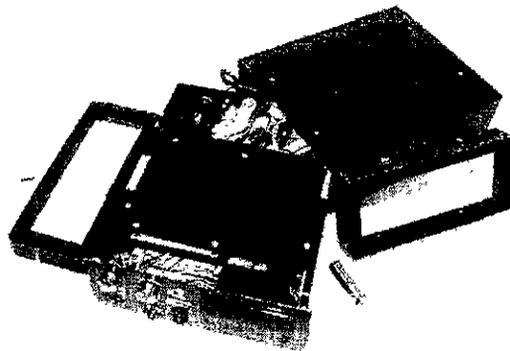


Figura (58). Fotografía de la disposición interna del módulo de transmisión.

En la siguiente figura se presenta una fotografía con los dos módulos que intervienen en la emisión y recepción. El receptor es el que se encuentra en la parte inferior se distingue en la foto por utilizar un medidor analógico, en el se aprecian los conectores para la entrada de la señal, y para la salida. Esto último si se hace uso de la señal en algún otro aparato. Así mismo se aprecia el control de ganancia que permite limitar la señal a un determinado margen de acción del medidor.

Para conocer el nivel de intensidad de la señal que se está recibiendo, se utiliza un galvanómetro debido a que es más ilustrativo, y permite situar la aguja indicadora en un cierto margen de acción, dentro del cual estará variando la señal.

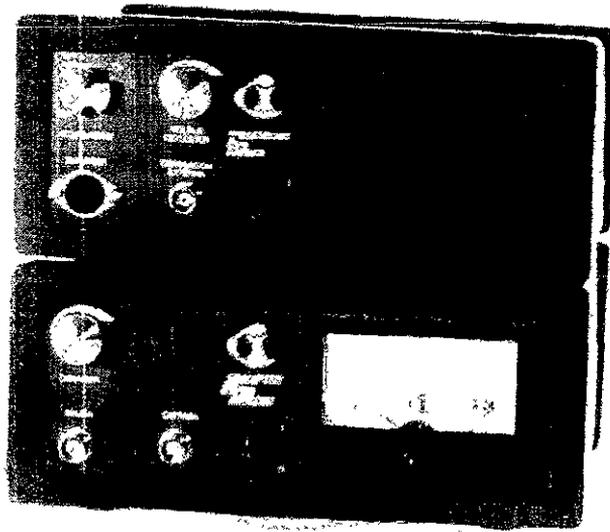


Figura (59) Fotografía que muestra los dos módulos utilizados en la emisión y recepción. El de recepción es el que se encuentra en la parte de abajo.

Ambos módulos están totalmente terminados y funcionando, tienen impresa la nomenclatura para cada uno de sus controles, la cual se realizó bajo diseño expreso para cada módulo, siguiendo una cierta estructura que permite distinguirlo de los demás equipos de laboratorio.

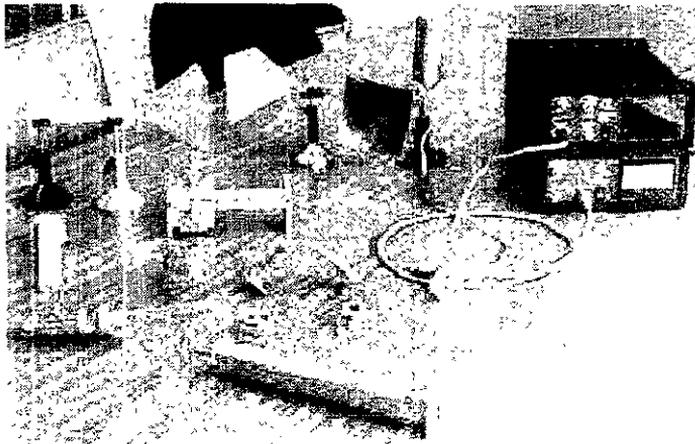


Figura (60). Fotografía del equipo de microondas, junto con algunos de los aditamentos utilizados en el laboratorio de electromagnetismo.

En la figura (60) se aprecia la fotografía del equipo de microondas, transmisor, receptor, antenas de corneta, antena dieléctrica, corto variable, bases de diseño exclusivo para el soporte de las guías de onda, y los soportes de guía de onda. Todos fueron diseñados y fabricados, y aunque son un prototipo presentan cualidades de equipo terminado.

Características de operación del receptor.

Voltaje de alimentación: 110 Volts; 60 HZ

Voltaje de entrada (mínima) al amplificador: 2 mVolts

Impedancia de entrada: $10^{12}\Omega$

Impedancia de salida $\cong 10^2\Omega$

Potencia de salida del amplificador de audio $\cong 1$ Watt

Medidor.

Galvanómetro: 0 - 100 mVolts

Potencia

33 Watts

PARTE II

GRUPO DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO

Introducción

La enseñanza de cualquier materia siempre estará mejor soportada si además de una excelente presentación de sus teorías, se cuenta con la experiencia de una práctica en un laboratorio.

En un laboratorio es posible presenciar los diferentes fenómenos físicos planteados en un salón de clase. Si específicamente se habla de los diferentes fenómenos físicos que se pueden generar en un laboratorio de electromagnetismo, es posible implementar ciertos aditamentos o herramientas con los cuales sea factible, simular las condiciones bajo las que se presentan dichos fenómenos.

Laboratorio de electromagnetismo.

Para lograr el desarrollo de un laboratorio, es necesario planear cuales serán las experiencias que se quieran tratar en él; se deben desarrollar prácticas estructuradas, mediante las cuales sea posible cumplir con los requerimientos necesarios para lograr en el estudiante un entendimiento de los diferentes fenómenos físicos, y no simplemente memorizando formulas o recetas que en determinado lapso de tiempo sean fácilmente olvidadas.

Actualmente, la educación está recibiendo más atención, tal vez la que siempre se le debió de ver dado, ello debe ser un fuerte impulso para el buen equipamiento de cada centro de estudios, sino con lo mejor, con al menos lo necesario para que el aprendizaje tenga la consolidación esperada.

Para tal caso, se pensó en lograr una serie de prácticas en las que se tenga una estructura que permita ir comprobando los conceptos teóricos, muy necesarios, con la actividad del laboratorio. Para ello se plantea una estructura básica de las prácticas, de tal forma que quien haga uso de las mismas, encuentre fácilmente todo lo necesario para el buen desarrollo de cada experimento. Se está planteando un esquema tradicional en el que el estudiante encuentre concentrados todos los puntos, que le indiquen el número de

secuencia de la práctica, el tema sobre el cual se hace la presentación, el objetivo a seguir con el desarrollo de la práctica, una breve presentación del tema haciendo énfasis en los puntos que requieran de mayor interés, y el procedimiento con el cual se deba cumplir para lograr el resultado esperado en la práctica.

Además de lo anterior se debe tener, cuando así sea necesario, un dibujo o ilustración de la forma en que los diferentes componentes deban estar dispuestos para el experimento. Lo anterior es muy válido cuando se están utilizando varias piezas de equipo y sobre todo cuando la posición de los mismos sea crítica. Aquí puede incluirse una serie de advertencias o leyendas respecto a la forma correcta, del uso de cada pieza que compone al laboratorio.

Referente a los dibujos o fotografías, también es conveniente la inclusión de algunos de ellos en la parte correspondiente a la presentación, para ir logrando un enlace entre lo ya visto en una clase teórica con lo que se intenta presentar con la práctica. Esto es debido a que muchas veces no se recuerda exactamente todo lo visto, pero una imagen específica puede lograr hacer recordar la posición en un indicador, o la forma en que está dispuesta una corriente eléctrica en un elemento de radiación.

Aquí es conveniente aclarar que las prácticas aquí presentadas, están desarrolladas en base a las propias experiencias del autor en un laboratorio de teoría electromagnética y en un manual de empleo de la marca Philips [32] que incluye una breve descripción de cómo funciona un oscilador Klystron, como es que se tienen los campos electromagnéticos dentro de una guía de onda, así como una guía de uso para evitar dañar el equipo. Se consultaron algunas fuentes más [22, 28] que presentan opciones para la realización de una misma práctica.

Una referencia más son las prácticas que en uno de sus laboratorios, utiliza el departamento de Ingeniería electrónica eléctrica y de computación de la universidad de Nuevo México [33], sus prácticas están constituidas por texto y una serie de fotografías en las que se presenta la forma de desarrollar un experimento determinado. En cuanto al texto, consta de cinco incisos: propósito de la práctica, descripción, sugerencias para el desarrollo de la misma, equipo a utilizar, y un tiempo para puesta en operación. Una versión más económica, sólo tiene una lista de equipo, una breve explicación y los posibles temas a tratar.

En cada una de nuestras prácticas a diferencia de las antes mencionadas, se cuenta con una lista de pasos a seguir para llevar a cabo cada práctica, desde la forma en que se enciende el transmisor y el receptor, hasta la forma en que deben situarse las partes que intervienen en dicha práctica.

En ningún momento se está pretendiendo realizar un extenso estudio pedagógico acerca del uso de estas prácticas. Las prácticas fueron utilizadas en el laboratorio de electrónica con la única finalidad de comprobar, el completo funcionamiento del equipo y de la partes que este requería para lograr los objetivos planteados en cada una de ellas.

La finalidad del desarrollo de las prácticas, es el poder presentar no sólo un equipo más de microondas. Al tener este equipo, se pueden realizar prácticas desde el momento en que se instala. Es asunto de quien lo usa si utiliza las prácticas o si prefiere el desarrollo de experiencias en electromagnetismo que algún grupo o institución de gran prestigio le facilite. La ventaja al desarrollar un equipo de laboratorio operando en esta banda de frecuencias, es que la mayoría operan en la misma frecuencia y por consiguiente, las dimensiones de sus componentes son iguales, existen en algunos sino en todos, los mismos elementos de laboratorio para la enseñanza, inclusive siguen utilizando como oscilador al *klystron reflex* como es el caso del laboratorio de microondas de la universidad de Nuevo México. USA.

Equipo utilizado en las prácticas

En el diseño de las piezas que integran el equipo necesario para el desarrollo de las prácticas, se tuvieron en mente varios factores, uno de ellos tal vez el más importante, desarrollar el total de las piezas del laboratorio con la mayor sencillez, pero que al mismo tiempo dichas piezas fuesen un buen ejemplo de la forma y del material del que están constituidos los elementos construidos a gran escala, así como de las diferentes maneras en que pueden interactuar. Lo anterior es importante mencionarlo, debido a que en cada experimento se pueden utilizar varias piezas de equipo que no necesariamente deberán ser las mismas en cada una de las prácticas. Deben tener uniformidad en sus dimensiones físicas.

El laboratorio de electromagnetismo, comprende un sistema de enlace radioeléctrico, el cual consiste de dos partes, el lado emisor y el lado receptor, ambas partes deben ser compatibles en su operación, y cumplir con los requisitos de directividad. Se debe resaltar que una buena parte del laboratorio, lo constituyen los diferentes aditamentos con los cuales se desarrollan los experimentos, y que sin los cuales, el enlace radioeléctrico se vería limitado, pudiendo realizar sólo unas cuantas experiencias.

Enlace radioeléctrico

Lado emisor

Para la parte emisora del laboratorio se consideró el uso de un oscilador *Klystron reflex*. Lo anterior debido a que las potencias a usar son reducidas, ello da cierta seguridad para evitar posibles riesgos en su uso, además, de lograr una forma más sencilla de manipular el elemento. Por razones de presentación en sesión de laboratorio, un *klystron* se puede retirar de su montura con relativa sencillez, dicha sencillez dependerá del tipo de envolvente que use, y de la forma en que está fijo a la montura. El emisor cuenta con los componentes electrónicos necesarios para funcionar correctamente dentro de sus márgenes de diseño, como son las fuentes de polarización y los osciladores de baja frecuencia con los que es posible realizar las prácticas, así como para lograr una puesta en operación correcta.

Cuenta además con entrada para una señal externa, la cual puede estar generada por un oscilador a frecuencia fija o puede ser una señal de audio que cumple sólo requisitos de amplitud y de impedancia.

La parte emisora trabaja con un arreglo de antenas del tipo corneta. Las antenas de corneta presentan la ventaja de poder ser utilizadas como alimentadores para elementos de reflexión. Las antenas de corneta están unidas a secciones de guía de onda, las cuales a su vez tienen bridas de conexión para su uso con otras piezas del equipo. También se pueden tener antenas de corneta unidas directamente a bridas de conexión, lo anterior indica la diversidad de formas en que pueden ser usados los diferentes elementos básicos de un radio enlace.

Para todo esto se partió del diseño de la guía de onda a utilizar. La guía de onda parece ser lo más sencillo que integra a un equipo relacionado con la transmisión de microondas. Si, es sencilla, pero de ella depende si una señal puede o no ser transmitida, ya que en sus dimensiones se encuentran las limitantes en frecuencia para la propagación de la señal utilizada.

Lado receptor.

En este extremo se tiene un arreglo que permite recibir la señal del lado transmisor y acondicionarla para luego presentarla, ya sea en la pantalla de un osciloscopio en un medidor de unidades, o en una bocina por medio de un amplificador de potencia, que sería el caso de una señal de radio. En todos ellos interviene en la detección un diodo de estado sólido. Estos elementos se insertan directamente en una sección de guía de onda para detectar la energía de microondas. Los diodos toman la energía la rectifican, y luego proporcionan una señal de d.c. de relativa baja potencia. La señal es posteriormente amplificada y acondicionada para ser usada en alguna de las salidas.

También en este extremo se tiene acoplada una antena de tipo corneta similar a la utilizada en el extremo transmisor. Las dimensiones son similares para ambas antenas.

Equipo para difracción de BRAGG

Para esta práctica en específico, se consultaron diversos lugares en red [22, 27, 28, 29, 30, 31] para el desarrollo de la misma, así como para la obtención de los datos biográficos.

BRAGG

Introducción

Bragg, efecto Bragg, experimento de Bragg o ley de Bragg. En ocasiones no encontramos una forma adecuada, cuando nos referimos al experimento realizado por el científico que le dio su nombre.

La ley de Bragg es una sencilla ecuación, obtenida por Sir W. H. Bragg y su hijo Sir W. L. Bragg en 1913 [30], con ella explican porque la cara de un cristal parece que refleja un haz de rayos X en ciertos ángulos de incidencia (ángulo θ), la ecuación a la que se hace mención es la siguiente.

$$n\lambda=2d \text{ sen } (\theta) \quad (9)$$

En la ecuación anterior, “d” es la distancia entre capas atómicas del cristal sobre el que se incide, y por supuesto la variable λ es la longitud de onda del haz del rayo incidente. Y “n” es un número entero.

La observación del fenómeno, es un ejemplo de la interferencia de onda de rayos X, comúnmente conocida como Difracción de Rayos X (XRD), y constituyó una evidencia directa de la estructura atómica de los cristales, que fue postulada siglos antes.

Lo anterior se desarrolló para la determinación o comprobación de la estructura atómica de los cristales. Para mayor claridad se define lo que se entiende por un cristal. Un cristal es un cuerpo sólido rodeado por caras planas que son la expresión externa del arreglo interno regular, constituido por átomos, moléculas o iones.

Las partículas en un cristal ocupan posiciones, con una relación geométrica bien definida entre ellas. Formando una especie de andamiaje, que se puede considerar como un tramado cristalino. Con base en la química y en los posibles arreglos de sus átomos, un cristal cae dentro de una de las 32 clases [30], las que a su vez se agrupan en sistemas de siete cristales, esto de acuerdo a la relación de sus ejes.

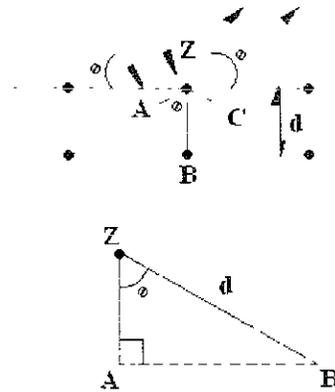
Las diferencias en las propiedades físicas de los cristales, muchas veces determinan el uso que se les pueda dar.

Los Bragg fueron distinguidos con el premio Nóbel en física en 1915, por su trabajo de la determinación de la estructura cristalina [30], comenzando con NaCl, ZnS y de diamantes. Aunque la ley de Bragg fue determinada para explicar la interferencia del patrón

de rayos X, esparcidos por un cristal, la difracción ha sido desarrollada para estudiar la estructura de los estados de la materia con cualquier haz de iones, electrones, neutrones o protones, que tengan una longitud de onda similar a la distancia entre átomos o la estructura molecular de la materia de interés.

Determinación de la ley de Bragg

La ley de Bragg puede ser fácilmente derivada, teniendo en consideración las condiciones necesarias para hacer que las fases del haz, coincidan cuando el ángulo incidente iguala al ángulo reflejado [28, 30]. Los rayos del haz incidente están siempre en fase y paralelos, hasta el punto en el que el primer haz choca o golpea la capa alta en el elemento Z, según se aprecia en la figura [65]. El segundo haz continúa hasta la segunda capa dónde es esparcida por el elemento (átomo) B. Para este caso el segundo haz deberá viajar una distancia extra AB+BC, para que los dos haces continúen viajando adyacentes y paralelos.



Figura[65] Mediante estas figuras se puede derivar la ley de Bragg. Utilizando la reflexión geométrica y aplicando trigonometría, se puede ver que el segundo haz, deberá viajar una distancia extra (AB+BC) para continuar viajando paralelo y adyacente al primer haz.

La distancia extra deberá ser un múltiplo entero (n) de la longitud de onda (λ) para que las fases de los dos haces sea la misma. En la figura [65] se designa d como la hipotenusa del ángulo recto ABZ. Utilizando trigonometría para relacionar d y θ con la distancia (AB+BC). La distancia AB es opuesta a θ por lo que:

$$AB = d \sin \theta \tag{10}$$

Debido a que $AB=BC$; entonces

$$n\lambda = 2AB \tag{11}$$

sustituyendo la ecuación (10) en (11) tenemos

$$n\lambda=2d \text{ sen } \theta \quad (12)$$

Experiencia

Contando con la valiosa ayuda de quienes han pasado más de treinta años en el campo de la enseñanza, esforzándose por transmitir sus conocimientos teórico-prácticos, y en constante búsqueda de nuevas técnicas que permitan, que ayuden, que faciliten, evidenciar hechos físicos a los estudiantes, se ha podido desarrollar equipos donde se les demuestra a los alumnos, que los hechos que perciben en una cubeta de ondas donde pueden hacer mediciones de fenómenos ondulatorios como la reflexión, refracción, interferencia y polarización entre otros más, y que también se pueden reproducir estos mismos fenómenos en un banco óptico con luz y lentes. Para que en ese momento se haga la analogía del comportamiento de las ondas con la luz, resulta ahora sencillo inferir la pertenencia a la misma clase de fenómeno.

La pregunta que todo maestro se hace ¿Como podemos hacer, para que los estudiantes se den clara cuenta de que las señales electromagnéticas son ondas? En principio los estudiantes lo tienen que creer. Se dice que tienen los estudiantes que generar un acto de fe, a lo que se dice respecto a la naturaleza ondulatoria de las señales electromagnéticas.

El problema se resuelve por el uso de las microondas. Utilizando microondas se pueden realizar toda una gama de experimentos que le permiten al estudiante lograr la analogía de las señales electromagnéticas con las ondas y la luz, en concreto poderlas agrupar dentro de la misma categoría.

Es posible estudiar los efectos de las microondas en la comunicación, los efectos de las antenas y espejos, la importancia de los obstáculos a la señal electromagnética y las posibilidades de uso de la refracción de la señal para lograr los enlaces que se buscan, lo que permite que el estudiante conciba como es que funciona la tecnología moderna de comunicaciones.

Es posible lograr su acercamiento con otros temas de la física moderna como el efecto túnel, experimento de difracción de Bragg e identificación de tipo de estructuras cristalinas.

Aditamentos adicionales

Para el buen desempeño del laboratorio se procedió a la elaboración de algunos aditamentos necesarios, como lo son los soportes de guía, que están hechos de un material conocido como cool roll, el cual aunado al diseño, es lo suficientemente pesado para evitar la volcadura del elemento que está sosteniendo. Junto con los soportes, están las canaletas de sujeción, las cuales permiten mantener la guía de onda fija al soporte, pero también pueden ser separados de ellos debido a la forma en como se acoplan.

Diseño de la presentación de las prácticas

En la estructura de la práctica se cuenta con cuatro bloques dónde se asientan los datos necesarios que permiten seguir una secuencia durante el proceso de realización de la práctica. De igual forma permite volver a lo realizado en la práctica en sesiones posteriores del laboratorio, o en sesiones de estudio individuales.

En el primer bloque se asientan los datos de número de práctica y el del tema que se trata. Este bloque se puede adicionar con los datos personales del alumno y algunos otros datos, como grupo de laboratorio, horario y número de equipo asignado, y el nombre del responsable del laboratorio.

El siguiente bloque, llamado Objetivo, resume cuales deberán ser los alcances de la práctica al seguir cada uno de los pasos establecidos en la secuencia.

El tercer bloque es la presentación de la práctica. En este bloque se presentan algunos conceptos que son de utilidad en el desarrollo de la práctica, se tocan algunos puntos básicos sin llegar a plantear una explicación detallada de los diferentes conceptos teóricos en los que se apoya el experimento presentado en la práctica. Se aprovecha el espacio para establecer, cuando se considere necesario, las medidas de seguridad que ayuden a evitar posibles daños a los usuarios, y la preservación del equipo en buenas condiciones de operación.

En el cuarto bloque se establece la secuencia o lista de pasos a seguir para alcanzar el objetivo de la práctica, se incluye en caso de ser necesario, parte de la teoría que sustenta lo presentado en cada paso. De igual forma se proporcionan algunos datos que permitan corroborar el buen desarrollo de la práctica

Finalmente se adiciona una sesión de observaciones, para asentar comentarios respecto de la práctica su desarrollo, carencias y posibles adiciones, todo ello con la finalidad de mejorar la práctica en contenido y forma.

PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO

Estructura propuesta de las prácticas.

PRÁCTICAS

Las Partes esenciales de la práctica se presentan en forma agrupada, con la intención de preservar la observación considerada como más relevante. De esta forma es posible regresar a la misma en caso de ser necesario, y reconstruir lo realizado.

Número de práctica: *Número asignado a la práctica bser una secuencia establecida*

Tema: *Tema que trata la práctica*

Los datos personales que se asienten en los tres bloques siguientes, pueden ser presentados en una carátula al inicio, para mayor facilidad de quien tiene que supervisar la práctica.

Nombre: /

Grupo: /

Horario: /

Objetivo:

Breve bservación referente a los objetivos a conseguir al desarrollar los pasos establecidos en el procedimiento.

Presentación:

Resumen de la forma en que se desarrolla la práctica, y las diferentes medidas de bservaci que deben ser observadas durante la bservación de la práctica

Este bloque se aprovecha para mostrar algunos conceptos considerados como puntos clave para el desarrollo de la práctica, buscando con ello reforzar la teoría vista en clase, pero sin llegar a la bservación de un bservac profundo de los fenómenos físicos presentados, no se busca sustituir una presentación formal sino solamente hacer bserva de los puntos importantes para la práctica en particular.

Procedimiento

En esta parte están los pasos necesarios para llevar a cabo la práctica, la teoría necesaria para fundamentar el porque de cada paso, y los resultados que debe obtenerse en cada paso.

Conclusiones

Aquí se debe verter la experiencia del alumno al finalizar la práctica.

Observaciones

En cuanto a las bservaciones se debe tener cuidado en dar cabida a toda sugerencia proporcionada por quien está experimentando con el equipo.

Relación de prácticas

Primera parte

- 1 Modulación
- 2 Polarización de la onda generada
- 3 Reflexión.
- 4 Onda estacionaria.
- 5 Patrón de radiación.
- 6 Influencia de la humedad en una transmisión de microondas.
- 7 Interferometría.
- 8 Reflexión de las ondas de radio.
- 9 Propagación de las microondas y frecuencia de corte de una guía de onda.

Segunda parte

Experimento de Bragg.

PRÁCTICAS

Práctica 1

Tema: **Modulación**

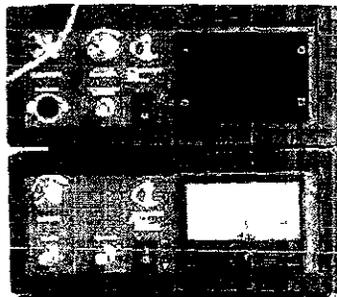
Objetivo: Demostrar la modulación de una onda portadora en microondas.

Presentación: Después de haber puesto en funcionamiento al transmisor, como se describe en la parte de puesta en operación, el equipo está en condiciones de enviar una señal modulada. La modulación de la señal portadora se realiza mediante una señal de baja frecuencia, por esta razón el receptor tiene un amplificador de audio a la entrada.

El amplificador de audio del receptor, por ser un amplificador de señales de baja frecuencia, no puede amplificar una señal de microondas no modulada, debido a que la portadora tiene una alta frecuencia. Para demostrar la modulación debida a una fuente externa de baja frecuencia se siguen los tres pasos que a continuación se enlistan.

Procedimiento

- 1- Fijar el transmisor según se especifica en los incisos de puesta en operación.
- 2- Sin tener conexión alguna en la entrada etiquetada (marcada) como MODULACIÓN EXTERNA, girar el selector de tipo de modulación hasta la posición marcada como MODULACIÓN EXTERNA. En este punto se debe notar que el receptor no presenta salida alguna.



Figura[PR1.1] Módulos de transmisión y de recepción

- 3- En este punto, se conecta una señal de audio, ya sea la salida de un generador, de un oscilador cualquiera o la señal de un radio, esta última cuidando que no exceda un nivel mayor a 700mVolts.a la entrada del conector de MODULACIÓN EXTERNA. Ahora sí, se debe estar recibiendo una señal detectada por el amplificador del receptor. La amplitud de la señal recibida se puede ajustar mediante la perilla (control) de voltaje de Klystron, en el transmisor, y posteriormente con los controles en el receptor .

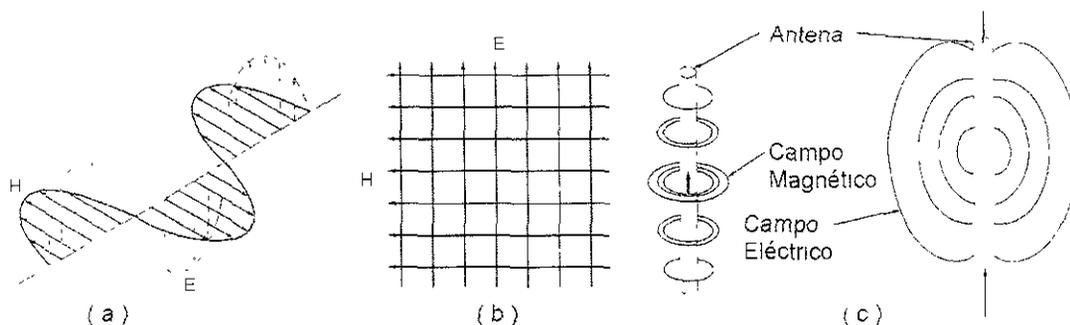
PRÁCTICAS

Práctica 2

Tema: Polarización de la onda generada

Objetivo: Describir y demostrar la característica de polarización de las ondas planas polarizadas linealmente.

Presentación: La energía electromagnética en todo el espectro, incluyendo por supuesto a las microondas y luz visible, tienen como característica una forma de onda. Esta característica es producida por el campo electromagnético que incluye ambos, el campo eléctrico (E), y el campo magnético (H). La dirección de polarización de una onda electromagnética se describe por conveniencia, por la dirección del campo eléctrico (E). En la siguiente figura[PR2.1], se presentan unos dibujos que representan algunos de los conceptos que se tratan en las prácticas.



Figura[PR2.1] (a) Forma de onda polarizada linealmente, mostrando la relación entre E y H. (b) En este dibujo se ejemplifica la relación entre los campos E y H, como un frente de onda. (c) En este dibujo se presenta una forma aproximada de los campos E y H en las cercanías de una antena en un instante dado para un ciclo de oscilación.

El modo de polarización más común es en el que, el campo eléctrico viaja en un solo plano transversal, como se muestra en la figura [PR2.1]. Si los componentes de campo eléctrico y de campo magnético en el plano transversal, no cambian su alineamiento a lo largo de la onda, entonces se dice que es una onda polarizada linealmente.

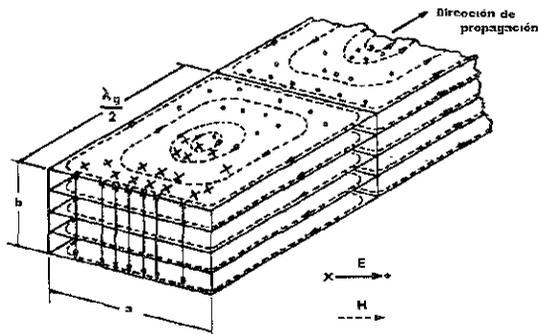
Otro tipo de polarización muy común en microondas, es el llamado polarización circular; en la polarización circular, el campo eléctrico va rotando sobre el eje de viaje o desplazamiento con una magnitud constante.

La energía electromagnética radiada por el oscilador Klystron, a través de su antena, está polarizada linealmente. Cuando el Klystron (y su antena) están en posición vertical, el campo eléctrico oscila en un plano vertical como se ilustra en la figura [PR2.1]. Estrictamente hablando esta es una onda polarizada vertical y linealmente.

La energía propagada a través de una guía de onda, no es sólo una onda plana, es la suma de dos ondas planas rebotando en las paredes opuestas de la guía en ángulos iguales, por lo tanto se cancelan en las paredes laterales.

La guía de onda puede llevar sólo el modo dominante o modo principal de polarización de la banda para la que fue diseñada, porque las ondas no rebotan en fase si las dimensiones internas de la guía de onda exceden a media longitud de onda.

Generalmente se utiliza un tipo de equipo de microondas trabajando en el modo TE_{1,0}. Las letras TE indican que el campo eléctrico es transversal a la dirección de propagación. Los sufijos 1,0 indican el número de variaciones de medio ciclo en la intensidad del campo eléctrico, a lo largo de la parte ancha y angosta de la guía de onda respectivamente; siempre considerando medidas internas. En la figura [PR2.2], se presenta un dibujo de cómo se comporta el patrón de campo del modo de oscilación TE_{1,0}



Figura[PR2.2] Dibujo que presenta el patrón de campo del modo de oscilación TE_{1,0}

Procedimiento.

Polarización directa.

- 1) Fijar el transmisor según se especifica en los incisos de puesta en operación.
- 2) Encender el transmisor, dejar pasar alrededor de un minuto para que el Klystron alcance su temperatura de operación.

- 3) Ajustar la perilla de voltaje del Klystron para obtener máxima salida en el transmisor, ajustar la perilla de ganancia en el lado receptor para obtener una lectura máxima.
- 4) Mantener la rejilla de polarización a una distancia de tres centímetros frente y sobre la antena de corneta receptora, con las líneas conductoras horizontales, procurando mantener los dedos y manos fuera de la apertura de la antena. La señal deberá cambiar ligeramente bajo estas condiciones.
- 5) Girar la rejilla de polarización en el plano transversal al eje del sistema, para que las líneas conductoras estén ahora verticales, pero paralelas y a una distancia de aproximadamente tres centímetros frente a la antena. Bajo estas circunstancias la señal recibida disminuirá debido a que los conductores reflejan o cortocircuitan el campo vertical E.

Polarización cruzada.

- 1) Rotar la antena de corneta receptora en un ángulo de 90 grados. De esta forma se le da una polarización horizontal al receptor, dándole una orientación de 90 grados respecto de la polarización vertical del transmisor.
- 2) Repetir los tres primeros pasos especificados en la primera sección. La señal recibida será bastante débil e inclusive se puede hacer llegar a cero aún cuando se tenga la máxima ganancia en el lado receptor, si la rotación de la antena se ajusta cuidadosamente para lograr un punto cero.
- 3) Nuevamente, mantener la rejilla a una distancia de aproximadamente tres centímetros frente y paralela a la antena receptora, y comenzar a girarla sobre su propio eje. La señal estará próxima a cero cuando las líneas conductoras estén verticales u horizontales, pero, tendrán un máximo valor parecido al de la polarización directa, cuando las líneas conductoras estén sobre los 45 grados de la posición horizontal. En el caso cuando el transmisor envía una señal con polarización vertical, la onda transmitida podrá ser considerada como la resultante de dos vectores a 45 grados de aquí que, uno de ellos pueda estar excitando a las líneas conductoras de la rejilla, les esté induciendo una corriente. Si dichas corrientes les están siendo inducidas, ellas a su vez radián en fase y producen una componente horizontal a 45 grados, la cual puede llegar o ser percibida por la antena receptora.

PRÁCTICAS

Práctica 3

Tema: Reflexión

Objetivo: Demostrar el efecto de reflexión para una señal dada.

Presentación: Cuando las ondas electromagnéticas inciden en superficies metálicas, se produce un redireccionamiento de las mismas ondas. Si la superficie es metálica y plana con dimensiones grandes, en comparación con la longitud de onda de la señal incidente, el proceso es llamado reflexión. La dirección de las nuevas señales está relacionada con la dirección de las ondas incidentes, ésto debido a la ley de reflexión. Si la superficie incidente es suave o brillante ocurrirá la reflexión, pero sí la superficie no lo es, entonces se tendrá una reflexión difusa. Un dato adicional de la reflexión que conviene asentar es que, durante dicho efecto o proceso, la polaridad de la onda es generalmente alterada.

El proceso de reflexión se basa en que: la componente de campo eléctrico de la señal, paralelo a la superficie metálica siempre será cero, porque la placa metálica es conductora, y representa un corto circuito efectivo para el potencial de campo eléctrico (E).

Procedimiento.

Incidencia Normal.

- 1) Situar la antena del transmisor y la del receptor lado a lado, cuidando que ambas antenas (cornetas) estén orientadas hacia la misma dirección, permitiendo un pequeño espacio entre ellas, como se aprecia en la figura [PR3.1]

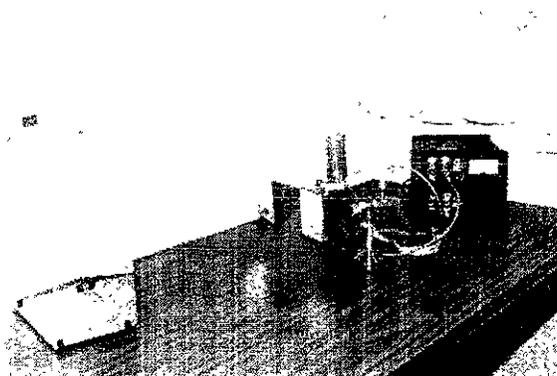


Figura [PR3.1] Arreglo transmisor receptor con la placa reflectora

- 2) Encender el transmisor y esperar un par de minutos para que el oscilador *Klystron* alcance su temperatura de operación.
- 3) Ajustar el voltaje del reflector del *Klystron* para obtener la máxima amplitud de la señal.
- 4) Es recomendable que ambas antenas queden fuera de la mesa de trabajo suspendidas sólo por sus soportes. Situar una placa metálica separada de las antenas y enfrente de éstas por al menos una distancia de 60 centímetros, la placa queda también, suspendida por su propio soporte y de preferencia en una mesa de trabajo aparte. La placa debe cumplir con tener al menos una superficie de 26 cm².
- 5) Iniciar este paso con la placa metálica completamente fuera del alcance del haz de las antenas. Posteriormente introducir la placa a la distancia antes propuesta, y completamente paralela a la dirección del haz, para obtener en el lado receptor una mínima lectura. Incrementar lentamente el ángulo hasta llegar a los 90 grados de incidencia. Una segunda opción para este experimento consiste en ir alejando del arreglo de antenas, la placa metálica, procurando no variar el ángulo. Claro está que después de haber logrado una señal de máxima intensidad. Con este movimiento se verá que la amplitud de la señal recibida en el lado receptor comienza a disminuir conforme se aleja la placa metálica.
- 6) Repetir el paso (5), cambiando de posición la placa para ver que efectos tienen sobre la intensidad de la señal recibida.

Ángulos de incidencia y de reflexión.

- 1) Situar la antena de corneta del receptor a la derecha de su posición actual, a una distancia de aproximadamente seis o siete centímetros, igualmente, mover la antena de corneta del transmisor a su izquierda en la misma proporción como se muestra en la figura [3.1], con los dibujos punteados.
- 2) Situar la placa metálica reflectora en una posición vertical a una distancia de seis centímetros frente a las dos antenas.
- 3) Encender el transmisor y esperar un par de minutos para que el oscilador *Klystron* alcance su temperatura de operación. Ajustar el voltaje del reflector del *Klystron* para obtener la máxima amplitud de la señal.
- 4) Apuntar las antenas de corneta hacia el centro del reflector metálico y lentamente mover el reflector para intentar lograr máxima intensidad de señal recibida. La señal se ira incrementando conforme el ángulo de incidencia y de reflexión sean iguales.

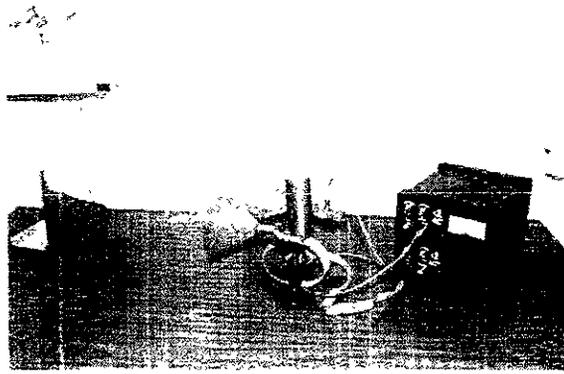


Figura [PR3.2] Arreglo propuesto para la medición del ángulo de incidencia.

Medición del ángulo

- 1) Acomodar el equipo como se muestra en la figura [PR3.2], mediante el aditamento de montura del reflector metálico, fijar la posición del reflector y alejarlo de las antenas los mismos seis o siete centímetros del experimento anterior. Además, fijar un transportador bajo la placa metálica haciendo coincidir el plano de la placa con cero grados.
- 2) Encender el transmisor y esperar un par de minutos para que el oscilador *Klystron* alcance su temperatura de operación. Ajustar el voltaje del reflector del *Klystron* para obtener la máxima amplitud de la señal.
- 3) Variar el ángulo de incidencia hacia el reflector de 15 a 30 grados, medir el correspondiente ángulo de reflexión moviendo la antena de recepción hasta el ángulo en el que la recepción sea máxima.

PRÁCTICAS

Práctica 4

Tema: **Onda estacionaria.**

Objetivo: Demostrar el efecto de onda estacionaria en una señal.

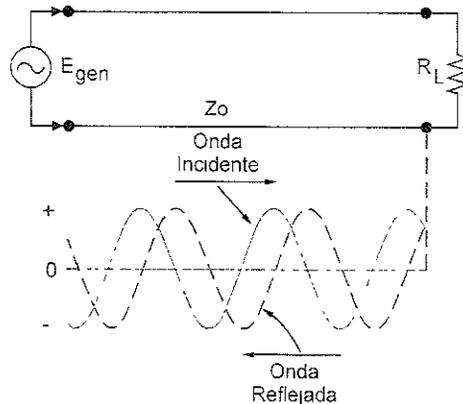
Presentación: Para lograr una máxima transmisión de potencia, se tiene una línea de transmisión que tenga una terminación no-resonante. En este caso, la carga es puramente resistiva, y por ello se acopla perfectamente con la impedancia de la línea de transmisión. Toda la potencia puesta dentro de la línea de transmisión por el transmisor, se moverá a través de ella y aparecerá en la resistencia de carga, menos una pequeña pérdida debida a varios efectos propios de la línea de transmisión.

Se mencionó que la línea de transmisión era no resonante, pero que pasa cuando la línea está terminada en una carga clasificada como resonante? Cuando la impedancia de carga no es igual a la impedancia de la línea por no ser una resistencia pura, mayor o menor que la de la línea, entonces se tendrá una carga resistiva y reactiva. Lo anterior se traduce en que la energía transmitida no será completamente absorbida por la carga; y la cantidad de energía que no es absorbida, es reflejada, y va de regreso hacia el transmisor por la misma línea de transmisión.

En el caso de tener una carga resonante, se tienen dos ondas de energía moviéndose a través de la línea de transmisión al mismo tiempo, pero en direcciones contrarias. Se tiene una onda incidente, que es la onda que va del generador a la carga y, la onda reflejada, es la onda que se mueve en la dirección opuesta a la carga de la línea, la onda reflejada se desplaza desde la carga hasta la fuente de generación.

Ambas ondas son continuas en su desplazamiento, por lo que habrá momentos en los cuales los picos de ambas ondas coincidan, y los voltajes se sumen, y por el contrario, habrá momentos en los cuales los voltajes se cancelarán por estar fuera de fase.

En la siguiente figura [PR4.1], se aprecia un dibujo con el que se intenta ejemplificar el efecto.



Figura[PR4.1] Ondas incidente y reflejada, moviéndose a lo largo de la línea con terminación no acoplada.

Aunque la onda incidente y la onda reflejada están constantemente en movimiento a lo largo de la línea, los puntos a lo largo de la línea donde las ondas se suman y en los que se cancelan, no se mueven. Esto crea una onda fija de voltaje a lo largo de la línea que es llamada estacionaria.

Procedimiento

Múltiples rutas

- 1) Situar la antena del transmisor y la del receptor lado a lado, cuidando que ambas antenas (cornetas) estén orientadas hacia la misma dirección, permitiendo un pequeño espacio entre ellas, como se aprecia en la figura[PR3.1]
- 2) Encender el transmisor y esperar un par de minutos para que el oscilador *Klystron* alcance su temperatura de operación.
- 3) Ajustar el voltaje del reflector del *Klystron* para obtener la máxima amplitud de la señal
- 4) Es recomendable que ambas antenas queden fuera de la mesa de trabajo suspendidas sólo por sus soportes. Situar una placa metálica separada de las antenas y enfrente de éstas a una distancia de 60 centímetros, la placa queda también, suspendida por su propio soporte y de preferencia en una mesa de trabajo aparte. La placa debe cumplir con tener al menos una superficie de 26 cm^2
- 5) Iniciar este paso con la placa metálica completamente fuera del alcance del haz de las antenas. Posteriormente introducir la placa a la distancia antes propuesta, y

completamente paralela a la dirección del haz, para obtener en el lado receptor una mínima lectura. Incrementar lentamente el ángulo hasta llegar a los 90 grados de incidencia. Un paso adicional consiste en ir alejando del arreglo de antenas, la placa metálica, procurando no variar el ángulo. Con este movimiento se verá que la amplitud de la señal recibida en el lado receptor, comienza a disminuir conforme se aleja la placa metálica.

- 6) Mover la placa reflectora hacia atrás lentamente, manteniendo el plano normal para obtener una máxima señal en el receptor.
- 7) Cuando la placa reflectora se encuentra a una cierta distancia de las antenas, la intensidad de la señal recibida varía en forma oscilante (oscila). Este efecto es debido a la adición y a la cancelación, respectivamente, de las señales provenientes del transmisor, y que son recibidas en la antena de corneta del receptor por dos caminos.

Medición de la longitud de onda.

- 1) Situar la antena del transmisor y la del receptor lado a lado, cuidando que ambas antenas (cornetas) estén orientadas hacia la misma dirección, permitiendo un pequeño espacio entre ellas, como se aprecia en la figura [PR3.1]
- 2) Encender el transmisor y esperar un par de minutos para que el oscilador *Klystron* alcance su temperatura de operación.
- 3) Ajustar el voltaje del reflector del *Klystron* para obtener la máxima amplitud de la señal
- 4) Es recomendable que ambas antenas queden fuera de la mesa de trabajo suspendidas sólo por sus soportes. Situar una placa metálica separada de las antenas y enfrente de éstas, a una distancia de 60 centímetros, la placa queda también, suspendida por su propio soporte y de preferencia en una mesa de trabajo aparte. La placa debe cumplir con tener al menos una superficie de 26 cm^2
- 5) Medir cuidadosamente, la distancia entre dos puntos nulos sucesivos cuando el reflector es movido lentamente a lo largo del eje de la antena de corneta. Las posibles distancias entre todos los puntos nulos deberán estar a una media longitud de onda, y será entre 1.57 cm y 1.76 cm dependiendo por supuesto, de la frecuencia de sintonía del *Klystron*.

PRÁCTICAS

Práctica 5

Tema: Patrón de radiación de una antena.

Objetivo. Demostrar la técnica para obtener el patrón de directividad de una antena, y demostrar el factor de directividad de una antena de corneta.

Presentación. A una antena se le considera como a un elemento pasivo, un elemento convertidor de campo. La antena convierte la propagación en espacio libre de una onda plana, en una onda guiada y propagada por línea de transmisión para ser dirigida a través de una línea de alimentación. Las antenas más comunes hacen lo mismo con algunas características de directividad, las dimensiones de las antenas están estrechamente relacionadas con la longitud de onda de la señal de interés. Entre más directiva sea una antena mayor será su ganancia.

Las antenas se construyen de varias medidas y formas, dependiendo del patrón de directividad que se les quiera dar e igualmente de la ganancia requerida por el sistema.

Casos particulares existen muchos, para la radio difusión, las antenas receptoras tienen un patrón amplio y que es conocido como patrón omnidireccional, para este patrón le corresponde una antena pequeña, un dipolo o elemento cerrado (*loop*). Un caso muy especial lo conforman las antenas de radar que requieren de haces muy estrechos.

Las antenas de corneta, son antenas alimentadas por la parte posterior. Las antenas reflectoras, parabólicas y sección de esfera, del tipo de alimentación frontal, son antenas que pueden tener dos o más alimentadores y flancos de entrada, con lo cual pueden lograr dos o más haces independientes.

Al determinar el patrón de radiación de una antena es recomendable, conocer cuando la antena receptora se encuentra en el campo lejano, para ello, se puede recurrir a la siguiente expresión

$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$

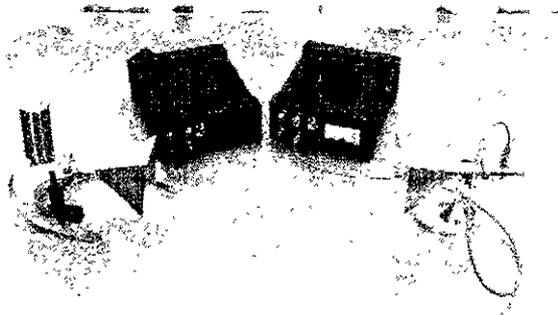
La anterior expresión es utilizada considerando a la D como el diámetro de la antena receptora, y λ , la longitud de onda de la señal utilizada, R es la distancia de la fuente de emisión a la antena receptora. Con los datos anteriores es posible determinar un límite o

distancia en el umbral entre la región de campo cercano y la región de campo lejano. Dicho umbral se presenta en los 73.5 cm de distancia de la fuente emisora a la antena receptora.

Procedimiento

Patrón de una antena de corneta

1) Poner las dos antenas separadas 1.5 metros una frente a la otra como se muestra en la figura [PR5.1]. Se recomienda utilizar el aditamento especialmente diseñado para esta prueba.



Figura[PR5.1]Arreglo transmisor receptor convencional.

2) Fijar un transportador bajo la apertura de la antena de corneta del transmisor, como medida de seguridad fijar también un elemento que permita mantener la distancia entre las antenas, pero al mismo tiempo sea posible hacer girar la antena receptora. De esta forma se logra medir el ángulo en la unidad receptora, moviendo la antena en forma horizontal. Figura [PR5.2]



Figura[PR5.2] Soporte con base y escala graduada.

3) Encender el transmisor y permitir que el *klystron* llegue a su temperatura de operación.

- 4) Dirigir las dos antenas una contra la otra hasta obtener el máximo en la lectura del lado receptor, ajustar la ganancia para obtener el máximo permitido. Ajustar el transportador para que coincida con una lectura de cero grados.
- 5) Mover la antena receptora despacio, sobre su eje, y manteniendo la alineación con el centro de la apertura de la antena del lado transmisor, a una distancia constante. Ver figura [PR5.4]. Tomar la lectura de la intensidad de la señal y del ángulo en el que está. Repetir cada cinco grados. Graficar intensidad contra grados en papel para obtener el patrón.
- 6) Regresar las antenas a su posición original (cero grados), quitar la antena de corneta del transmisor de la montura del klystron. Se notará una apreciable disminución en la intensidad de la señal. Para compensar, incrementar la ganancia en el lado receptor, para lograr la máxima intensidad recibida, volver a tomar lecturas cada cinco grados para obtener el patrón de radiación de la pequeña apertura que presenta la montura del klystron.
- 7) Graficar intensidad de la señal recibida contra el ángulo de desviación, para obtener gráficamente el patrón de radiación de la antena.

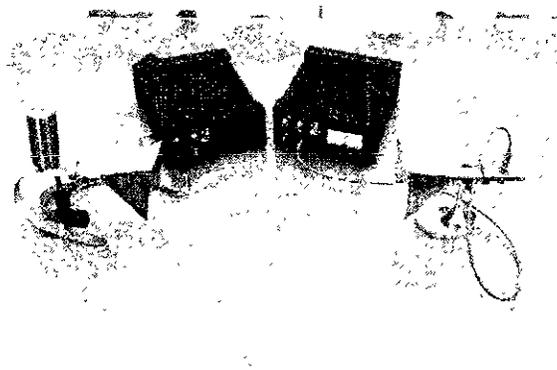


Figura [PR5.3] Arreglo propuesto para la obtención del patrón de radiación de una antena. Las dos antenas están sujetas mediante un brazo de material aislante.

Doble ranura

- 1) Disponer el arreglo transmisor receptor para obtener una polarización horizontal.
- 2) Situar el marco ranurado frente a la antena transmisora a 10 centímetros, y paralela con respecto a la antena, con las ranuras verticales.
- 3) Encender el transmisor, esperar un tiempo a que el *klystron* alcance su temperatura de operación.

- 4) Ajustar el voltaje del *klystron* para emitir una señal lo más fuerte posible. Además fijar la ganancia del receptor para que la ganancia permita que la señal se encuentre a media escala de medición.
- 5) Dibujar el patrón de radiación que se produce con el marco frente a la antena. Para ello se sigue el proceso similar al del anterior experimento, utilizando el transportador y la línea de referencia.

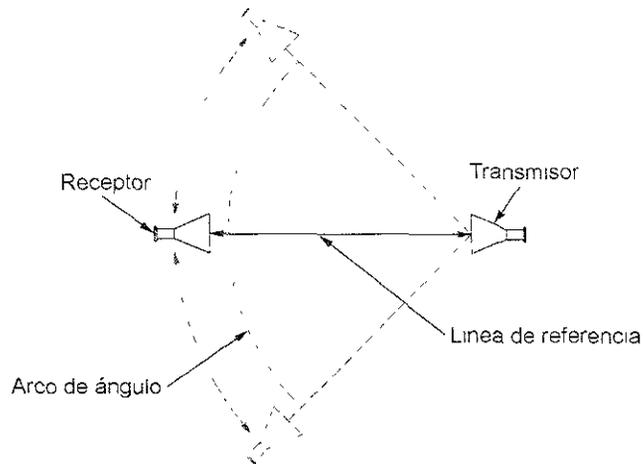


Figura [PR5.4] Dibujo que presenta la forma en que debe recolectarse la intensidad de la señal recibida, contra el ángulo de la antena de corneta receptora

PRÁCTICAS

Práctica 6

Tema: **Influencia de la humedad en una transmisión de microondas.**

Objetivo: Demostrar la afectación de una transmisión debida a la humedad

Presentación: El problema de la reflexión es muy común en un sistema de enlace por microondas. Sin embargo, cuando los aparatos que usan frecuencias altas como los radares y satélites de comunicación, tienen que operar bajo condiciones muy distintas de las ideales, y debido a ello sufren innumerables reflexiones, y disgregación de la señal. La gravedad del asunto llega a situaciones en las que la humedad de la atmósfera puede fácilmente degradar la señal transmitida, y el haz que inicialmente llegaba al receptor, ahora se ve alterado e inclusive, atenuado a niveles imperceptibles para el sistema receptor. Mediante este ejemplo se presenta en forma sencilla, cual es el efecto de la humedad en una señal de comunicación.

Procedimiento

- 1) Iniciar el experimento según los pasos descritos en puesta en operación.
- 2) Utilizar una porción de tela (trapo) seco de al menos, 30 por 30 centímetros, situarlo entre las dos antenas de corneta del transmisor y del receptor. Observar y registrar el valor obtenido, de intensidad, de la señal recibida en el lado receptor
- 3) Ahora, mojar o enjuagar (agua) y exprimirlo ligeramente hasta que no escurra. Hacer lo mismo que en el paso anterior, y registrar nuevamente el valor de intensidad que está presentando en el lado receptor el medidor.

PRÁCTICAS

Práctica 7

Tema : Interferometría

Objetivo: Demostrar algunos de los conceptos de la interferometría

Presentación: Utilizando un equipo de microondas en la banda X, se puede obtener una versión del interferómetro de *Michelson*, solamente se agrega al equipo, un par de placas metálicas para que funcionen como reflectores, junto con una placa que tenga las características de ser una superficie parcialmente reflejante. Estas hojas o placas, se pueden lograr utilizando rejillas metálicas e inclusive una hoja de vidrio. Las placas se sugiere que tengan una dimensión de 25 centímetros cuadrados.

Para un mejor desempeño del equipo en conjunto, es necesario dotarlo con un soporte base, en el cual se puedan sujetar firmemente, todas las partes empleadas en la práctica.

Esta práctica se sugiere para un nivel mayor al básico, en lo que a complejidad se refiere.

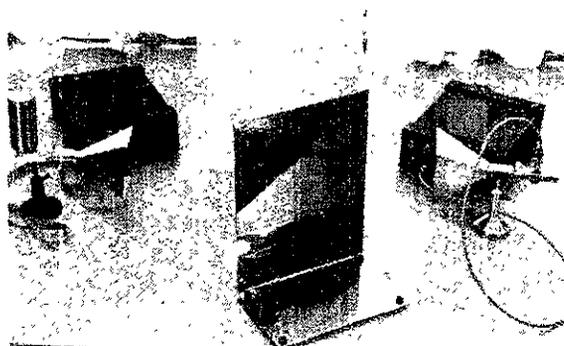
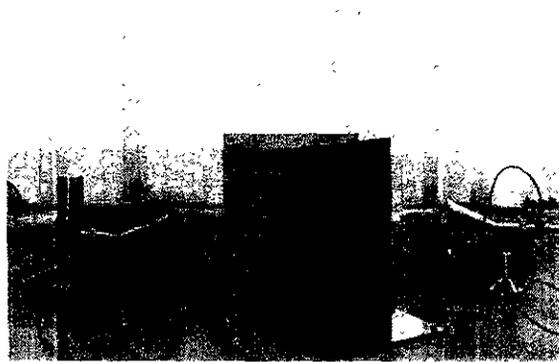


Figura [PR7.1] Fotografía del arreglo con todos los aditamentos necesarios para el experimento.

Procedimiento:

- 1) iniciar el experimento según los pasos descritos en: Puesta en operación.

- 2) A continuación, situar la placa reflectora frente a la antena emisora a una distancia mínima de 60 centímetros. Como se aprecia en la figura [PR7.1].
- 3) Situar entre la antena emisora y la placa reflectora, una segunda placa reflectora junto a la placa semireflectora o rejilla, ambas perpendiculares y a 90 grados de la primera placa reflectora.



Figura[PR7.2]Arreglo de placas reflectora y parcialmente reflectora

- 4) Del conjunto de dos placas paralelas (reflectora y rejilla) girar sobre su soporte a la rejilla, de tal forma que vaya formando un ángulo con respecto a la placa reflectora. Procurar que el giro sea uniforme.
- 5) Observar el comportamiento en el medidor de intensidad en el módulo del lado receptor.

PRÁCTICAS

Práctica 8

Tema Reflexión de las ondas de radio.

Objetivo: Demostrar el efecto de radio desvanecimiento, causado por la interacción entre una onda de radio directa en el espacio libre, y una onda de radio secundaria, reflejada por un material que hace las veces de ionosfera.

Presentación: En algunos libros de texto en comunicaciones, se menciona el efecto de desvanecimiento y se presenta como ejemplo del comportamiento de un radio receptor de A.M., el cual carece de control automático de volumen, éste varía incrementándose y decrementándose según vaya recibiendo la señal de información, el efecto es muy notorio cuando se tiene la salida del sol y la puesta del mismo. Una explicación sencilla se da diciendo que es interferencia entre dos ondas.

Una onda de radio puede seguir tres posibles rutas para llegar a su destino. Una ruta, es la que se da en forma directa, o línea de vista; una segunda ruta será la que siga una onda reflejada, cuya intensidad es menor a la onda directa. La tercera ruta es la que sigue la onda al salir del emisor y chocar con la ionosfera, para posteriormente arribar al receptor.

La capa de la ionosfera se ioniza cuando absorbe ciertas frecuencias de luz ultravioleta provenientes del sol.

El ángulo de la onda que rebota en la ionosfera, dependerá de la capa que en ese momento esté ionizada. Esto nos lleva a encontrar una aplicación para este fenómeno, ya que mediante las ondas de radio se puede estudiar a la atmósfera, y medir la altura de la ionosfera.

Resulta interesante este fenómeno porque se puede reproducir en el laboratorio haciendo uso de un equipo de microondas.

Procedimiento.

- 1) Fijar el sistema de acuerdo con la sección de Puesta en operación.

- 2) Fijar las antenas piramidales en una posición horizontal, tanto emisora como receptora, y separadas aproximadamente a un (1) metro. Las antenas deben estar una frente a la otra como se aprecia en la figura [PR8.1].
- 3) Fijar la aguja del medidor de intensidad del módulo receptor, en aproximadamente media escala.
- 4) Utilizar una placa de material reflector (Metal) para simular el efecto que la ionosfera tiene sobre la señal que incide en ella.
- 5) Mover la placa hacia arriba y hacia abajo, para observar la respuesta en el indicador del módulo receptor. Figura [PR8.2]



Figura [PR8.1] Arreglo transmisor receptor, con una placa reflectora en la parte alta.



Figura [PR8.2] Arreglo transmisor receptor, con una placa reflectora cerca de la ruta de transmisión y a una distancia menor con respecto a la distancia que se aprecia en la figura [PR8.1]

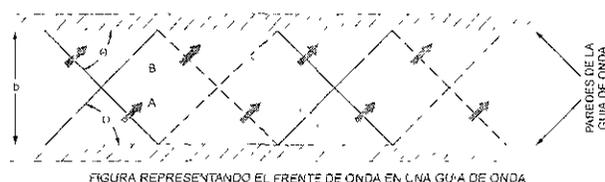
PRÁCTICAS

Práctica 9

Tema: Propagación de las microondas y frecuencia de corte de una guía de onda.

Objetivo: Demostrar el efecto que tienen las dimensiones de la guía de onda en la radiación de las microondas.

Presentación: Al estar enviando energía a través de una guía de onda, se producen una serie de choques o rebotes dentro de la guía. Sería interesante poder observar a través de la pared gruesa de la guía de onda, y que de alguna forma se pudieran marcar las rutas que van siguiendo las ondas, veríamos algo similar al dibujo de la figura [PR9.1].



Figura[PR9.1] Dibujo ilustrativo del comportamiento de la señal dentro de una guía de onda

Las líneas gordas, sólidas y punteadas representan los frentes de onda moviéndose en la dirección de B. Los frentes de onda de la dirección A, (líneas delgadas) viajan en el mismo ángulo (pero ascendente). Al viajar las ondas en esta forma se hace posible la propagación dentro de la guía de onda, aún cuando la guía es sensible a la polarización, y sólo pasan ondas polarizadas linealmente, cuyos campos eléctricos (E) sean paralelos a la menor de las dimensiones de la guía rectangular.

La propagación también es posible a través de una guía de onda construida con material dieléctrico sólido, procurando que el dieléctrico utilizado en la fabricación de la guía de onda sea suficientemente transparente a las microondas.

La pared en la que las microondas son reflejadas es, en este caso, la interfase entre el medio en el que está la guía de onda y la atmósfera circundante. De aquí que, el material dieléctrico sólido deba ser también transparente a la radiación de las microondas. Se debe aclarar que cuando se usa un dieléctrico, es posible que se tenga un cierto retardo en la propagación de la señal, y por ello se puede llegar a tener un porcentaje de pérdidas.

El ángulo que el frente de onda forma con la pared de la guía de onda, es función de la longitud de onda y de la dimensión física de la guía de onda.

El ángulo de incidencia a altas frecuencias es mucho menor que a bajas frecuencias, y la señal viaja más lejos antes de llegar a la otra pared de la guía de onda. A bajas frecuencias, el frente de onda rebota en la pared a un ángulo cercano a los 90° .

A ciertas frecuencias el ángulo es exactamente 90° . Cuando ese es el caso, la onda no se propaga a través de la guía de onda, sólo se mueve hacia atrás y hacia delante, dentro de la propia guía de onda, hasta que la energía es disipada por la resistencia de la paredes.

La frecuencia a la que se presenta este fenómeno es la llamada frecuencia de corte. Ésta es la frecuencia límite a la que la guía de onda no puede transferir energía. El ancho de la guía de onda a la frecuencia de corte, es igual a un medio de la longitud de onda.

Lo anterior se puede resumir de la siguiente forma.

$$\lambda_c = 2b \quad (E1)$$

λ_c = Longitud de onda a la frecuencia de corte en el espacio libre.

λ_b = Dimensión ancha de la sección de guía

Para el caso específico de una guía de onda circular, la dimensión crítica es el diámetro de la guía, su relación con la longitud de onda se determina mediante la siguiente expresión:

$$\lambda_c = 1.71(d) \quad (E2)$$

d = Diámetro interior de la guía

En una guía circular de diámetro igual a $\frac{3}{4}$ ", su frecuencia de corte estará en aproximadamente 9620 MHZ.

El intervalo de sintonía del *klystron* utilizado es de 8500 a 9600 MHZ. Para este experimento la propagación de la señal de microondas varía a través de la guía de onda conforme el *klystron* es sintonizado.

La frecuencia a la que el *klystron* está oscilando se puede determinar con sólo referirse a la siguiente figura.

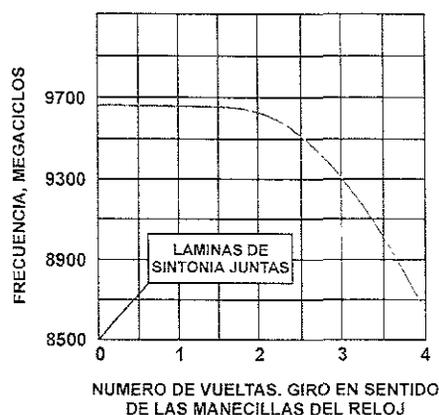


Figura [PR9.2] Relación entre la frecuencia de oscilación y el tornillo de ajuste del propio oscilador

Procedimiento.

El procedimiento para verificar que se está obteniendo la frecuencia de corte de una guía de onda es sencillo, y basta con seguir los pasos que a continuación se enlistan.

- 1) Ajustar el tornillo de sintonía del *klystron* hasta que las dos placas metálicas estén juntas.
- 2) Ajustar el voltaje para obtener una señal máxima, como se indica en la sección de puesta en operación.
- 3) Ajustar la ganancia en el módulo receptor para que indique media escala.
- 4) Girar el tornillo de ajuste, de acuerdo al giro del reloj. Observar las variaciones que presenta el medidor. Generalmente son cuatro vueltas, no forzar. Si se obtiene una lectura de cero permanente antes de llegar al límite (cuatro vueltas), revisar los pasos indicados en la sección de puesta en operación.
- 5) Reajustar el voltaje en el *klystron* para obtener una lectura máxima y regresar al paso 4.
- 6) Al obtener una lectura de cero intensidad en el módulo receptor, después del paso 4, se debe proceder a mover la antena receptora hacia atrás y hacia delante, siempre en dirección de la antena del transmisor. Verificar si el medidor permanece en cero. En el caso de no obtener lectura alguna, se tiene la certeza de estar, o de haber llegado a la frecuencia de corte. Si llegara a presentarse un ligero movimiento en la aguja de indicación del medidor, regresar al paso 4.

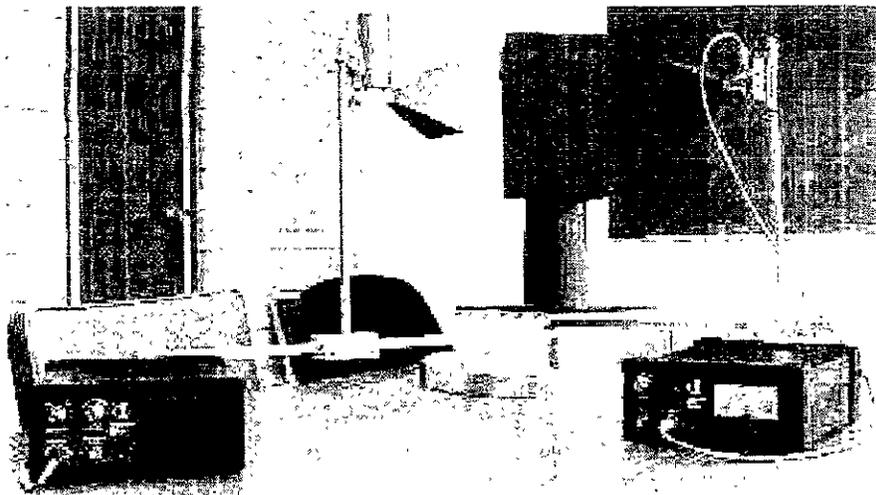
Segunda parte

PRÁCTICAS

Tema: Experimento de Bragg

Objetivo: Obtener una gráfica que proporcione información acerca de los planos del cristal y de su estructura.

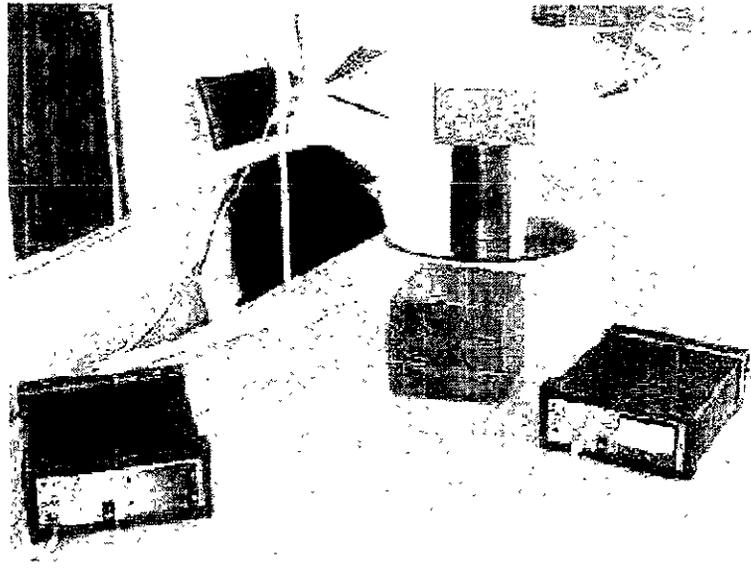
Presentación. Para realizar el experimento de Bragg, se diseñó un sistema que funciona como difractómetro de microondas. El sistema se muestra en la siguiente figura.



Figura[PBI] Equipo de microondas dispuesto con la base para experimentación de Bragg

En la fotografía se aprecia el equipo de microondas acoplado al soporte diseñado específicamente para este experimento. En el centro se aprecia un cubo, el cual se fabricó con espuma de poliuretano y hace las veces de un modelo de cristal.

La espuma es transparente para las microondas, pero no así los balines que actúan como núcleos. Se cuenta en la base con una escala graduada, y brazos que se mueven siempre sobre el centro de un círculo alrededor del cristal.



Figura[PB2] En esta figura se aprecia la fotografía con el equipo de microondas y el equipo de Bragg. En el centro se aprecia una sección del cubo con los balines dispuestos en su interior, en un arreglo matricial.

Al medir la intensidad de la radiación de microondas reflejada, esto a diferentes ángulos, se puede obtener un espectro que proporcionará información de los planos del cristal y de su estructura. El espectrofotómetro cuenta con un sistema que le permite el ajuste y medición, independientemente de la posición angular relativa de la antena transmisora y la receptora, con un grado de resolución.

El modelo de cristal está colocado en una columna de plástico para reducir las reflexiones espurias de la base.

Procedimiento para realizar un experimento con el equipo.

Aquí se presenta una secuencia a seguir para demostrar la forma en que se realiza el experimento planteado.

- 1) Iniciar el experimento según los pasos descritos en la sección puesta en operación, del manual de empleo y servicio del equipo de microondas.
- 2) Instalar los soportes de antena para el transmisor y receptor en los postes deslizables, que están montados en los brazos de la base circular.
- 3) Verificar (la posición) el funcionamiento del equipo completo.
- 4) Verificar que las antenas estén frente a frente, y que el cubo esté en medio de ambas antenas.
- 5) Anotar la lectura que presenta el medidor (análogo) del modelo receptor.

- 6) Girar el brazo que tiene la antena receptora. Aproximadamente cinco grados.
- 7) Repetir los pasos cinco y seis.

Como actividad propia del experimento se recomienda hacer una gráfica de Nivel de Intensidad contra Grados desplazados.

APLICACIÓN DEL EQUIPO DE MICROONDAS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS ASÍNCRONOS: TELECOMUNICACIONES

Como se presentó al principio, el equipo de microondas diseñado y fabricado según las especificaciones presentadas en este trabajo, se utilizó para transmitir una señal de información digital [9]. La señal de información es enviada de una PC, a otra PC., en ambos casos la información es llevada o tomada del puerto paralelo, la señal de microondas sirve de enlace entre ambas computadoras. Inicialmente la información base es llevada a la computadora para su proceso y selección, posteriormente se realiza un acoplamiento entre la computadora y el equipo de microondas, el cual ya debe estar dispuesto de tal forma que pueda enviar la señal de información sin problema. En la otra parte, el receptor de microondas entrega la señal de información a la electrónica de acoplamiento, la cual presenta dicha información a la computadora en condiciones adecuadas.

TRANSMISIÓN

Para lograr una transmisión correcta entre ambos puntos, se debió cumplir con la parte de puesta en operación del equipo de microondas, así como con los diferentes protocolos que el sistema de computo requiera. En la figura siguiente se presenta un dibujo que describe las partes que integran el sistema.

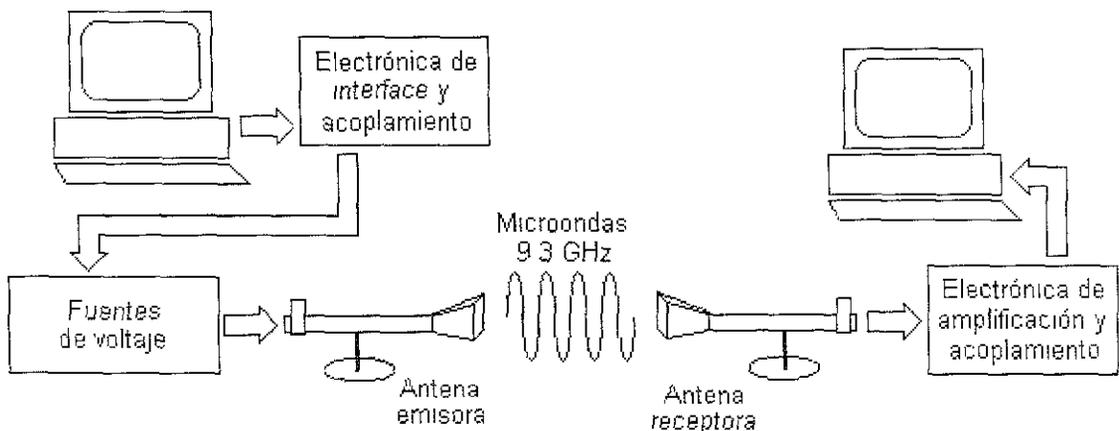


Figura [A1] Dibujo que ilustra la composición del sistema descrito

En la figura [A1] se muestra a nivel de bloques las partes que integran el sistema, en él se alcanzan a apreciar las dos antenas piramidales del equipo de microondas representando el sistema de comunicación. La señal de información que es introducida al

equipo transmisor, deberá estar debidamente acondicionada para tal fin. Por ello, como la escritura y lectura de la información se realiza por el puerto paralelo de la computadora, se hizo la serialización de los datos digitales, para tal efecto se utilizó el circuito integrado MC 145026. Este circuito presenta nueve líneas de entrada para datos en forma paralela, y una más para adicionarle un oscilador RC, con el que se fija la velocidad de transmisión de los datos en forma serial. A su salida los datos están en condiciones de ser enviados al transmisor de microondas. El proceso anterior se ejemplifica con el dibujo de la figura [A2].

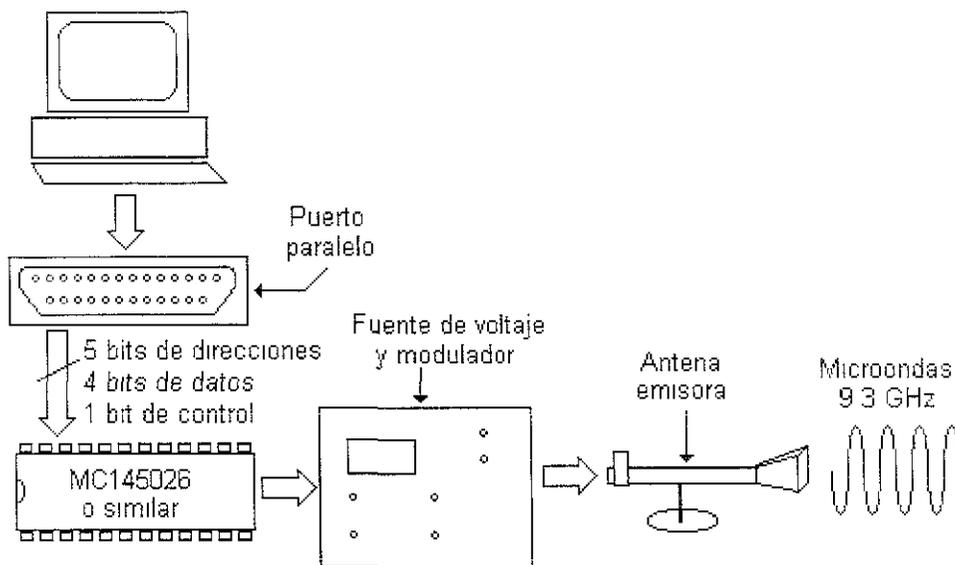


Figura [A2] Dibujo que ilustra el esquema de la parte transmisora del sistema.

El complemento del convertidor paralelo serial es su oscilador, en la figura [A3] se presenta dicho oscilador. Como se puede apreciar basta con adicionarle un par de resistencias y un capacitor para lograr su adecuada operación.

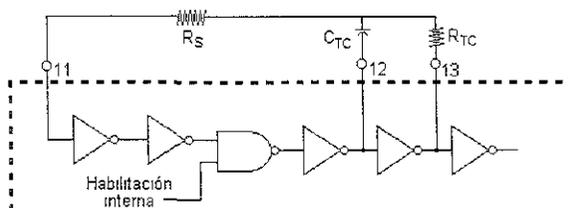


Figura [A3] Diagrama parcial del Circuito Integrado MC145026.

El diseño del sistema incluyó la elaboración de un programa en Visual Basic 6, para facilitar el proceso de los datos. Algunos datos del software se mencionan a continuación:

- El control del puerto en paralelo se logró con una herramienta de Visual Basic llamada LOOCX, que tiene un intervalo de velocidad de lectura y escritura entre los límites de 55 a 65535 [ms].
- El oscilador se diseñó tomando en cuenta lo anterior por lo que se obtuvo una velocidad de 1.71 KHZ

En la siguiente figura se presenta una de las pantallas que presenta el sistema al inicio del proceso, esta pantalla corresponde con el lado de transmisión.



Figura [A4] Máscara de entrada para el sistema de transmisión

RECEPCIÓN

En el lado receptor del sistema, se presenta como primer elemento la antena piramidal asociada con la recepción, al recibir la señal ésta es inmediatamente amplificada para poder trabajar con ella. Teniendo la señal de información en condiciones adecuadas es posible llevarla a un convertidor serie paralelo, para realizar el proceso inverso al del transmisor. Para lograr la conversión se utilizó un complemento del convertidor paralelo serie, el Circuito Integrado MC 145028 con las mismas especificaciones de oscilación. En la figura [A5] se presenta un dibujo con el arreglo utilizado para la recepción de la información.

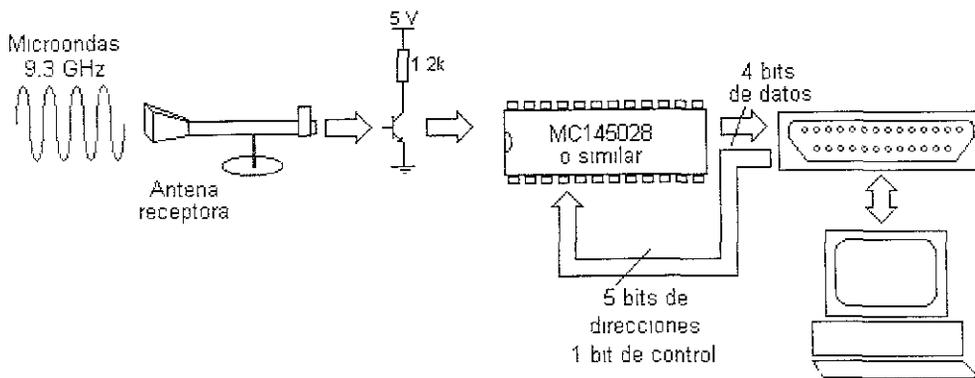


Figura [A5] Dibujo que presenta la disposición de algunos de los elementos empleados en el sistema.

Los datos recibidos son puestos en el puerto paralelo de la computadora asociada al receptor. Teniendo los datos en el puerto de la computadora, se realiza el proceso inverso para obtener los datos enviados. Se cuenta con un software similar al del transmisor, para presentarle al usuario un ambiente agradable. En la figura [A6] se presenta la pantalla con la información requerida por el usuario.



Figura [A6] Pantalla presentada al usuario en el lado receptor.

En la siguiente figura [A7], se tienen algunos oscilogramas mostrando el envío y recepción de los datos. En cada uno de ellos se presenta en un canal la señal enviada (ch1), y en el otro canal la señal recibida (ch2).

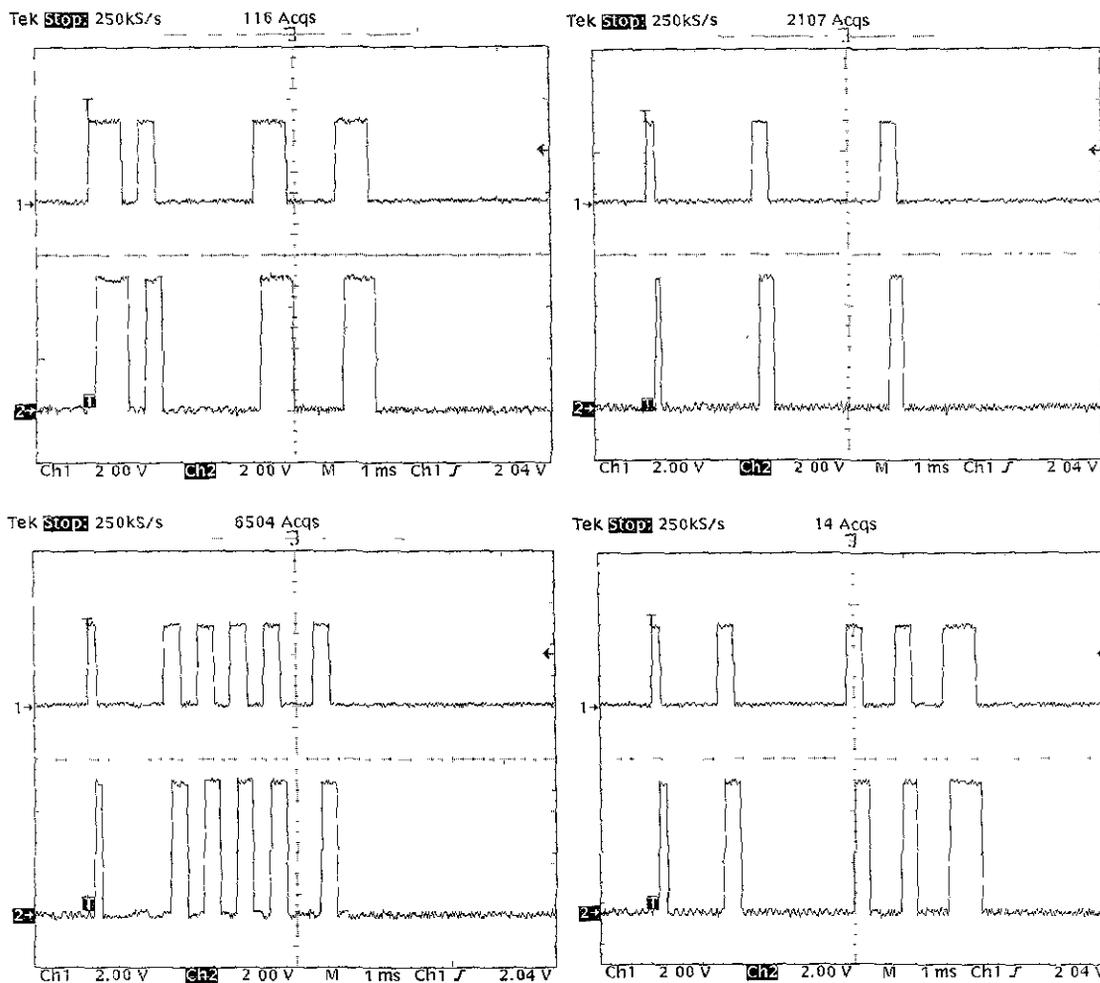


Figura [A7] En esta figura se muestran los oscilogramas obtenidos en una sesión normal de envío y recepción de datos utilizando el sistema de transmisión y recepción de microondas.

Como quedo expuesto, el equipo de transmisión-recepción de microondas en la banda X, puede tener diferentes campos de aplicación, no sólo en un laboratorio de enseñanza, sino también en un desarrollo complejo que involucra el envío de datos.

En este caso, el usuario del equipo decidió enteramente la forma en que operaría el equipo de enlace. Sólo se le hicieron indicaciones acerca de los límites de operación y de las frecuencias de enlace que iba a utilizar. La adquisición, procesamiento y presentación de los datos es parte de su diseño. Aquí sólo se presentan algunos datos que sirven para ejemplificar un uso más, de los muchos que se le pueden dar a este equipo.

Junto con las antenas piramidales, se le proporcionaron un par de antenas dieléctricas para que hiciera pruebas de respuesta, y que seleccionara las que mejor utilidad tuvieran para él. La siguiente figura[A8] presenta una fotografía de cuando el usuario hacia uso de la antena dieléctrica.

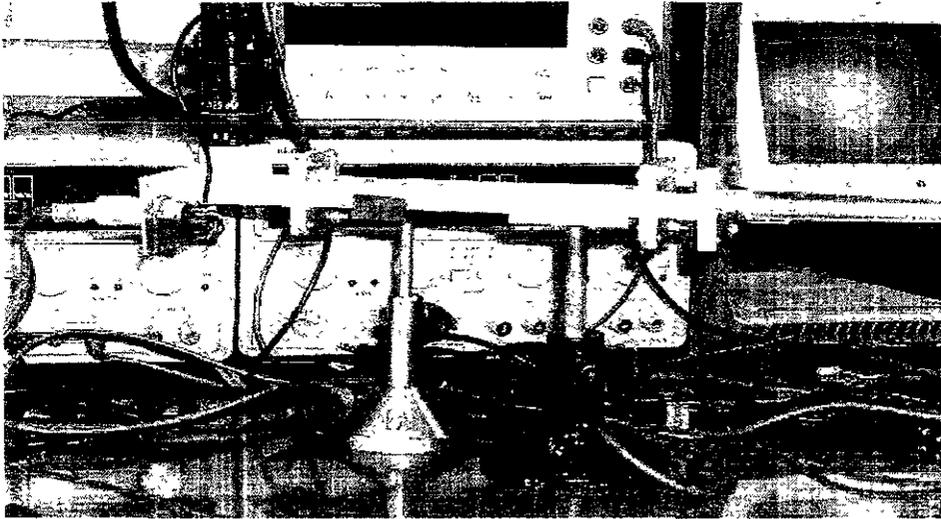


Figura [A8] Fotografía proporcionada por el usuario del equipo, En ella se aprecia el arreglo de transmisión utilizando la antena dieléctrica.

PARTE III

INGENIERÍA DE PRODUCTO DEL EQUIPO DE MICROONDAS.

Introducción

El equipo de microondas se desarrolló en diferentes etapas, inicialmente se obtuvo un primer prototipo con el cual era posible trabajar sin problemas, este primer prototipo nos permitió visualizar la forma en que se podría mejorar, ya que al tener un equipo en forma física, es posible ajustar medidas en envoltentes, y en los mismos circuitos impresos. Observar si las posiciones de los diferentes controles son adecuados, lo mismo que los medidores. Así mismo nos permite diseñar y probar las posibles envoltentes o carcazas que puedan contener a los elementos de cada módulo que forman al equipo. Todo ello contribuyó para la generación de un segundo prototipo en el cual fue posible, verter toda la experiencia acumulada en el primer intento. Esto no significa que un segundo prototipo esté libre de fallas o carezca de oportunidades para su mejoría, de hecho, cualquier prototipo generado puede ser mejorado en su forma y en su contenido.

Un tema completamente aparte nos resultó el diseño del embalaje. En este tema se debió tener por razones lógicas, todo el equipo terminado. Al diseñar el embalaje del equipo se tuvieron en cuenta diferentes factores que modifican los prototipos generados, dimensiones de los diferentes módulos, así como el número de piezas o elementos contenidos en la envoltente. También influye la decisión acerca de, ¿cuales piezas deben estar contenidas en el mismo envoltente? ¿Cuales pueden o deben ir por separado? Parte muy importante es la de decidir que posición dentro del contenedor ocupará cada pieza, y la forma de sujetarlos al mismo para evitar daños por movimientos bruscos o almacenaje.

Todo lo anterior representa un reto a vencer para lograr un prototipo que se considere en un nivel de producción, o muy cercano a él. Para lograrlo se planteó la aplicación de un sistema de desarrollo de equipos, en el que se considera toda la cadena de fabricación, desde la concepción de la idea hasta llegar a la obtención física de un equipo o pieza de equipo. En este trabajo se hace la consideración acerca de, cuándo un diseño pasa a ser un prototipo de producción. Así mismo, se plantea la idea de rediseñar tanto en su parte interna como externa, cualquier aparato o producto, sin importar si es un producto sencillo o elaborado. Se hace énfasis en las etapas por las cuales se debe pasar cualquier equipo, aún cuando ya esté cubriendo un lugar dentro del mercado de la oferta y la demanda. No es necesario el desarrollar diseños completamente nuevos, es posible obtener un buen producto en una segunda o tercera generación del mismo diseño, basta con incluir

novedades en su aspecto, funcionamiento o dimensiones, sin olvidar nunca la buena presentación de la información referente al aparato.

Proceso para obtener un prototipo.

En el desarrollo de cualquier pieza de equipo o del equipo mismo, es necesario determinar cuando el producto cuenta con las características adecuadas para que pueda ser utilizado por quienes requieren de su servicio. Lo anterior requiere que el prototipo inicial, generado en la mesa de trabajo del Ingeniero, haya sido pasado por una serie de pasos o etapas en las que se afina, o adiciona alguna parte o subsistema contenido en el equipo.

El obtener un equipo que pueda ser utilizado por alguien que no es el propio diseñador, requiere cumplir con los requisitos mínimos que permitan confiar la operación del aparato a un usuario, para que él obtenga el máximo rendimiento del equipo en su utilización; para ello, el equipo debe presentar además de los letreros indispensables con los cuales es posible identificar a cada uno de los controles propios del equipo, las carátulas que permitan una lectura o registro adecuado. Usualmente el equipo debe tener un instructivo, o manual de operación y servicio, con el cual sea posible un uso sin riesgo tanto para el usuario como para el equipo mismo.

Lo anterior es una breve descripción de lo que tiene un equipo cuando ya está disponible; un equipo que puede ser utilizado, ya sea como un primer prototipo o como prototipo de producción en pequeña escala. Para llegar a un prototipo de producción, se requiere de una secuencia bien definida de pasos o bloques en los que se genere y refine el prototipo. Esto se logra al pasarlo por un conjunto de pruebas que lo van acreditando paso a paso como apto, para seguir transitando por toda la secuencia previamente definida, y al terminar dicha secuencia, todavía se tiene la opción de poder empezar nuevamente en un determinado nivel, que ayude a redefinir parte del equipo en caso de ser necesario.

Esto se define tanto para equipos que contengan partes eléctricas electrónicas mecánicas o una mezcla de las mismas, que en nuestros días es lo más común. También se incluye lo que respecta a la imagen misma del equipo. De lo anterior resulta comprensible establecer ciertas definiciones que ayuden a entender cada uno de los procesos.

Nivel de prototipo

A continuación se presentan unas definiciones que pueden ayudar a delimitar un poco el nivel en el que puede estar un equipo en desarrollo.

Prototipo; Ejemplar generado con base en una idea y que cumple admisiblemente con el objetivo para el cual se hizo; generalmente se presenta en una tableta de prototipo, y ligado a diversos aparatos propios del laboratorio, cuando es un aparato eléctrico o electrónico.

Prototipo de laboratorio; Ejemplar generado después de la prueba de las diferentes topologías o arreglos que pueden cumplir con los requisitos establecidos por quien genera

la idea Este prototipo puede utilizarse debido a que tiene envolvente adecuada a su configuración, y presenta ya, un grado de optimización en cuanto a número de componentes o partes que pueden ser eliminadas, y que su tarea puede ser cumplida por algún otro circuito o elemento mecánico.

Prototipo de Producción; Ejemplar generado después de establecer tolerancias en su fabricación, tanto eléctrica como mecánica, según sea el caso, así como la definición de los controles necesarios para su operación y de los letreros que ayuden a su fácil empleo por los usuarios. Todo lo anterior asegura una fácil reproducción del mismo.

De lo anterior es posible situar, en cual punto se encuentra un ejemplar desarrollado es decir, puede ser que a cierto nivel ya se tenga un prototipo de laboratorio que implica el haber cumplido con una parte del proceso. Por supuesto que un cierto desarrollo se puede mantener en un nivel de prototipo; un nivel en el que es posible su uso y que no implica problema o riesgo para quien lo opera, y para quienes puedan encontrarse a una cierta distancia de su punto de operación. Algunos aparatos que se encuentran actualmente en el mercado pueden estar en este nivel y aún así, son aceptados y utilizados.

Actualmente todo aparato contiene diferentes componentes que lo sitúan o clasifican como un elemento electromecánico, por tal razón se debe tener especial cuidado en la forma en como se debe desarrollar un equipo, esto debido a que se deben especificar los tiempos de trabajo, para que cada grupo encargado del diseño pueda en determinado momento, reunirse y comparar los volúmenes de las piezas contra la disponibilidad de espacios para los diferentes controles, que deban estar con libre acceso por parte del usuario del equipo. De igual forma se debe contar con un diseño adecuado que permita su operación sin riesgo aparente.

Hasta este punto se ha presentado un panorama de lo que un equipo cumple, para ser utilizado. Pero es necesario analizar que caminos debe seguir, y que etapas integran cada camino.

Se debe empezar por analizar que origina la construcción del equipo. Se tienen dos orígenes, uno, cuando ya se tiene un ejemplar de equipo con el cual se quiere competir; el segundo, cuando basados en una idea se presenta la oportunidad de materializarlo. En ambos casos intervienen un gestor que analiza que tipo de financiamiento será el que respalde el desarrollo del diseño, además de llevar un control de presupuesto conforme se avanza en el diseño. En la figura [IP1] se presenta un diagrama de bloques en el que se plantea la relación entre la parte administrativa y la parte de generación de ideas.

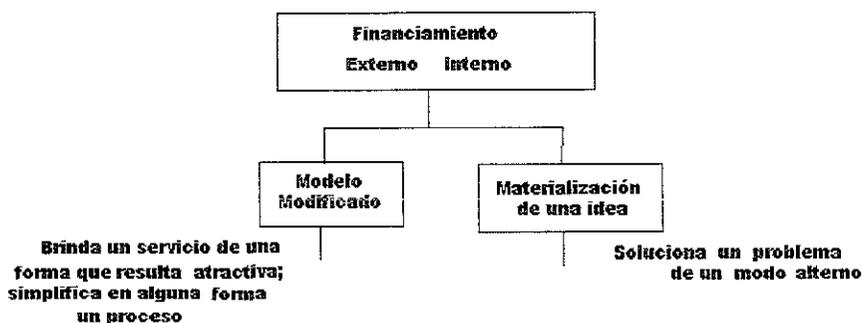


Figura [IP1] Diagrama de bloques del tipo de financiamiento

En ambos casos, se puede tener un origen puramente académico o puede tener algún tipo de apoyo externo, bien definido. Cuando se tiene un fin puramente académico, no quiere decir que no pueda tener repercusiones del tipo comercial; es decir, se puede llegar a la elaboración de un producto que después de ser “procesado”, pase de ser un prototipo de laboratorio, a un prototipo de producción.

Para empezar, lo primero es tener un prototipo de laboratorio y para ello se debe contar con el apoyo de una gestoría de proyecto, la cual puede solicitar un apoyo económico, cuando no se cuenta con él. Posteriormente, se procede a la presentación del equipo; el cual puede considerar aspectos eléctricos, electrónicos o mecánicos, o una mezcla de ellos. En este punto se debe considerar el tiempo y esfuerzo que realiza la parte de diseño, ya que es tarea de este grupo investigar lo que el equipo hace o debe de hacer, las bases sobre las cuales se pueda apoyar el grupo de diseño para plantear alternativas de desarrollo. Aquí conviene hacer mención de un punto muy importante, es necesario mantener bien definidos los intervalos de tolerancia que se van a permitir en el diseño, no confundir con los intervalos sobre los cuales opera el equipo, que es un punto muy diferente.

Después de la labor de investigación, se procede a establecer los principios de operación, ello permite desarrollar una serie de posibles alternativas en su modo de operación. Un ejemplo de ello son los intervalos de operación que deberá cumplir el equipo, bajo que situaciones deberá funcionar, y cuales serán los límites que determinen el funcionamiento extremo.

En este punto, ya se pueden generar una o más opciones para lograr un prototipo de laboratorio, la elección de cual merece mayor atención, dependerá de que tan bien está ese prototipo u opción dentro de los márgenes de operación que previamente se fijaron. Con la selección de una opción, para ser desarrollada, se generan una serie de formas de apoyo, en la parte electrónica, se pueden obtener circuitos en arreglo araña e inclusive, se puede fabricar un circuito impreso que contenga a los elementos electrónicos utilizados. De igual

forma la parte mecánica ya debe contar con una serie de planos que especifican dimensiones, material y forma en que se ensamblan las piezas.

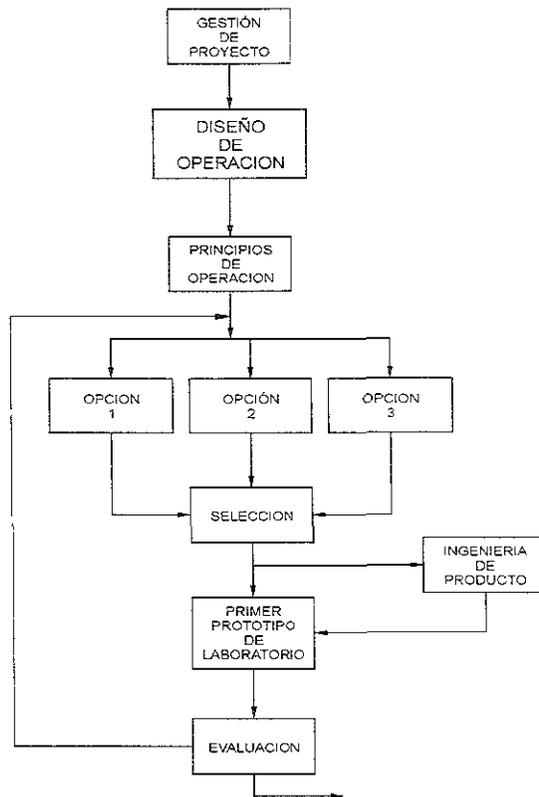
La envolvente que contenga al equipo, puede ser de un material de fácil manejo para obtener un primer prototipo, con la cual se permita visualizar la forma final que se le dará al equipo. Mediante este primer prototipo se puede hacer un desarrollo de imagen que permita situar cada control, así como él o los despliegues, en caso de haberlos, en una posición óptima en el frontal y parte posterior del prototipo, cuando así lo requiera. Por cuestiones de reducción de gastos, también se puede hacer uso de algún chasis previamente diseñado y que sus medidas permitan su uso.

Este primer prototipo puede tener varios niveles de creación, un primer nivel puede ser puramente artístico un boceto, con el cual se plantean posibles formas, posiciones de perillas e inclusive la gama de colores que pueda ser usada. Un segundo nivel ya puede ser un desarrollo en algún tipo de material que permita visualizar, físicamente la concepción artística, hacer una muestra en algún material suave: esponja, cartón, triplay o madera

En la figura siguiente se presenta un diagrama de flujo, en el que se plantea una alternativa a seguir para obtener un prototipo. Básicamente se están planteando las etapas antes descritas; al mismo nivel se sitúan las opciones planteadas por el diseñador. De entre las opciones que se tengan, se hace la selección de la que a juicio de él, o los diseñadores sea la de mejores características.

Posteriormente se obtiene un prototipo de laboratorio, el cual es evaluado. En este punto es posible regresar a comparar con las opciones que se tenían como alternas, y decidir si se cambia hacia esa otra opción o si se complementan, (se toma lo mejor de dos o más opciones) para lograr brindar mayor confiabilidad en el cumplimiento de las características, de ese tipo de equipos.

Lo que se presentó en los párrafos anteriores se puede resumir en el siguiente diagrama de bloques. Figura [IP2]



Figura[IP2] Diagrama de bloques de un proceso de Diseño.

En la figura [IP2] se aprecia un bloque que tiene el nombre de Ingeniería de Producto. Esta situado en una posición que sugiere su intervención al momento de tener una de las opciones. Más adelante, se vera un poco a detalle lo que se plantea para este bloque, que resulta de mucha importancia en el desarrollo final del equipo.

En la misma figura [IP2], se aprecia el bloque de evaluación. Este bloque de evaluación es donde se decide si lo obtenido hasta ese punto, es suficiente o tiene que ser reconsiderado lo hasta este punto diseñado, lo anterior no quiere decir que todo se descarte, o que volver al banco de trabajo se considere como un fracaso, no, sino que es posible que una o varias partes del diseño requieran de un replanteamiento, o de alguna adición que ayude a expandir el funcionamiento obtenido hasta ese momento.

La evaluación que se plantea al final, se hace sobre el diseño total, y llegado el momento se puede decidir, si es necesario reconsiderar alguna parte del diseño. Por el contrario, si la evaluación es satisfactoria, habrá que considerar los alcances que tiene lo hasta ese momento se ha logrado. Una posible transferencia, implica completar un paquete de traspaso parcial o total, de la información necesaria para la reproducción satisfactoria del equipo.

Ingeniería de Producto

En la figura [IP2], se presenta el diagrama de bloques de una secuencia para la obtención de un equipo, y dentro de dicha secuencia se presenta un bloque de Ingeniería de Producto. Este bloque es de suma importancia cuando se trata de lograr un equipo que pueda ser utilizado en forma rutinaria. Ello implica haber tomado en cuenta diversas consideraciones, que le permitan al usuario de un equipo poder confiar plenamente en que el aparato utilizado funcionará dentro de los márgenes establecidos, y que la forma o envolvente del aparato resistirá el medio ambiente en el que va a ser utilizado.

Dentro de lo que se considera como Ingeniería de Producto, puede estar tanto lo referente al diseño de una envolvente adecuada para el aparato (para el medio en el que va a ser utilizado), como también se deberá tomar en cuenta la parte Electromecánica del mismo. En este punto se debe hacer énfasis en cuanto a la parte electrónica de un aparato. Para un aparato electrónico es común, y hasta necesario el reducir las dimensiones de los circuitos impresos, con lo que se logra un cierto ahorro en material, pero es muy importante el rediseñar los circuitos electrónicos para lograr una disminución de componentes, y si fuese necesario, una sustitución de componentes de importación, además de intentar por todos los medios de sustituir circuitos o elementos integrados que realizan funciones específicas, y que por ello su costo sea alto.

Este último punto es de relevancia cuando los equipos basan su alto costo en un par de funciones que realizan algunos circuitos integrados. En ocasiones se pueden obtener las mismas funciones de esos circuitos integrados mediante arreglos, que si pueden ocupar mas elementos de los que ocupa el circuito integrado original, pero que liberan al diseñador de la dependencia de un solo producto.

Algo similar puede ocurrir en el área de los elementos mecánicos y de diseño de envolvente aunque para estos, se puede llegar a superar con relativa facilidad cuando se cuenta con el elemento humano que se desempeña con altos niveles de calidad, y de la infraestructura que permita, el desarrollo de cualquier modelo, a partir de algún otro modelo artístico o de un prototipo en material de diseño.

Para la obtención de un producto que resulte atractivo para el usuario, es necesario invertir en el desarrollo de una envolvente atractiva, que esté fabricada en un material que permita el buen funcionamiento, y que esté pensado para el lugar en el que va a ser usado. Durante este proceso, es aconsejable tener en mente un posible regreso a la mesa de trabajo, lo anterior con la única finalidad de obtener un mejor modelo, y ello se logra después de “pulir” un prototipo.

En la figura siguiente (figura [IP3]), se presenta un diagrama de bloques con los diferentes pasos a seguir para obtener un prototipo de envolvente, un envolvente que pueda contener el equipo en forma segura y funcional y con buen aspecto.

Lo anterior implica el desarrollo de un diseño inicial sobre el cual, sea posible desarrollar varias opciones, para que dentro de esas opciones, se haga la selección de la más

adecuada, la que no afecte las características del equipo, y para el tipo de medio ambiente en el que se va a desempeñar.

Al tomar la decisión acerca de que versión resulta ser la más adecuada, se desarrolla el primer prototipo. Este primer prototipo obtenido, se debe sujetar a una evaluación en todos niveles. En cuanto a comportamiento en el medio ambiente de uso, así como a la impresión que causa en quien lo observa. Aquí se deberá tomar en consideración hasta la textura que el material tiene al tacto del usuario, y por supuesto la funcionalidad del mismo.

Después de esta evaluación se puede determinar si la elección fue la adecuada, y si es necesario, volver a la mesa de diseño. En este punto se pueden sugerir toda clase de cambios o de adiciones al diseño obtenido, estos cambios se pueden considerar como una recirculación del diseño original, tal como se presenta en el diagrama de bloques de la figura [IP3], en dicha figura se puede ver que el resultado de la evaluación puede resultar en una reconsideración del diseño, para que sea nuevamente pasado por cada bloque a partir de las diferentes opciones que se puedan tener, agregar alternativas o cambios a lo obtenido en el proceso anterior.

Hasta este punto se puede lograr la conjunción de las dos partes que se ven involucradas en el diseño de un equipo. Por sencillo que sea el diseño de un equipo, requiere de ciertos pasos a seguir o condiciones que cumplir, aquí se ha presentado lo que sería el diseño de un equipo en su parte interna (electrónica o mecánica), que si en un principio se puede aceptar el hecho de que, es necesario algo que contenga al equipo, que mejor, si lo que lo contiene presenta un buen aspecto, además de funcionalidad. Al unir las dos partes, es necesario que el diseñador pueda disponer del área requerida para sus componentes, y que el diseño de los frontales sean adecuados y presenten exactamente los controles y pantallas pedidas.

Lo anterior puede pensarse que está en lo absurdo, pero se pueden suscitar dificultades entre ambas partes debido a errores en las mediciones físicas, posición inadecuada de controles, o materiales que no presentan un buen escudo para el adecuado funcionamiento de sus partes internas.

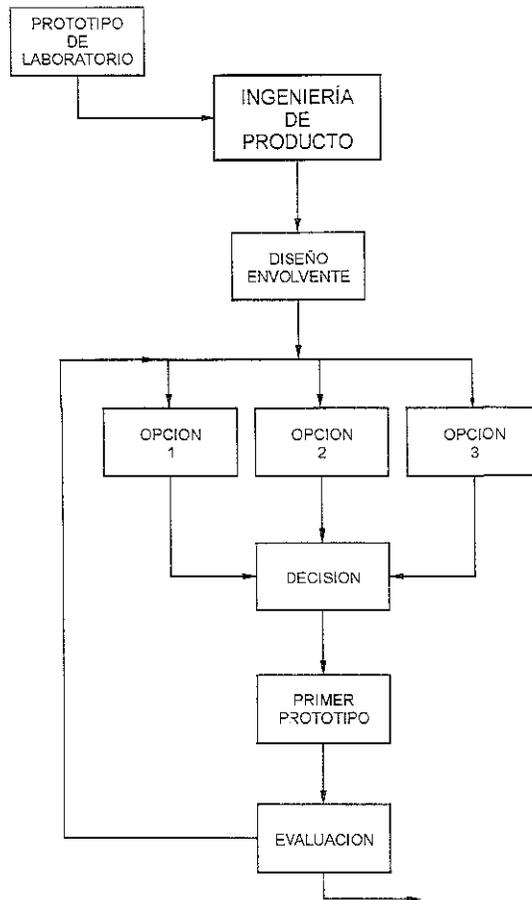


Figura [IP3] Diagrama de bloques de la secuencia seguida para obtener una envolvente adecuada para un equipo en especial

Staff de trabajo

En este renglón se deben tener en cuenta a los diferentes grupos de trabajo, y a las diferentes áreas de especialización / académicos que integran a los grupos.

Las áreas pueden ser muy diversas, y por lo mismo los grupos que se integran son igualmente diversos. Se pueden tener áreas de: electrónica, de eléctrica, de mecánica, de diseño de envolventes y de generación de imagen. Todas estas áreas pueden aún ser divididas en sub-áreas para mejor control, o para una mejor distribución de las tareas. Un punto muy importante dentro de estos grupos de trabajo, es el relacionado con la promoción de los equipos, tal vez la primera intención no sea una producción a pequeña o mediana escala del equipo, pero llegado el momento, esta parte del grupo de trabajo debe apoyar generando una buena imagen del equipo, resaltando no sólo sus ventajas técnicas, sino también aquellas innovaciones en presentación, en facilidad de uso y en la disponibilidad del equipo.

Las diferentes áreas con las que se puede contar en determinado momento son:

Electrónica. -Analógica
-Digital

Eléctrica. - Alta tensión.
- Baja tensión.

Mecánica. - Fluidos.
-Mecanismos.

Diseño. - Envolventes (carcaza)
-Aditamentos especiales.
-Embalaje
-Diseño [Interno / Externo]

Generación de imagen. -Apariencia externa.
-Nomenclatura.
-Folletos, catálogos.

La intervención de cada sub-grupo o grupos dependerá del tipo de diseño que se tenga, aunque como se mencionó al principio, actualmente la mayoría de los diseños involucran varias áreas de alta especialización.

Hasta éste momento, se han presentado una serie de ideas respecto a quienes pueden o deben conformar el equipo de trabajo, un equipo que logre llevar un proyecto hasta la obtención de un primer o segundo prototipo. En la figura siguiente se presenta el organigrama sugerido para la conformación del equipo de trabajo que lleve a buen término el proyecto.

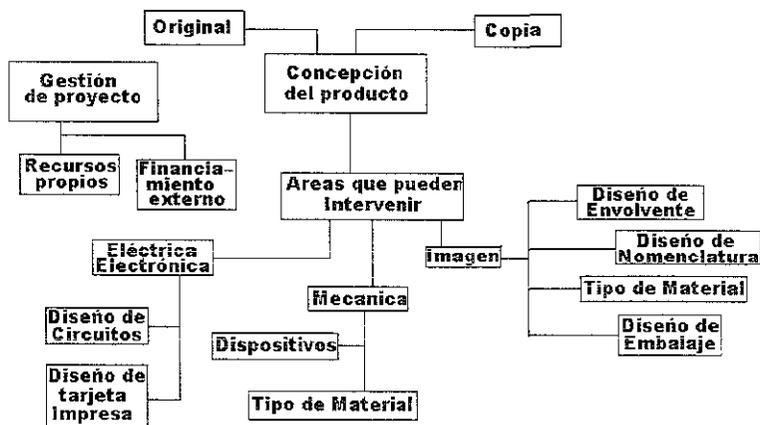


Figura [IP4] Diagrama de bloques de un sistema de desarrollo

Desarrollo de la Ingeniería de producto del equipo de microondas

Diseño de la electrónica

Habiendo obtenido la respectiva aprobación se procede a la elaboración de un plan de desarrollo, que comprende la labor de investigación acerca de que es y como funciona el equipo que se quiere copiar o en su caso, diseñar desde cero. Se debe considerar que principio siguen, quienes y en donde son usados, que resultados deben presentar en un momento dado, cuales son las principales fallas que presentan, que modelos existen, quienes pueden en determinado momento servir como soportes o asesores para solucionar los problemas que se presenten. En este punto, quienes usan los equipos pueden representar una muy buena fuente de información que evitará algunos dolores de cabeza.

Después de todo lo anterior, es posible diseñar algunos circuitos con los cuales se puedan llevar a cabo las primeras mediciones, para saber si se está en buen camino o se tiene que rectificar hacia un diseño diferente. Para este caso en particular se logró obtener un circuito que cumple con las condiciones deseadas.

Diseño de la envolvente

Teniendo un prototipo de laboratorio, se inicio el diseño mecánico de una posible envolvente para lo cual se fijaron ciertas bases. La envolvente debería tener al frente los controles necesarios para la correcta operación, así como los conectores adecuados y en una posición que permita su fácil acceso. Los medidores tienen prioridad en cuanto a su posicionamiento, éstos deben quedar al frente y sin obstáculos.

Para el diseño de la envolvente de la partes que constituyen al equipo de microondas, se partió de un primer prototipo elaborado en lámina de aluminio. Ese tipo de envolvente ofrece ciertas ventajas, aunque no siempre es fácil de trabajarlo para darle un aspecto agradable. Para el equipo de microondas, las partes que requieren de una envolvente son: el módulo que se acopla al oscilador (transmisor), y el módulo que va acoplado al diodo detector (receptor). Las demás partes que integran el equipo de microondas son piezas mecánicas que por sí mismas forman su envolvente.

Diseño de la imagen

En este punto se puede lograr muy poco cuando quien diseña no tiene la experiencia suficiente para obtener una imagen de producto terminado. De aquí que quien está encargado del diseño de la imagen, deberá lograr mediante sus dibujos o posiciones de fotografías, un efecto tal que el usuario se sienta cómodo al hacer uso del equipo.

IMAGEN

Dentro de lo que es la imagen del equipo, se debe tomar en cuenta el logotipo que identifique al equipo, además de una posible marca que distinga ya sea una serie de equipos similares, o de grupos de equipos que desempeñen diferentes tareas.



Figura [IP5] Fotografía de uno de los módulos que integran el laboratorio de electromagnetismo

Una pieza importante en la imagen lo puede constituir el folleto, que en él se puedan resumir una serie de datos mínimos que permitan la puesta en operación. El folleto puede incluir el logotipo, una o varias fotografías así como una lista de advertencias para su operación.

Embalaje

Al adquirir un equipo ya sea para laboratorio o de uso común en el hogar u oficina, buscamos que sus características técnicas sean las mejores, y que el precio sea el más bajo. Inclusive exigimos que el servicio de mantenimiento este perfectamente especificado en tiempo y forma, en que se deba realizar.

En cuanto a la carcasa, sucede algo muy similar, buscamos que tenga una presentación excelente, de preferencia que armonice con el resto de los equipos o muebles de la casa.

¿Pero que sucede con el empaque? ¿la envoltura en la que llego bien el equipo? Lo primero que usualmente hacemos es abrir el empaque y deshacernos de él cuanto antes. ¿Quien armó el empaque? ¿porque tiene esa forma? ¿porque ese tipo de material? Las preguntas podrían seguir y difícilmente nos contestaríamos. El embalaje que hace posible que nuestros aparatos lleguen en buen estado, requiere de todo un desarrollo interno y externo de la envoltente.

El diseño del embalaje de cualquier equipo se puede dividir en dos grandes partes.

- *Diseño interno*
- *Diseño externo*

Diseño interno

En él se debe tener en cuenta el número de piezas que va a contener, y las características de estas, como pueden ser

- Tipo de material del que están hechas.
- Peso de las piezas.
- Fragilidad de cada pieza.
- Secuencia de uso.
- Requiere de empaque por separado aún dentro de la envolvente total.

Las anteriores son características que deben ser consideradas cuando se está diseñando la distribución interna. En algunos casos es de mayor importancia conocer el peso de cada pieza, esto para que el centro de masa esté lo más cerca del centro de la envolvente, y que en el momento de ser trasladado, el peso total del equipo esté repartido equitativamente en toda la envolvente.

Para piezas frágiles, se debe tener en cuenta su posición dentro de la envolvente, para que en caso de que esta sea presionada o golpeada, la mayor parte del daño lo absorban, tanto la envolvente misma, como las piezas de material considerado como más duro.

Usualmente este tipo de piezas requiere de una envolvente extra, un contenedor que ayude a su apropiado traslado y almacenamiento. Por ello se debe seleccionar un material que le proporcione la debida resistencia mecánica.

En algunas ocasiones se debe considerar una secuencia de uso, o salida de las piezas que pertenecen al equipo. Lo anterior puede ser influenciado por el peso de las mismas piezas, por frecuencia de uso, o simplemente por la facilidad en su acomodo.

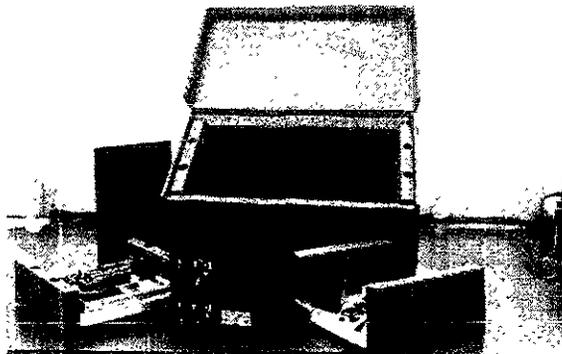


Figura [IP6] Fotografía que muestra los elementos del laboratorio y su embalaje.

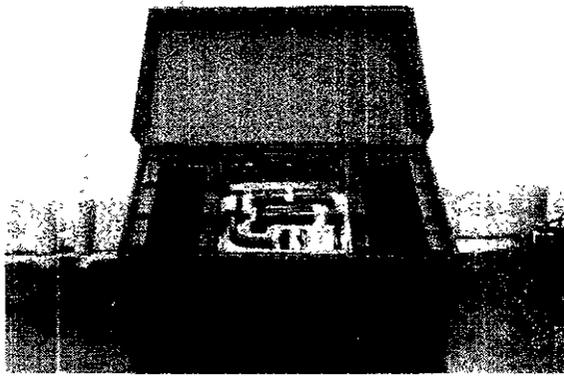


Figura [IP7] Fotografía del laboratorio de electromagnetismo en su embalaje

Diseño externo

Tal vez el diseño externo sea el más aceptado como tal por quienes compran un producto, esto es, en muchas ocasiones sí se aprecia el diseño externo, debido a que se tiene un contacto más prolongado con el mismo. El tener un diseño externo adecuado puede ser utilizado como medio de promoción. No solamente para hacer notar las diferentes advertencias respecto a su manejo.

Algunas de las características que presenta una envolvente en su parte externa y que ayudan a su identificación y adecuado manejo son.

- Facilidad para ser manipulado.
 - Asideros.
- Facilidad en su identificación.
 - Letreros.
 - Propios del producto.
 - Advertencias.
- Indicaciones de apertura.
 - Secuencia.
- Indicaciones propias de la envolvente.
 - Reciclaje.
 - Conservación de la envolvente para su eventual almacenamiento.
- Material lo menos flamable.

En la mayoría de las ocasiones se debe tener en consideración que el aparato será trasladado manualmente, lo que implica que el diseño de la envolvente deberá permitir ser asido con facilidad, sin esquinas que lo impidan. Además, de tener los huecos necesarios para tal propósito. Lo anterior se puede lograr dejando los huecos en la envolvente, aún

cuando actualmente se han diseñado insertos que se introducen en la envolvente, y que permiten asirla y bloquear la entrada de polvo.

En cuanto a los letreros que debe llevar cada equipo, es necesario identificar aquellos que por norma deben ser incluidos, y aquellos que son propios del equipo al que resguarda la envolvente.

Seguridad

- No mojar.
- No apilar más de...
- No golpear.
- Material de reciclaje.

Del Equipo

- Marca.
- Nombre.
- Modelo.
- Número de piezas contenidas.
- Logotipo del equipo.
- Logotipo del fabricante.

Cuando se tiene una cierta secuencia de apertura de la envolvente, es porque se pretende que el equipo se vuelva a guardar en su empaque original. En ocasiones esto es posible e incluso aconsejable, sin embargo es probable que quien lo utiliza tenga una mejor forma de almacenaje. Cuando se da un caso así, el equipo no sufre de daño alguno, pero el diseñador de la envolvente debe tener en consideración todos los factores, o medios que pueden en un momento dado afectar al equipo.

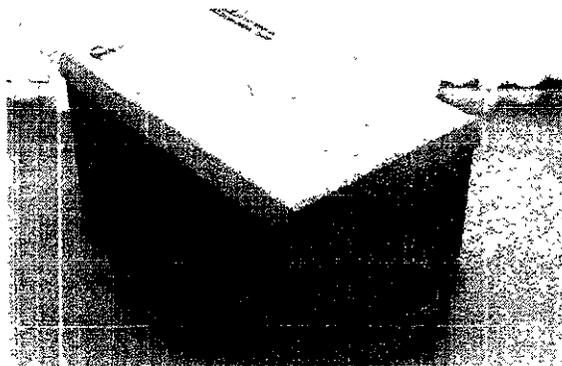
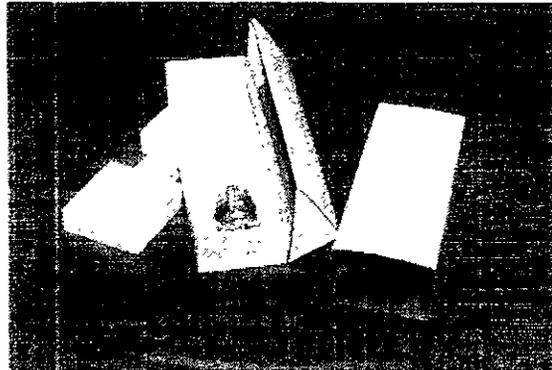


Figura [IP8] Fotografía de la envolvente que contiene al laboratorio.

En la fotografía se aprecian sus marcas propias del equipo, además del logotipo que lo identifica, lo mismo que las leyendas típicas para todo equipo. Debe notarse en el costado, el hueco que permite asir la envolvente para su traslado.

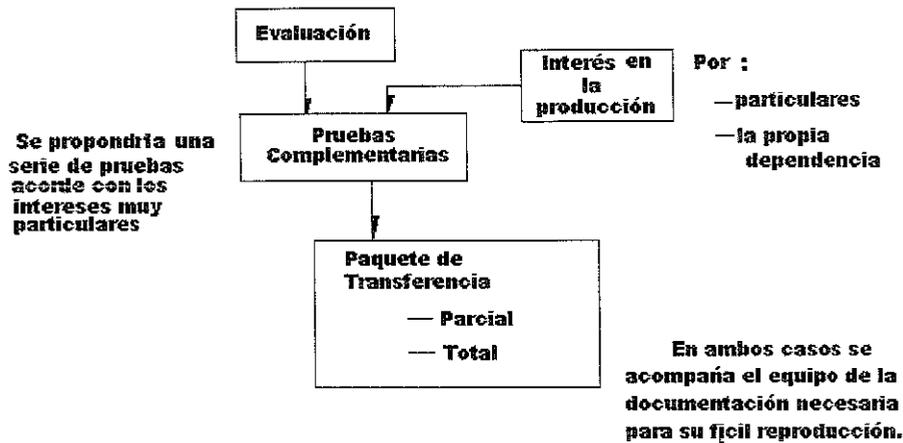


Figura[IP9]Antena dieléctrica en su envolvente

En la figura [IP9] se muestra una antena dieléctrica en su envolvente. Este desarrollo de la envolvente para la antena, se hizo para mostrar la posibilidad de generar un embalaje individual para una pieza en específico. El desarrollar este tipo de embalaje da la experiencia necesaria para cuando se deba ir adicionando accesorios, a lo ya existente en un sistema.

Transferencia del equipo

La transferencia del equipo puede comprender la presentación física del mismo, así como de un reporte técnico donde se especifican sus características de operación diagramas de bloques de cómo está conformado, diagramas de bloques de las diferentes partes que lo integran, dependiendo de si tienen o no componentes electrónicos, dibujos de las partes mecánicas, y por supuesto un manual de operación y de servicio. Para este punto, el aparato deberá tener perfectamente especificados cada uno de los elementos presentados al frente del mismo, y en la parte posterior se tienen los letreros correspondientes al modo de alimentación, números de registro y de modelo.



Figura[IP10] Diagrama de bloques del proceso de transferencia

Cuando se presenta la oportunidad de transferir el equipo obtenido, la documentación que acompaña al equipo se debe complementar con los resultados de las pruebas realizadas en el equipo en presencia del interesado en su obtención. Además, se debe adjuntar una serie de diagramas o rutas de ensamble que permitan una rápida fabricación con el mínimo de error, así como una secuencia en tiempo del ensamble de componentes.

Dentro de este proceso cabe destacar la posible transferencia parcial de un equipo, lo cual implica que la parte diseñadora puede intervenir en la producción en serie, aportando partes para el ensamble. Es posible una transferencia parcial.

Relación de planos de las piezas mecánicas del equipo de microondas.



Plano GC_1



Plano GC_2

 VNA M	ANTENA R		
	EQUIPO DE MICROONDAS	LUIS VELAZQUEZ A	GERARDO CALVAO
	INGENIERIA DE PRODUCTO	MA 10-238	RM (Puga)
		3M	1 Pz
	INDICADO		6.C.6.

Plano GC_3

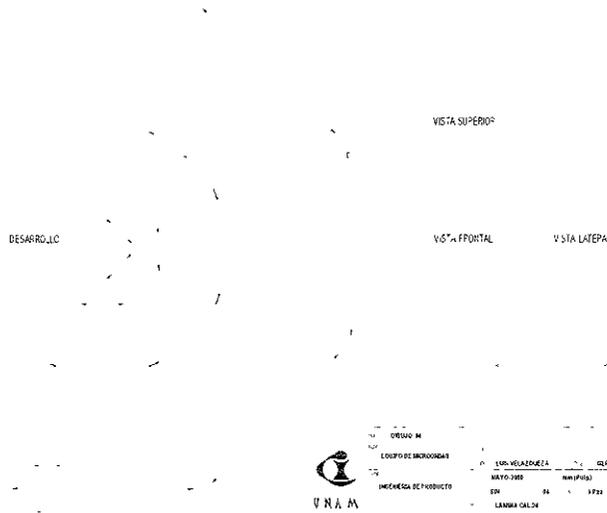
 VNA M	BASE F		CAPACIDAD DE PLATOS PARALELOS
	EQUIPO DE MICROONDAS	LUIS VELAZQUEZ A	GERARDO CALVAO
	INGENIERIA DE PRODUCTO	MA 10-238	RM (Puga)
		3M	1 Pz
	INDICADO		J.A.

Plano GC_4

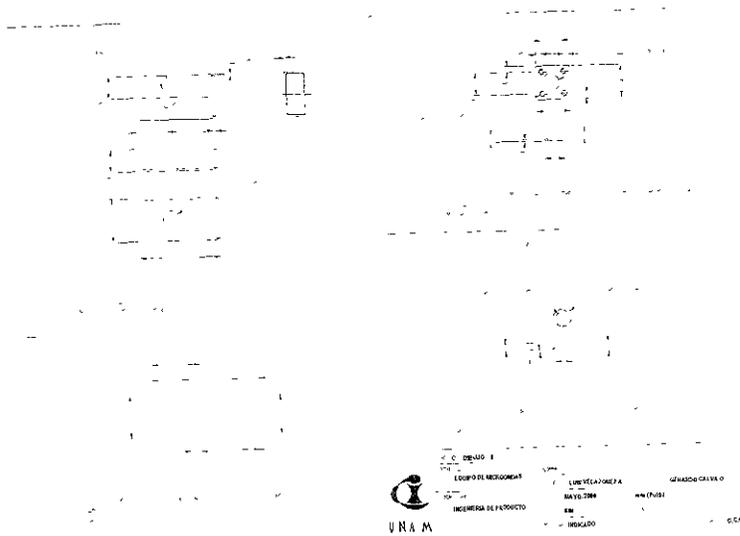



DISEÑO 01
 EQUIPO DE MICROONDAS
 INGENIERIA DE PRODUCTO
 LUIS VELAZQUEZ
 MAYO 2009
 3D
 BARRA DE LATON DTP
 GERARDO CALVA G.
 100 (P.02)
 1 P.24
 01.0

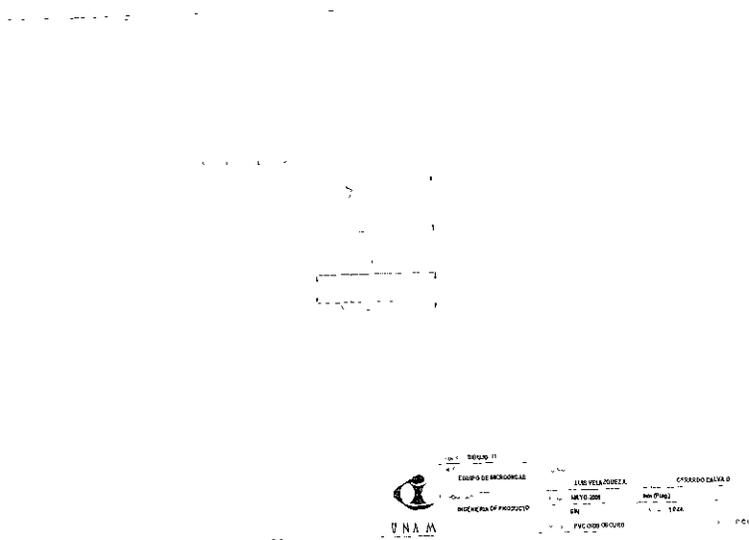
Plano GC_10



Plano GC_11

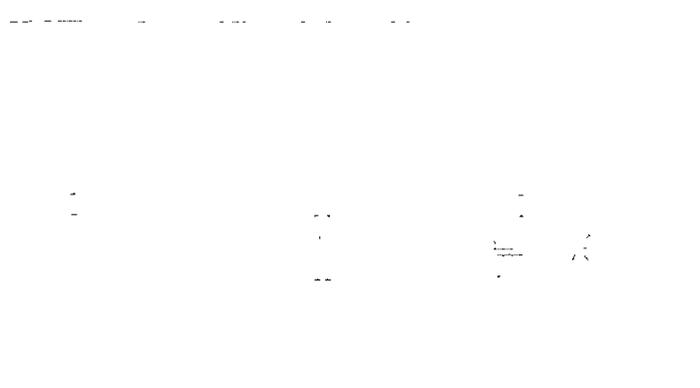


Plano GC_16



Plano GC_17

RELACIÓN DE PLANOS DEL EQUIPO DE BRAGG



Plano GC_21



Plano GC_22



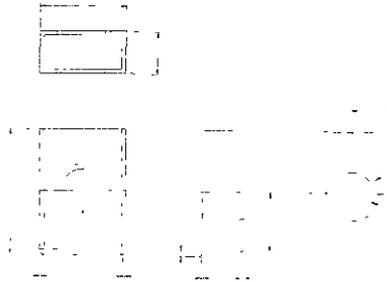
C.A. S.A. DE C.A.		C.A. S.A. DE C.A.	
COMERCIO PARA ANTENA	COMERCIO PARA ANTENA	COMERCIO PARA ANTENA	COMERCIO PARA ANTENA
INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO
INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO

Plano GC_23



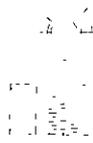
C.A. S.A. DE C.A.		C.A. S.A. DE C.A.	
COMERCIO PARA ANTENA	COMERCIO PARA ANTENA	COMERCIO PARA ANTENA	COMERCIO PARA ANTENA
INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO
INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO	INGENIERIA DE PRODUCTO

Plano GC_24



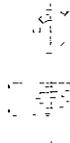
N.º DE DISEÑO 0001		N.º DE PROYECTO 0001	
COMITATAS PARA ANTENA		DISEÑO DE UNIDADES	
INGENIERIA DE PRODUCTO		INGENIERIA DE PRODUCTO	
DISEÑADOR LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	
REVISOR LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	
AUTORIZADO LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	
LECTOR LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	

Plano GC_29



N.º DE DISEÑO 0001		N.º DE PROYECTO 0001	
COMITATAS PARA ANTENA		DISEÑO DE UNIDADES	
INGENIERIA DE PRODUCTO		INGENIERIA DE PRODUCTO	
DISEÑADOR LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	
REVISOR LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	
AUTORIZADO LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	
LECTOR LUIS VELAZQUEZ		INGENIERO EN JEFE JUAN J. PEREZ	

Plano GC_30



	COMETA PARA ANTENA INGENIERIA DE PRODUCTO	DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A.	DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A.
	MATERIAL: LATON	MATERIAL: LATON	MATERIAL: LATON

Plano GC_31



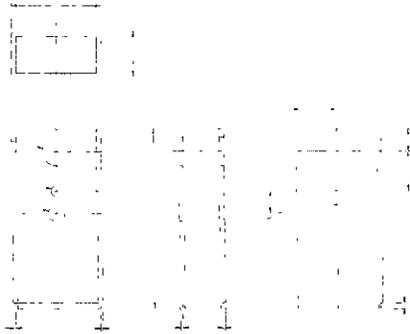
	COMETA PARA ANTENA INGENIERIA DE PRODUCTO	DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A.	DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A. DISEÑO: ALUMINUM S.A.
	MATERIAL: LATON	MATERIAL: LATON	MATERIAL: LATON

Plano GC_32



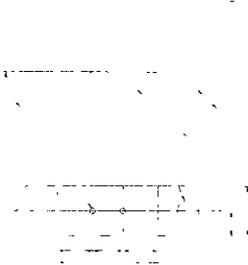

COMUNIDAD PARA SAN MARTÍN
 MUNICIPIO DE SAN MARTÍN
 DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN
 MINISTERIO DE PLANEACIÓN Y POLÍTICA TERRITORIAL

Plano GC_33




COMUNIDAD PARA SAN MARTÍN
 MUNICIPIO DE SAN MARTÍN
 DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN
 MINISTERIO DE PLANEACIÓN Y POLÍTICA TERRITORIAL

Plano GC_34



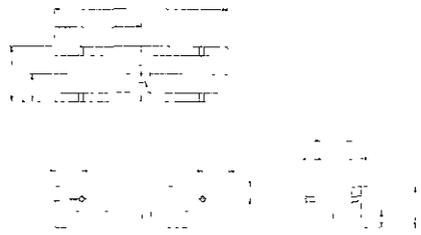
		GRUPO CR 2 CONECTORES PARA ANTENAS		PLATA CONECTORA LARGO: 100mm	
DIMENSIONES DE PRODUCTO		ANCHO: 25mm		ALTURA: 10mm	
MATERIAL: ALUMINIO		ACABADO: ANODIZADO		TOLERANCIAS: ±0.1mm	

Plano GC_37



		GRUPO CR 3 CONECTORES PARA ANTENAS		PUNTO LARGO: 100mm	
DIMENSIONES DE PRODUCTO		ANCHO: 25mm		ALTURA: 10mm	
MATERIAL: ALUMINIO		ACABADO: ANODIZADO		TOLERANCIAS: ±0.1mm	

Plano GC_38



NOM: 08.4		NOM: CASOS	
PROYECTO	COMETAS PARA ANILAS	FECHA	13 DE SEPT DE 2008
NO. DE DISEÑO	104.000	PROYECTISTA	LUIS VELAZQUEZ
INGENIERIA DE PRODUCTO	EN	REVISOR	MIGUEL ANGEL
		PROYECTISTA	LUIS VELAZQUEZ
		REVISOR	MIGUEL ANGEL
		PROYECTISTA	LUIS VELAZQUEZ
		REVISOR	MIGUEL ANGEL

Plano GC_39



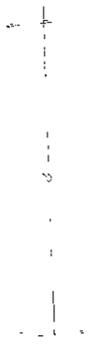
NOM: 08.5		NOM: MEDIDAS	
PROYECTO	COMETAS PARA ANILAS	FECHA	13 DE SEPT DE 2008
NO. DE DISEÑO	104.000	PROYECTISTA	LUIS VELAZQUEZ
INGENIERIA DE PRODUCTO	EN	REVISOR	MIGUEL ANGEL
		PROYECTISTA	LUIS VELAZQUEZ
		REVISOR	MIGUEL ANGEL
		PROYECTISTA	LUIS VELAZQUEZ
		REVISOR	MIGUEL ANGEL

Plano GC_40



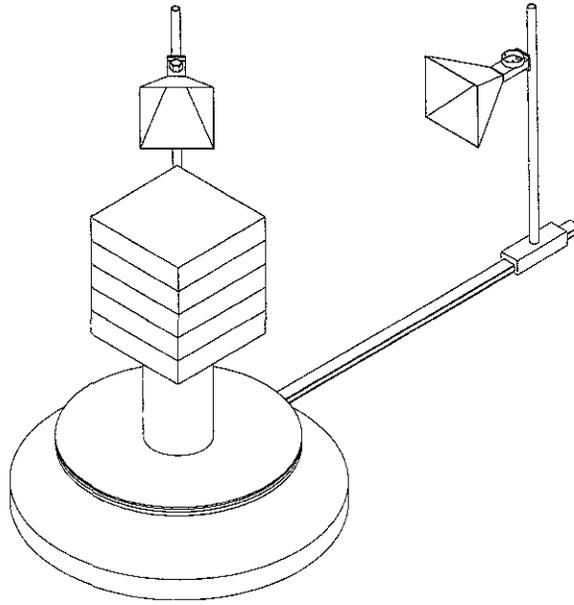
CÓDIGO DE B		CÓDIGO	
CONCRETA PARA AVIACIÓN	UNIDAD	LIBRO	LIBRO
LOGO	LIBRO	LIBRO	LIBRO
INSTRUMENTAL DE PRODUCTO	LIBRO	LIBRO	LIBRO
	LIBRO	LIBRO	LIBRO
	LIBRO	LIBRO	LIBRO

Plano GC_41

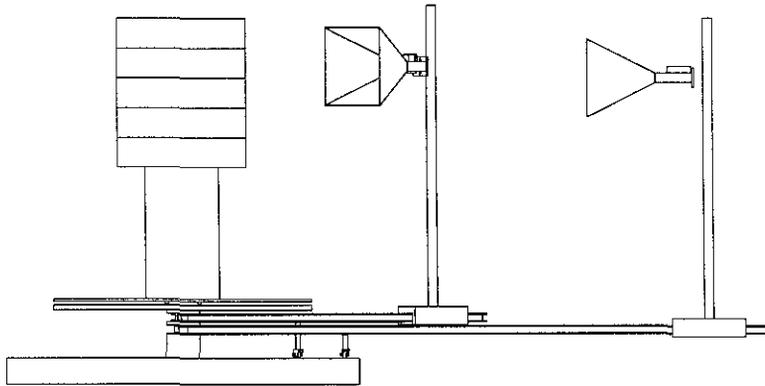


CÓDIGO DE B		CÓDIGO	
CONCRETA PARA AVIACIÓN	UNIDAD	LIBRO	LIBRO
LOGO	LIBRO	LIBRO	LIBRO
INSTRUMENTAL DE PRODUCTO	LIBRO	LIBRO	LIBRO
	LIBRO	LIBRO	LIBRO
	LIBRO	LIBRO	LIBRO

Plano GC_42



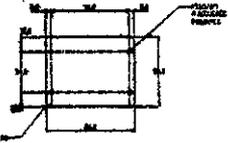
Plano GC_45

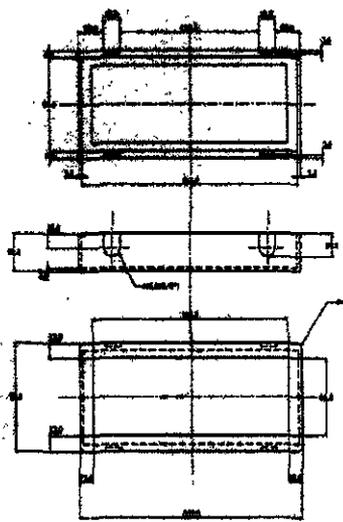


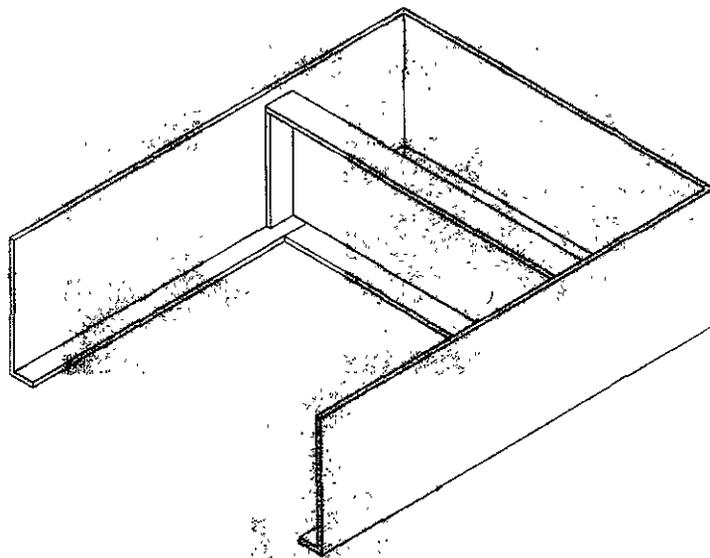
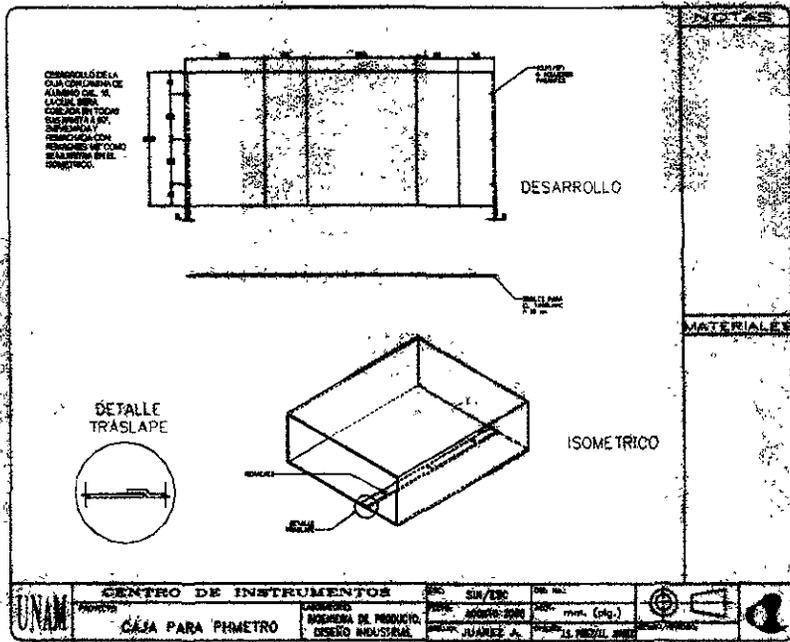
Plano GC_46

RELACIÓN DE PLANOS DE LA ENVOLVENTE UTILIZADA EN LOS MÓDULOS TRANSMISOR Y RECEPTOR

	NOTAS FABRICACION DE 2 PIEZAS													
	MATERIALES LAMINA NEGRA CAL. 18													
<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">UNAM</td> <td>CENTRO DE INSTRUMENTOS</td> <td>ESC: EN/ESC</td> <td>FE: 10/2</td> <td rowspan="2"> </td> </tr> <tr> <td>PROYECTO: FRONTAL 2 MICROONDAS</td> <td>PROY: SPINOSA M</td> <td>FECH: 19/11/2008</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTILLANA</td> <td>PROF: JUAREZ A.</td> <td>FECH: 15/02/11/2008</td> <td></td> </tr> </table>		UNAM	CENTRO DE INSTRUMENTOS	ESC: EN/ESC	FE: 10/2		PROYECTO: FRONTAL 2 MICROONDAS	PROY: SPINOSA M	FECH: 19/11/2008		INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTILLANA	PROF: JUAREZ A.	FECH: 15/02/11/2008	
UNAM	CENTRO DE INSTRUMENTOS		ESC: EN/ESC	FE: 10/2										
	PROYECTO: FRONTAL 2 MICROONDAS	PROY: SPINOSA M	FECH: 19/11/2008											
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTILLANA	PROF: JUAREZ A.	FECH: 15/02/11/2008											
	NOTAS FABRICACION DE 2 PIEZAS													
	MATERIALES LAMINA NEGRA CAL. 18													
<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">UNAM</td> <td>CENTRO DE INSTRUMENTOS</td> <td>ESC: EN/ESC</td> <td>FE: 10/2</td> <td rowspan="2"> </td> </tr> <tr> <td>PROYECTO: FRONTAL 3 MICROONDAS</td> <td>PROY: SPINOSA M</td> <td>FECH: 19/11/2008</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTILLANA</td> <td>PROF: JUAREZ A.</td> <td>FECH: 15/02/11/2008</td> <td></td> </tr> </table>		UNAM	CENTRO DE INSTRUMENTOS	ESC: EN/ESC	FE: 10/2		PROYECTO: FRONTAL 3 MICROONDAS	PROY: SPINOSA M	FECH: 19/11/2008		INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTILLANA	PROF: JUAREZ A.	FECH: 15/02/11/2008	
UNAM	CENTRO DE INSTRUMENTOS		ESC: EN/ESC	FE: 10/2										
	PROYECTO: FRONTAL 3 MICROONDAS	PROY: SPINOSA M	FECH: 19/11/2008											
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTILLANA	PROF: JUAREZ A.	FECH: 15/02/11/2008											

		NOTAS	
		FABRICACION DE 8 PIEZAS	
		MATERIALES	
		MICA ROJA	
UNAM	CENTRO DE INSTRUMENTOS	NO. 30/100	FECHA
	CUBIERTA MICA ROJA	PROFESOR DE PRÁCTICA: JUAN PÉREZ A.	ALUMNO (S): JUAN PÉREZ A.

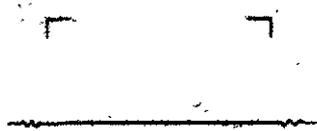
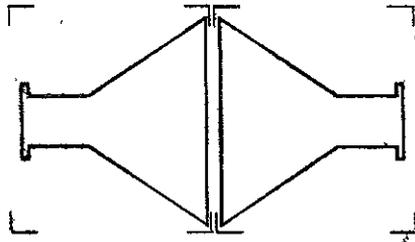
		NOTAS	
		MATERIALES	
UNAM	CENTRO DE INSTRUMENTOS	NO. 30/100	FECHA
	CAJA PARA PHETROMETRO	PROFESOR DE PRÁCTICA: JUAN PÉREZ A.	ALUMNO (S): JUAN PÉREZ A.

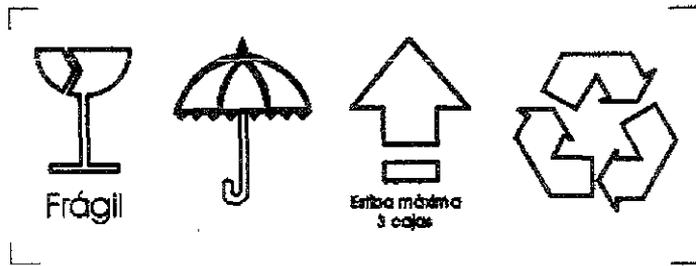


RELACIÓN DE DIBUJOS UTILIZADOS EN LA SERIGRAFIA DEL EMBALAJE



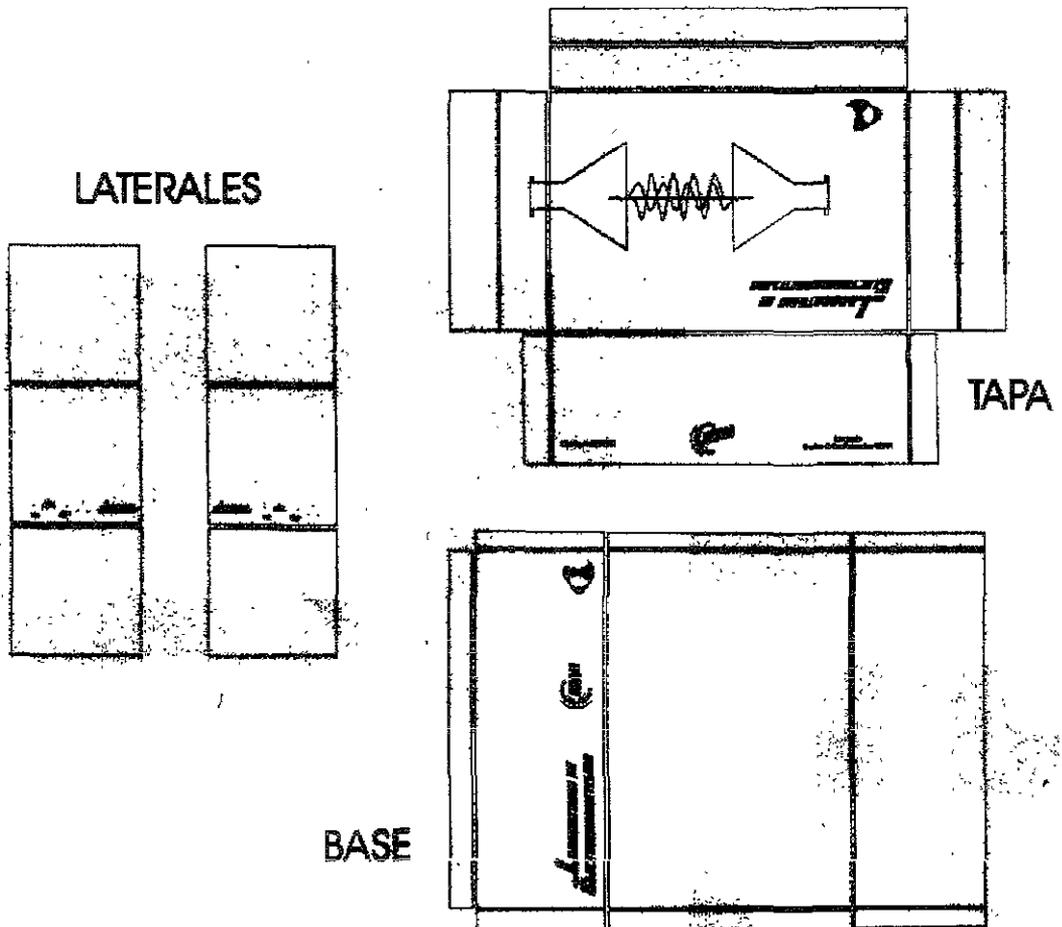
**LABORATORIO DE
ELECTROMAGNETISMO**





LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO

Posición de las imágenes, en cada una de las partes (sin armar, en forma de desarrollo), que integran el embalaje del equipo Laboratorio de Electromagnetismo.



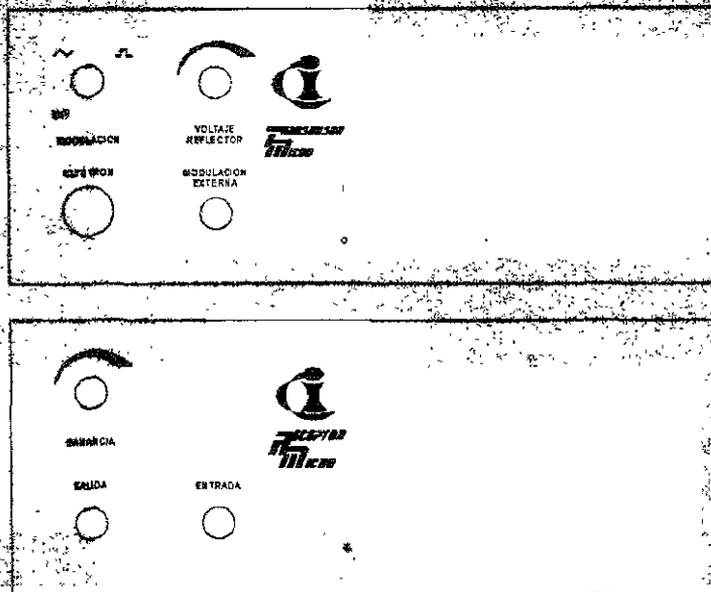
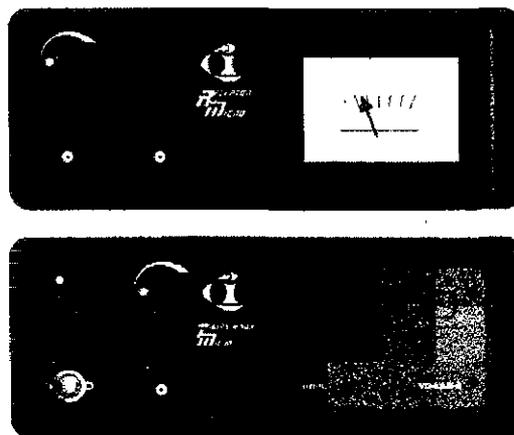
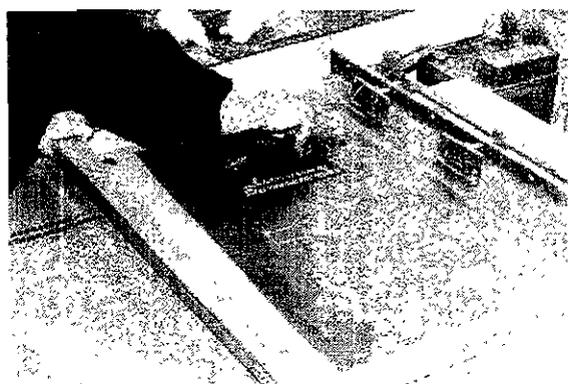
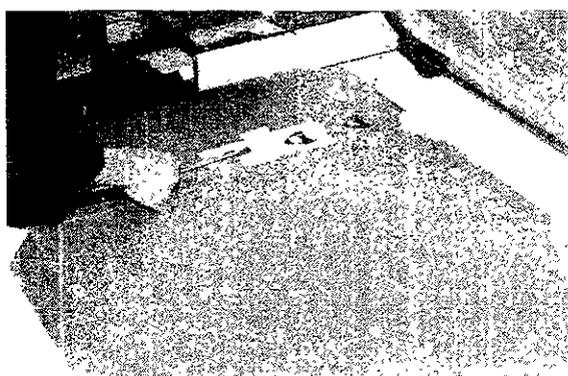
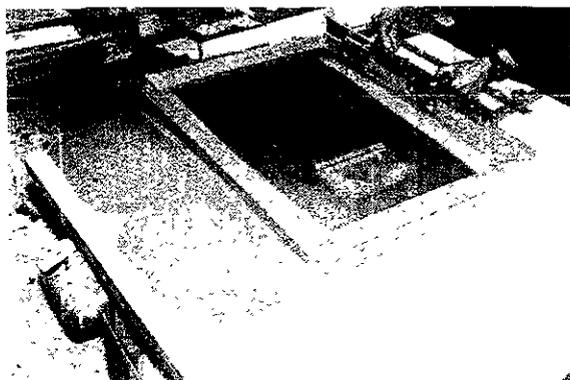


Imagen de los frontales del equipo Laboratorio de Electromagnetismo.

- Se busco un contraste para la buena legibilidad de cada uno de los componentes que integran al equipo.
- La nomenclatura se integro con ese color y tamaño para la buena visualización y localización del elemento buscado.
- Dentro del área del frontal se busco el equilibrio de cada uno de los elementos tanto componentes de operación como de nomenclatura para mantener una formalidad estética.



Secuencia de fotos del trabajo de serigrafía



MANUALES DE APOYO AL USUARIO

Manual de empleo y servicio para el usuario.

MANUAL DE EMPLEO Y SERVICIO

EQUIPO DE MICROONDAS EN LA BANDA X.

El equipo de microondas tiene dos módulos que requieren especial atención: el módulo transmisor y el módulo receptor. En ambos aparatos se deben observar ciertas normas, o pasos a seguir para que el equipo se mantenga operando normalmente. Nunca se deben exceder los límites de operación especificados para cada módulo. En cuanto a las piezas de equipo asociadas a ambos módulos, se recomienda mantenerlas en lugares frescos libres de polvo, de preferencia en su embalaje original.

Módulo transmisor

El módulo de transmisión posee la electrónica necesaria para trabajar con el oscilador en sus frecuencias establecidas. Su carcasa o envoltente está diseñada de tal forma, que es posible localizar dos secciones; la primera, en la parte posterior, contiene los transformadores, porta fusible y las fuentes de poder que alimentan la electrónica. En la segunda parte, la frontal, se tienen los circuitos impresos de las fuentes de alimentación del Klystron, y el circuito impreso que contiene los amplificadores de entrada de la señal de modulación externa, y el oscilador local de baja frecuencia. Además del receptáculo para el medidor digital.

Modulación.

La modulación de la señal se puede realizar básicamente de dos formas. Puede ser interna o externa. Para el caso de tener una modulación externa se cuenta con la electrónica necesaria para recibir una señal de baja potencia, y baja impedancia. Para poder utilizar la señal externa, los amplificadores de entrada deben compensar las características de la señal, es decir, la ganancia debe ser tal que pueda ser “manejada” la señal por el resto de los circuitos. La impedancia a la entrada debe ser alta para que la señal no se desvanezca por un drenado excesivo. Después de todos estos pasos la señal es enviada al oscilador para modular la señal que emitirá.

La modulación interna puede parecer un poco más sencilla, de hecho lo es si se considera que se conocen todas sus características. Esta señal es utilizada como señal de prueba o de puesta a punto. Esta es la mejor forma de lograr un enlace, transmitiendo primero una señal conocida en amplitud y frecuencia. Tal es el caso de la señal que se genera internamente. La señal es una onda cuadrada de aproximadamente 1KHZ. La cual sirve perfectamente para los propósitos, primero, de lograr el enlace y segundo, para demostrar la transmisión de una señal, variando la orientación de las antenas, o interrumpiendo la señal con algún elemento metálico.

Es posible agregar una tarjeta opcional conteniendo un generador de señales. El generador proporcionaría una señal de tres posibles. Dicha señal posee una amplitud estable y una frecuencia que cubre el intervalo de 410 HZ a 3.37 KHZ. La frecuencia se ajusta con un potenciómetro, el cual deberá estar al frente del módulo.

Al frente, el módulo del transmisor tiene el control de *Voltaje de Reflector*, el selector de *Modulación*, el conector de *Modulación Externa*, el conector de chasis para el *Klystron*, el despliegue de tres y medio dígitos y por supuesto el botón de encendido del aparato.

- El botón o perilla del control de *Voltaje Reflector* tiene la característica de ser liso. Lo anterior tiene la finalidad de asociar su característica, con el funcionamiento lineal del potenciómetro asociado al botón.
- El botón o perilla del selector de *Modulación* por el contrario, presenta una forma discontinua. Esto para asociar su forma, con el funcionamiento del dispositivo de selección, que es por pasos.
- El conector para *Modulación Externa*, es un conector convencional (BNC) con el cual es posible introducir una señal de baja frecuencia para modular externamente el *Klystron*.
- El conector de chasis, *Klystron*, es para el cable que lleva los niveles de voltaje para el oscilador.
- El medidor de voltaje, es un medidor de tres y medio dígitos que cumple con las normas de tamaño y luminosidad que un aparato debe tener.
- Botón de encendido. Es un botón de dos posiciones que controla el encendido de todo el módulo del transmisor.



Figura[M1]Módulo transmisor del equipo

Módulo Receptor

El módulo asociado con el detector de recepción posee la electrónica necesaria para trabajar con las señales recibidas. Su envoltorio o carcasa tiene la misma disposición interna mostrada en el transmisor. En su interior, en la parte frontal, tiene una tarjeta de circuito impreso que contiene un pre-amplificador de alta impedancia y un amplificador de potencia. Una segunda tarjeta de circuito impreso, contiene la electrónica que permite manejar el medidor de intensidad de señal, la señal que se está recibiendo en el detector.

El módulo del receptor del equipo de microondas tiene al frente: un control de *Ganancia*, un control de *Nivel de Intensidad*, un conector de *Entrada* de señal, un conector de *Salida*, un medidor analógico (aguja) para medir la intensidad de la señal, y un interruptor general.

- Control de *Ganancia*. Este control permite regular la intensidad de la señal que es enviada a un reproductor electromecánico. Este control está asociado directamente con el amplificador de potencia con que cuenta el receptor.
- Control de *Nivel de Intensidad*. Con este control se regula la intensidad de la señal enviada al medidor analógico. La señal es previamente procesada por un circuito electrónico que la acondiciona para ser enviada al medidor. El resistor en el frente del aparato, sólo es una parte de la electrónica.
- Conector de *Entrada*. Este conector es la vía de entrada para la señal recibida por el detector. La señal es pre-amplificada y amplificada antes de ser utilizada.
- Conector de *Salida*. Este conector es la vía de salida que tiene la señal recibida por el detector. La señal es previamente acondicionada para evitar que un excesivo drenado, provoque la extinción de la señal.
- Medidor analógico de *Nivel de Intensidad*. Se optó por un medidor analógico, debido a que es más fácil identificar una posición dentro de un margen, que un número. Además, en ocasiones, se fija con el control de nivel de intensidad la posición de la aguja en la mitad de la escala, para de ahí observar la desviación de la misma hacia los extremos.
- Botón de encendido. Es un botón de dos posiciones que controla el encendido de todo el módulo del receptor.



Figura [M2] Módulo receptor del equipo

Ambos módulos tienen su respectiva nomenclatura o señalización asociada a cada elemento, con el que es posible identificar su función en el aparato. La carcasa se diseñó de tal forma que es posible abrir el equipo, y todas las partes que lo integran quedan en una estructura que los sujeta.



Figura [M3] Fotografía con los dos módulos que forman parte del equipo de microondas.

Puesta en operación.

El equipo de microondas requiere de ciertos cuidados en su puesta en operación para lograr un óptimo funcionamiento. De igual forma, al seguir un procedimiento establecido, se puede lograr que el equipo se mantenga funcionando por un periodo prolongado, sin tener que recurrir a mantenimiento.

Pasos a seguir para la puesta en operación. Encendido del equipo.

- 1) Asegurar el módulo del transmisor y del receptor en lugares planos, para evitar deslizamientos.
- 2) Instalar el detector y la base del oscilador, en sus respectivos soportes.
- 3) Verificar que el *Klystron* este insertado en su base.
- 4) Conectar el oscilador al módulo de transmisión mediante el conector (Philips) asociado a la base del oscilador.
- 5) Asegurar la antena piramidal o de corneta a la brida del oscilador, o de la guía de onda. De igual forma se asegura la antena a la guía de onda o soporte del detector. En ambos casos las bridas deberán coincidir, y ser aseguradas con los tornillos y tuercas en sus esquinas.

Operación

- 1) Conectar las líneas de alimentación de los módulos de transmisión y de recepción en receptáculos de 110 Volts; 60HZ. Asegurándose previamente, que los interruptores de encendido en ambos módulos estén en la posición de apagado.

- 2) Conectar el detector al módulo de recepción, mediante el cable coaxial adjunto al equipo. Conectar el cable que parte del soporte del oscilador, al módulo del transmisor. Se hace énfasis en esta conexión, debido a que **NO DEBE** ser encendido el módulo del transmisor sin su respectiva carga.

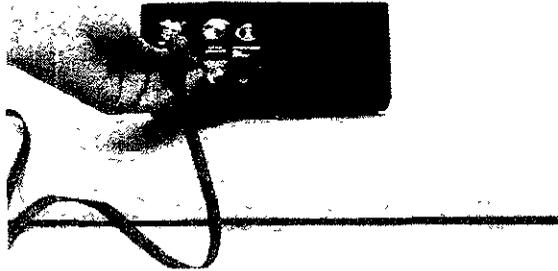
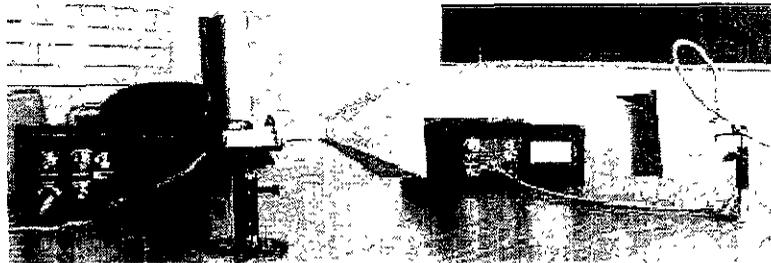


Figura [M4]Módulo transmisor. El cable que une el oscilador con el módulo, debe conectarse antes de ser energizado.

- 3) Situar las antenas del transmisor y del receptor frente a frente, y separadas 70 centímetros aproximadamente. Asegurándose que las antenas estén alineadas una con la otra a la misma altura. Como se aprecia en la figura [M5].



Figura[M5]Arreglo transmisor receptor con antenas piramidales o de corneta.

- 4) Encender el módulo del receptor, y girar la perilla de *Ganancia*, aproximadamente a la mitad de su carrera. El mismo procedimiento se debe realizar con la perilla que tiene la leyenda *Nivel de Intensidad*, de modo tal que la señal no exceda el máximo permitido por el galvanómetro.
- 5) En el módulo del transmisor, se selecciona la modulación cuadrada. Al cumplir con este punto es posible encender el módulo del transmisor, con seguridad, siempre y cuando se hayan respetado las indicaciones hechas en los pasos anteriores. Después de encendido el módulo, esperar alrededor de 30 segundos, para que el oscilador obtenga su temperatura de operación.

- 6) El paso siguiente es girar la perilla que tiene el nombre asociado de: *Voltaje Reflector*, hasta que en el lado receptor se obtenga una señal. En caso de ser necesario, ajustar el control de *Ganancia* en el receptor para mantener un nivel medio de audio. Lo mismo sucede con el *Nivel de Intensidad*, para tener desplazada la aguja alrededor de la mitad de la escala presentada en la carátula.
- 7) Continuar girando la perilla de control de voltaje en el transmisor lentamente hasta su extremo opuesto. Se deberá notar que existen picos de intensidad de señal.
- 8) Después de haber recorrido todos los posibles valores de voltaje que provocan una señal en el lado receptor, se ajusta nuevamente el voltaje en el módulo transmisor para obtener un máximo de señal.

Aditamentos Mecánicos

Cada una de las piezas mecánicas tienen en uno o en ambos extremos, bridas, con las que es posible conectarlas entre sí. Cuando una pieza sólo tiene una brida, en su extremo opuesto, es porque existe un dispositivo que se encuentra a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda de distancia a la pared. Esto se aprecia en la montura del oscilador, en la montura del diodo detector, y en la antena dieléctrica.

En lo que respecta a las antenas, la que requiere cierto cuidado es la antena dieléctrica, lo anterior debido a que es delgada y se obtiene mediante maquinado, no a partir de un molde.

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS MÓDULOS

TRANSMISOR

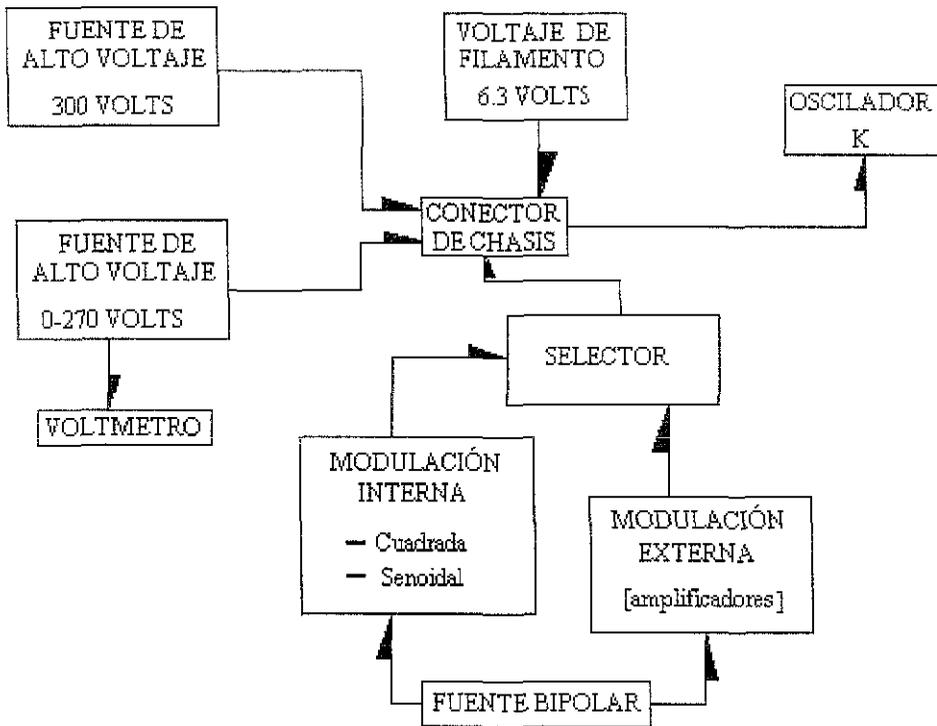


Figura [M6] Diagrama de bloques del Módulo Transmisor

RECEPTOR

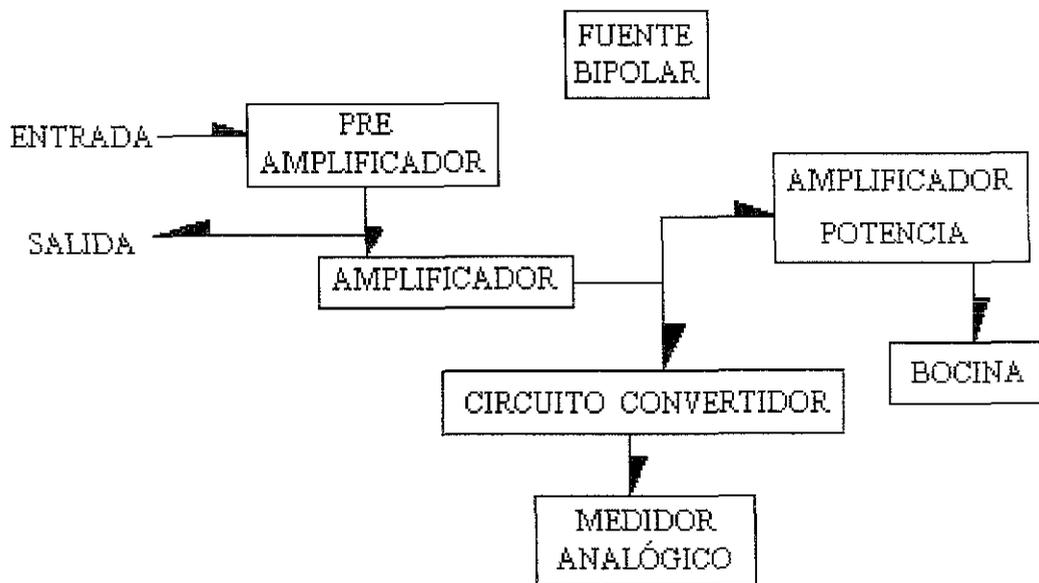


Figura [M7] Diagrama de bloques de Módulo Receptor

LISTA DE EQUIPO

Equipo estándar

Electrónica

Módulo Transmisor...(1)

Módulo Receptor...(1)

Antenas

Antenas piramidales...(2)

Guías de Onda

Guías de onda curvadas...(2)

Guías de onda rectas...(2)

Aditamentos

Acopladores de brida; circular a cuadrada; cuadrada a circular.

Montura del oscilador...(1)

Montura para diodo detector...(1)

Base metálica circular...(3)

Soportes de guía laterales (PVC)...(3)

Soporte con brida y cubierta para el *Klystron*

Equipo opcional

Antena dieléctrica.

Módulo para difracción de *Bragg*.

Guía con corto circuito deslizable.

Soporte con brida sin cubierta para el *Klystron*.

Guía de onda terminal. Carga resistiva 50Ω .

Base graduada.

Tarjeta del generador de funciones.

LISTA DE PARTES

COMPONENTES

SEMICONDUCTORES

LM 301	(4)
LM 7805	(1)
LM 7905	(1)
LM 7812	(2)
LM7912	(2)
BY 4006	(14)
ECG 27	(4)
2N237	(2)
ICL 7106	(1)
LM 347	(1)
XR 8038A	(1)
LM390	(1)
IN21B	(1)
RS207L	(1)

RESISTENCIAS

Todos los valores a $\frac{1}{2}$ W

10 M Ω	(1)
2.2 M Ω	(1)
1 M Ω	(4)
100 K Ω	(1)
33 K Ω	(2)
10 K Ω	(3)
4.7 K Ω	(1)
500 K Ω	(1)
22 K Ω	(4)
1 K Ω	(2)
12 K Ω	(1)
180 K Ω	(2)
25 K Ω pot	(1)
2.7 Ω	(1)
5K pot(1)	

CAPACITORES

20 ufd; 200V	(4)
0.1 ufd	(2)

0.15 ufd	(1)
33 pfd	(4)
0.01 ufd	(1)
120 ufd	(1)
0.47 ufd	(1)
47 ufd; 63V	(2)
500 ufd	(1)
1000 ufd; 16V	(2)
22 ufd	(1)
0.056 ufd	(1)
1500ufd(2)	

VARIOS

Conectores BNC	(3)
Conector Phillips	(1)
Llave selectora tres posiciones	(1)
Portafusible	(2)
Interruptor de encendido	(2)
<i>Klystron</i> 2K25	(1)
Base para <i>Klystron</i>	(1)
Cable plano	(3.0m)
Bocina 8Ω	(1)
Galvanómetro	(1)

Transformador		
Primario		Secundario
120Volts		2 Devanados
60 HZ		275 Volts; 4mA

1 Devanado
6 Volts; 50mA

Transformador		
Primario		Secundario
120 Volts		1 Devanado
60HZ		24 Volts C/T; 500mA
		1 Devanado
		34 Volts; 100mA

Transformador		
Primario		Secundario
120 Volts		30 Volts
60 HZ		250 mA

LISTA DE DIBUJOS DE CIRCUITO IMPRESO

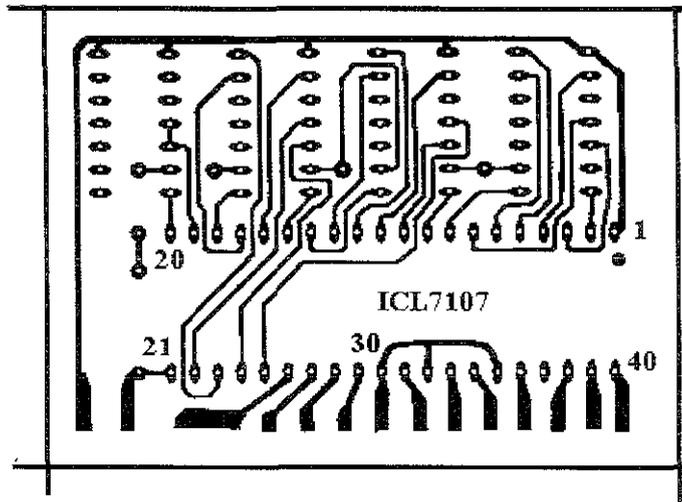


Figura [M8] Dibujo del Circuito Impreso del Medidor de Voltaje Directo en el Módulo transmisor. Frontal.

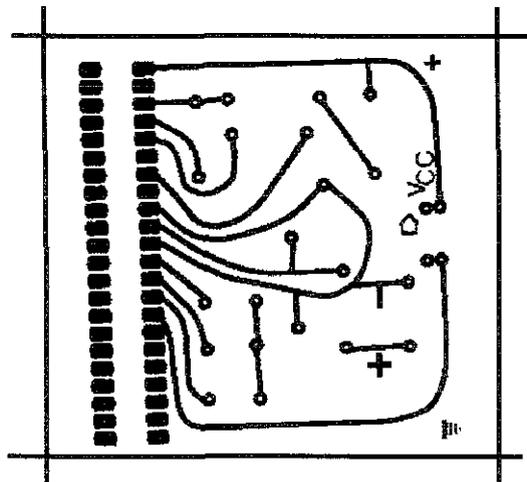


Figura [M9] Dibujo del Circuito Impreso del Medidor de Voltaje Directo en el Módulo transmisor Base lado de las pistas.

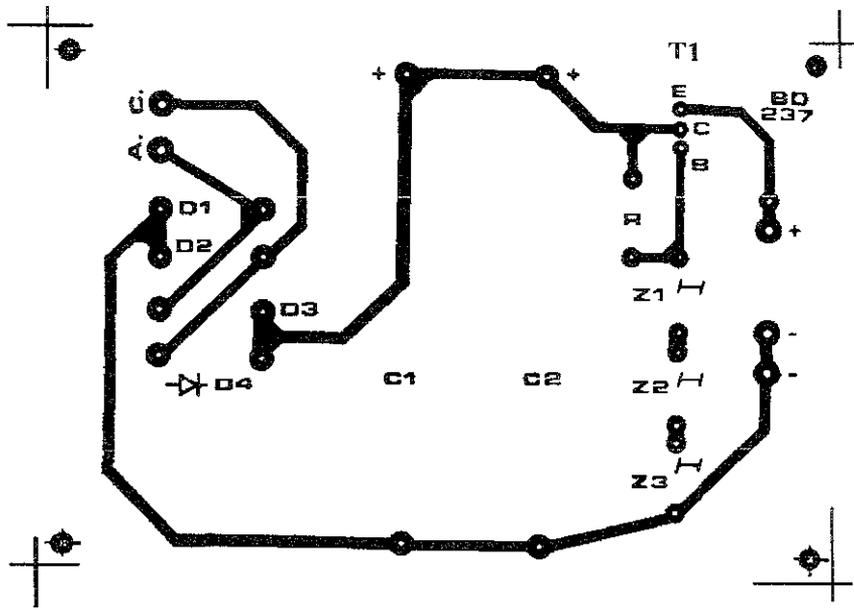


Figura [M10] Dibujo del Circuito Impreso utilizado por las Fuentes de alto Voltaje en el Módulo Transmisor.

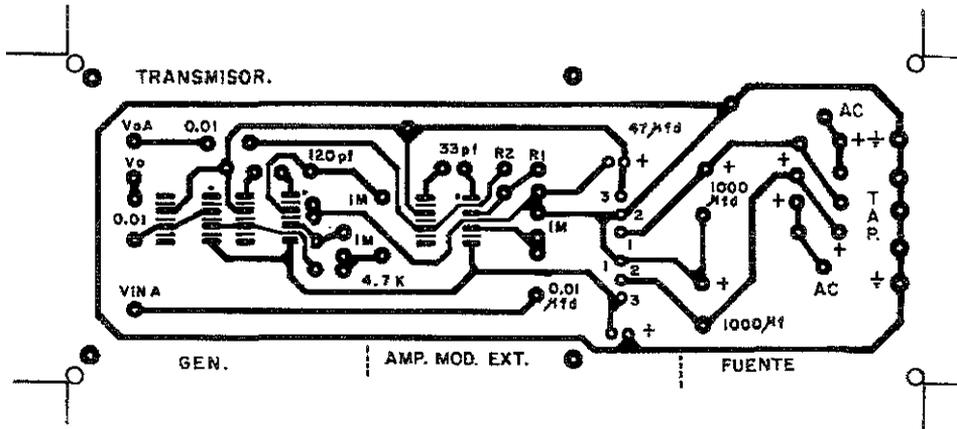


Figura [M11] Dibujo del Circuito Impreso utilizado en el transmisor

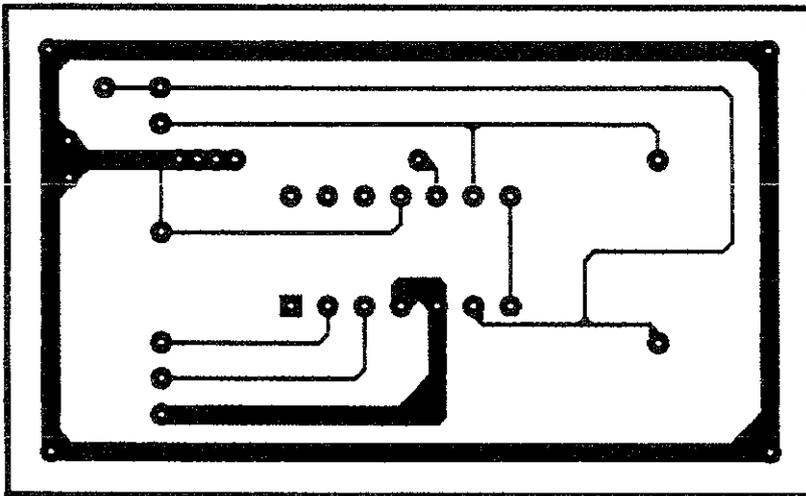


Figura [M12] Dibujo del circuito impreso de la tarjeta del generador. Lado de las pistas

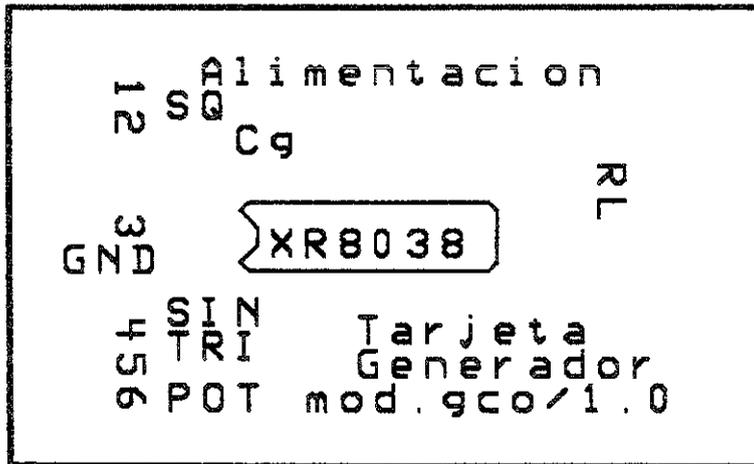


Figura [M13] Dibujo del circuito impreso de la tarjeta del generador. Lado de los componentes

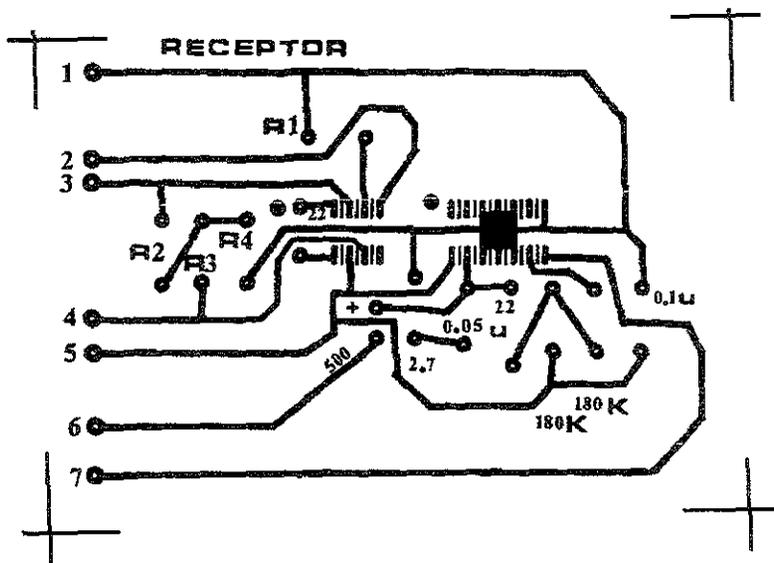


Figura [M14] Dibujo del circuito Impreso utilizado en el Módulo Receptor.

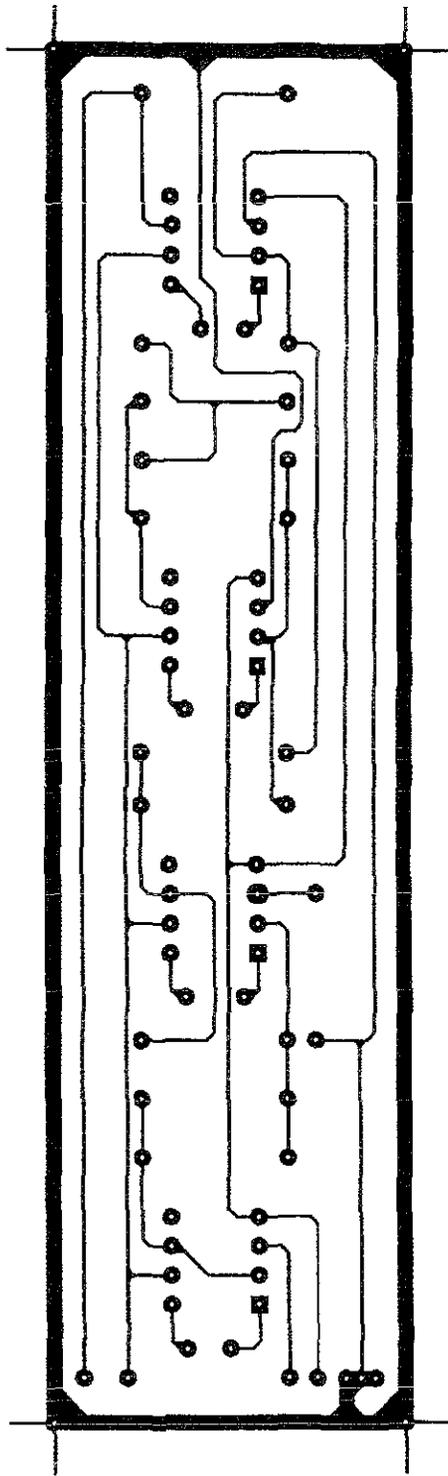


Figura [M15] Dibujo del Circuito Impreso del Convertidor utilizado en el Módulo Receptor Lado de las pistas.

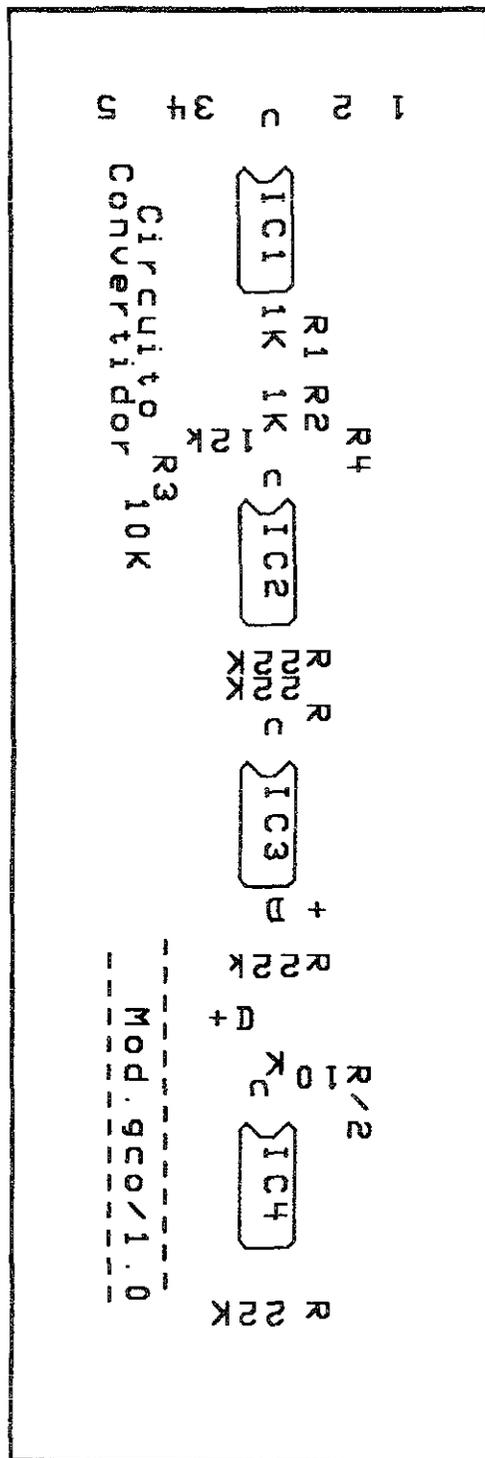


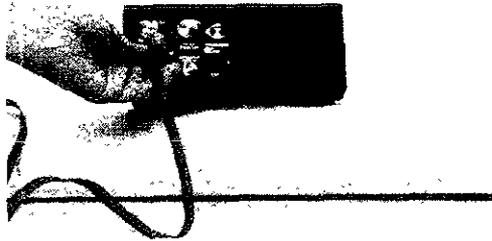
Figura [M16] Dibujo del Circuito Impreso del Convertidor utilizado en el Módulo Receptor.
Lado de los componentes.

Hoja de Sugerencias Para el Arranque Rápido del Equipo de Microondas

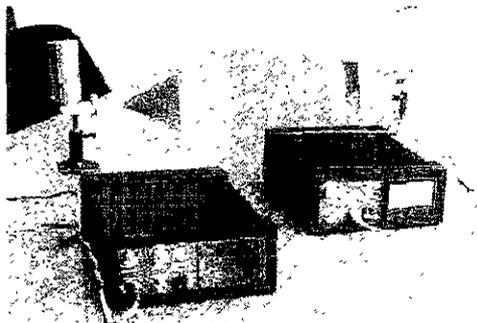
Secuencia de encendido.

Operación

- 1) Conectar las líneas de alimentación de los módulos de transmisión y de recepción en receptáculos de 110 Volts; 60HZ.
- 2) Conectar el detector al módulo de recepción, mediante el cable coaxial adjunto al equipo. Conectar el cable que parte del soporte del oscilador al módulo del transmisor. Se hace énfasis en esta conexión, debido a que **NO DEBE** ser encendido el módulo del transmisor sin su respectiva carga.



- 3) Situar las antenas del transmisor y del receptor, frente a frente y separadas 70 centímetros aproximadamente. Asegurarse que las antenas estén alineadas una con la otra a la misma altura. Como se aprecia en la figura.



- 4) Encender el módulo receptor y girar la perilla de *Ganancia*, aproximadamente a la mitad de su carrera. El mismo procedimiento se realiza con la perilla que tiene la leyenda *Nivel de Intensidad*.

- 5) En el módulo del transmisor, seleccionar modulación cuadrada; Encender el módulo y esperar alrededor de 30 segundos.
- 6) Girar la perilla que tiene el nombre asociado de *Voltaje Reflector*, hasta que en el lado receptor se obtenga una señal. En caso de ser necesario, ajustar el control de *Ganancia* en el receptor para mantener un nivel medio de audio. Lo mismo sucede con el de *Nivel de Intensidad*, para tener desplazada la aguja alrededor de la mitad de la carátula.
- 7) Continuar girando la perilla de control de voltaje en el transmisor.
- 8) Ajustar el voltaje en el transmisor para obtener un máximo de señal.

- [12] John D. Kraus
Antennas
Mc Graw Hill USA. 2ed. 1988
- [13] AD Olver, PJB Clarricoats.
Microwave Horns and Feeds
IEEE Press. USA. 1994
- [14] Edward C. Jordan / Keith G. Balman.
Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes.
Paraninfo. España 3ed. 1983
- [15] D.L. Mensa and K. Vaccaro
Near Field to Far Field Transformation of RCS Data.
Proceedings of the 1995 Antenna Measurements and Techniques Association
Symposium. 1995
- [16] Donald P. Hilliard
Near Field and Far Field RCS Measurements
Radar Reflectivity Laboratory. Naval air warfare center weapons división
Point Mugu, California 1999

Manuales

- [17] Manual de empleo del XR8038A.
EXAR corporation. USA. 1999
- [18] Manual de diseño del ICL 7106, ICL 7107
Intersil. USA. 2000
- [19] Manual de optoelectrónica
Monsanto. USA 1990
- [20] Manual de componentes
National Semiconductors. USA 1990
- [21] Texas Instruments
Analog applications. USA. Nov / 2000

Consultas en red

- [22] Hallen laboratory
North Carolina state University Physics Department
<http://www.physics.ncsu.edu>

- [23] Amplifier design
LM390 Power amplifier

- [24] <http://www.nsc.com>
- [25] <http://www.national.com>
- [26] <http://www.ti.com>
- [27] <http://www.cea.com/cai>
- [28] Time-dependent X-ray Bragg diffraction
F.N. Chukhovskii and E.Forster.
<http://www.xro.physik.uni-jena.de/abstracts>
- [29] <http://www.techbooks.co.uk/artech>
- [30] <http://www.neutron.anl.gov>
- [31] <http://www.physics.unl.edu>

Guías de uso de equipo y / o desarrollo de experimentos

- [32] Philips
Basic experiments I
Philips USA, 1970

- [33] Microwave propagation and polarization, antennas and reflectors
Under graduate microwaves laboratory
UNM. Department of electrical and computer engineering.
USA. 1999