



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Investigación en Física

Ingeniería en Tecnología Electrónica

Tesis:

“Sistema de Transmisión Inalámbrica de Señales de Microondas
Utilizando Antenas Microstrip y Heterodinaje Óptico”

Dirigida Por:

Dr. Alejandro García Juárez

Presentada Por:

Luis Fernando Alonso Mozqueda



Hermosillo, Sonora, México

Septiembre 2011

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

A mis padres:

“Gracias por todo el apoyo que me brindaron,

los quiero mucho”.

Agradecimientos

Quiero Agradecer a todas las personas que me brindaron su apoyo a lo largo de este proyecto y a lo largo de toda la carrera que debido al apoyo de ellos fue gran motivación para la culminación de este trabajo.

Así mismo, se agradece también al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindar el apoyo económico al proyecto número 102046 sin el cual, no hubiera sido posible realizar este proyecto de investigación.

Agradezco a la Universidad de Sonora, y al programa de Ing. en Tecnología Electrónica por permitir obtener esta oportunidad de haber formado parte del cuerpo de estudiantes, y por facilitarme de las instalaciones y equipo necesarias para la realización de este trabajo.

Quiero dar las gracias. Al Dr. Alejandro por su apoyo incondicional a lo largo de todo el proyecto y por depositar su confianza en mí para realizar proyectos con él y a lo largo de mis estudios profesionales y brindar me dé su ayuda cuando la requería. Gracias.

Al Dr. Armando por sus comentarios y observaciones a lo largo de esta tesis, Al Dr. Roberto por ser una parte importante dentro de esta presentación. Gracias.

Quiero Agradecer a la Dra. Milka por haber sido mi maestra ya que gracias a ella despertó mi gusto por las comunicaciones. Ala Dra. Alicia por brindarme muchas de las facilidades a lo largo de su estancia como coordinadora del programa. Gracias.

Quiero Agradecer a Mis Padres por brindarme siempre de su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida ya que sin ellos difícilmente hubiera logrado estar en donde me encuentro ahorita gracias por aguatarme mi manera de ser y lo que le falte en adelante. Doy Gracias a mis Hermanos que me impulsaron a estar siempre concentrado y enfocado en mis estudios y por su apoyo incondicional Los Quiero Mucho. Gracias.

Y Finalmente quiero darle las gracias a todos mis compañeros y amigos que siempre estuvieron a mi lado a lo largo de todo el programa que me apoyaban, aconsejaban, y sobretodo que aguantaban mi forma de ser y comprender mi manera de trabajar muy bien bajo presión, por todos los momentos que se compartieron juntos también se agradece, y Gracias a TODOS ustedes, en listarlos sería muy largo, pero cada uno de ustedes sabe bien a quien me refiero... GRACIAS =)

MUCHAS GRACIAS !

Índice General

Contenido

Capítulo 1: Introducción General.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivo	3
1.4 Organización de este trabajo	3
Capítulo 2: Sistemas de Comunicación.....	5
2.1 Introducción	5
2.2 Caracterización de Señales en el Dominio del Tiempo	5
2.2.1 Definición de una Señal.....	5
2.2.2 Clasificación de las Señales	5
2.3 Caracterización de Señales en Dominio de la Frecuencia	8
2.3.1 Series de Fourier.....	8
2.3.2 Definición de Transformada de Fourier	12
2.3.3 Ancho de Banda	14
2.4 Caracterización de los Sistemas	15
2.4.1 Definición de Sistema.....	15
2.4.2 Propiedades de los Sistemas	15
2.4.3 Respuesta en Frecuencia de un Sistema	17
2.4.4 Filtros.....	19
2.4.5 Modelado de un Sistema de Comunicaciones Analógico	21
2.5 Formatos de Modulación Analógica.....	23
2.5.1 Modulación en Amplitud (AM).....	24
2.5.2 Demodulación en Amplitud	25
2.7 Conclusión	27
Referencias.....	28
Capítulo 3: Sistema Optoelectrónico para Caracterización de Antenas.....	29
3.1 Introducción	29
3.2 Conceptos Fundamentales.....	30

3.2.1 Impedancia	30
3.2.2 Razón De Voltaje De Onda Estacionaria (VSWR)	31
3.2.3 Polarización	32
3.2.4 Patrones de Radiación.....	32
3.2.5 Ancho de Banda	33
3.2.6 Ganancia.....	33
3.2.7 Directividad	34
3.3 Tipos de Antenas.....	34
3.3.1 Microstrip	34
3.3.2 Yagi-Uda	35
3.4 Caracterización de Antenas.....	36
3.4.1 Caracterización Eléctrica	37
3.4.2 Caracterización Óptica	40
3.5 Esquema Experimental para Caracterización de Antenas	41
3.5.1 Resultados Experimentales del Proceso de Caracterización de Antenas.....	46
3.6 Conclusiones.....	48
Referencias.....	50
Capítulo 4: Arreglo Experimental para la Transmisión Inalámbrica de Señales de Televisión	51
4.1 Introducción	51
4.2 Esquema experimental de la transmisión de señales de TV	52
4.3 Resultados experimentales del sistema comunicación inalámbrica.....	54
4.4 Caracterización del sistema (DAQ ESA-LabVIEW)	56
4.6 Conclusiones.....	58
Referencias.....	59
Capítulo 5: Conclusiones Generales y Perspectivas	60
5.1 Aplicaciones potenciales en perspectiva	60
5.2 Conclusiones Generales	61

Capítulo 1: Introducción General

1.1 Introducción

Dentro de las distintas ramas que la electrónica nos ofrece, se encuentran la optoelectrónica y las comunicaciones, dos de las áreas que actualmente han ido en constante crecimiento, debido a la gran demanda que existe en el mercado, se están explorando nuevas técnicas de comunicación que permiten hacer un buen uso de los recursos actuales para lograr sistemas de transmisión alternativos que logren aprovechar de manera adecuada el ancho de banda disponible. Estas áreas se encuentran en desarrollo y todo con la finalidad de buscar dentro del espectro de radiofrecuencias un espacio en el cual sea factible la transferencia de datos de una manera segura y efectiva y sobre todo rápida. Actualmente con la inducción de la fibra óptica al mercado, como fuente alternativa a los esquemas eléctricos que existen, nos da una muy amplia gama de opciones para la transmisión de datos a grandes distancias y a muy altas velocidades de manera confiable y estable.

Ya que la tecnología se encuentra en constante desarrollo, el mantenerse siempre actualizado con tecnología de punta es muy difícil ya que sus costos de implementación son muy elevados. Sin embargo actualmente existen distintas opciones, esquemas alternativos, que nos permiten lograr las tareas requeridas. La aparición de los esquemas híbridos en el mercado surge como una opción en un sistema de transmisión de alta frecuencia económico y de vanguardia. Es por eso que la aparición de esquemas híbridos en el mercado, permiten acoplar elementos ópticos con elementos eléctricos logrando obtener resultados satisfactorios en el proceso de transmisión y recepción de información analógica y digital.

En este contexto, este trabajo de tesis propone la implementación de un sistema híbrido, que utiliza fotónica de microondas, para la generación de señales de radiofrecuencia mediante esquemas ópticos como el Heterodinaje Óptico, y la utilización de estas señales para distintos fines, particularmente para la caracterización de dispositivos eléctricos como antenas, filtros, etc. Y a la vez para la implementación dentro de sistemas de comunicación inalámbricos.

La fotónica de microondas es un área interdisciplinaria que estudia la interacción entre las microondas y la óptica, para aplicaciones como redes de banda ancha inalámbricas, redes de sensores, radares, comunicaciones satelitales, instrumentación, entre otros.

Estos sistemas alternativos nos brindan facilidad de realizar mediciones sin la necesidad de utilizar instrumentos de medición muy costosos y especializado, son fáciles de encontrar dentro de un laboratorio y además presentan esquemas alternativos a los actuales y posibles modelos prácticos para su utilización en laboratorios dentro de programas afines.

1.2 Justificación

Dentro de los últimos años, ha existido un interés cada vez más grande en la investigación y diseño de nuevos sistemas de comunicación punto a punto inalámbricos, debido a la gran conectividad que presentan en interiores o así como también para la comunicación entre sí de grandes infraestructuras. Actualmente algunas compañías de telecomunicaciones utilizan sistemas basados en antenas omnidireccionales, propiamente en los ruteadores inalámbricos para la interconexión y el intercambio de información entre dispositivos tales como computadoras portátiles que se encuentren en el alcance de estas interfaces.

Conociendo esto se propone un sistema de comunicaciones con el cual se pueda transmitir y recibir información de una manera en la cual las pérdidas de información se minimicen y a la vez se pueda cubrir mayores distancias.

Con la finalidad de la implementación de esquemas alternativos a los esquemas actuales que ya se están manejando y presentar una opción más económica a las existentes.

1.3 Objetivo

Con este trabajo de tesis se pretende lograr manipulación de las técnicas de generación de señales de microondas a partir de esquemas ópticos como el caso de el heterodinaje óptico, con la finalidad de utilizarlas para realizar barridos de frecuencia y poder caracterizar antenas, y una vez obteniendo estos resultados, se utiliza el esquema óptico nuevamente pero esta vez sintonizado a cierta frecuencia de tal modo que genere una señal que nos sea útil para la propagación de señales de televisión a través del espacio libre.

1.4 Organización de este trabajo

Para lograr el objetivo propuesto en esta tesis se van desarrollando los aspectos teóricos que involucrarán desde el funcionamiento de las señales hasta el esquema para la propagación de señales de televisión utilizando esquemas híbridos. Además se incluyen los esquemas propuestos para la experimentación de los cuales los resultados se describen a lo largo del trabajo.

La presente tesis se encuentra organizada de la siguiente manera.

En el capítulo 2, se estudian todos los aspectos y conceptos teóricos que intervienen dentro del sistema de comunicación propuesto en esta tesis.

En el capítulo 3, se presentan los distintos parámetros que involucran a las antenas características de las mismas, así como los distintos tipos de antenas que se utilizaron en este trabajo y seguido de la generación de señales de microondas mediante la técnica óptica Heterodina, así como la utilización de la técnica heterodina para realizar a caracterización de antenas.

En el capítulo 4, se describe una aplicación para nuestro esquema óptico acoplado a un sistema eléctrico, formando así un sistema híbrido, para la propagación de señales, en este caso televisión describiendo los resultados obtenidos.

Y Finalmente, en el capítulo 5, Se muestran las propuestas a futuro de este tema de tesis así como también las conclusiones generales.

Capítulo 2: Sistemas de Comunicación

2.1 Introducción

En este capítulo se presentan los distintos elementos que conforman un sistema de comunicación, cubriendo de esta manera distintos conceptos tales como señales, sus tipos y propiedades. Este capítulo está conformado por la caracterización de las señales así como en el dominio del tiempo y también en el dominio de la frecuencia.

Se mencionan también las características y propiedades de los sistemas de comunicación, elementos necesarios para la elaboración de un esquema de comunicación básico, filtros, y la matemática necesaria para su comprensión, Y finalmente se muestra en qué consisten las densidades espectrales obtenidas de un sistema así como su función de correlación

2.2 Caracterización de Señales en el Dominio del Tiempo

2.2.1 Definición de una Señal

En sistemas de comunicaciones una señal se representa por una función del tiempo la cual describe una variedad de fenómenos físicos que contienen algún tipo de información (voz, voltaje o corriente, sonido, imagen o video, temperatura, etc.)[1].

2.2.2 Clasificación de las Señales

2.2.2.1 Continua, Discreta y Digital

- Si la señal puede tomar cualquier valor en cualquier instante de tiempo $x(t)$, es decir, si es una función continua en el tiempo y continua en amplitud, o analógica como puede verse en la figura 2.1. La variable tiempo se representa mediante la letra t en el eje x , y la señal mediante $x(t)$ en el eje y .

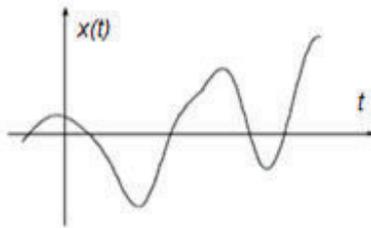


Figura 2.1 Señal Continua.

- Si la señal es evaluada en valores enteros, está puede tomar cualquier valor real o complejo. Entonces se dice que la señal es discreta., Un ejemplo de este tipo de señales se ilustra en la figura 2.2. La variable independiente en la figura 2.2 se representa con la letra n y la señal mediante $x[n]$.

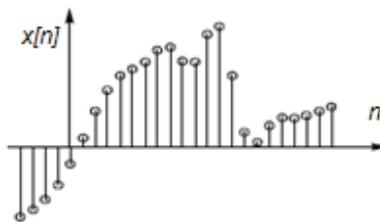


Figura 2.2 Señal Discreta.

- Si la señal es continua en el tiempo y discreta en amplitud, es decir, la señal está definida en todo instante de tiempo t , pero únicamente puede tomar ciertos valores de amplitud prefijados, que no tienen por qué ser reales, como puede verse en la figura 2.3. Se representa de igual forma que la señal continua, es decir mediante $x(t)$.

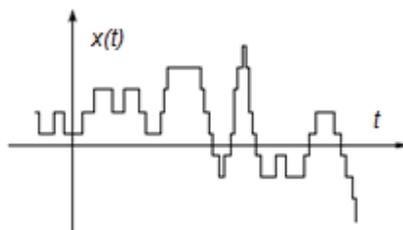


Figura 2.3 Señal Discreta en Amplitud.

- Si la señal es discreta tanto como en la variable tiempo como en amplitud, se dice que la señal es digital como puede verse en la figura 2.4. Se representa igual que la señal discreta $x[n]$. Mientras que la variable tiempo puede tomar únicamente valores enteros, la amplitud toma valores discretos (eje Y), pero que no tienen por qué ser enteros. Normalmente esta señal digital se ve sometida a un proceso de codificación convirtiéndola en digital.

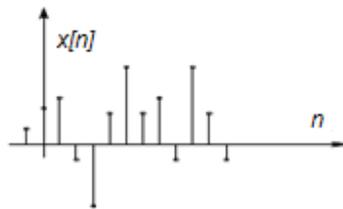


Figura 2.4 Señal Digital.

Una señal analógica $x(t)$ como se observa en la figura 2.5(a), puede convertirse a una señal discreta. Como resultado de un proceso denominado muestreo, la señal discreta $x[n]$ que se obtiene, es como la que se ilustra en la figura 2.5(b). Si ahora se realiza otro proceso denominado cuantificación, es posible discretizar y codificar a la amplitud obteniéndose así una señal digital $x[n]$, tal y como se observa en la figura 2.5(c). Este proceso es denominado digitalización [1].

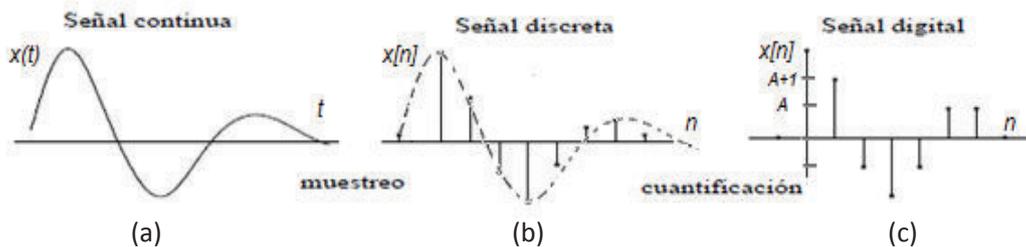


Figura 2.5 Digitalización de un señal continua (a) señal después del muestreo (b) y una vez cuantificada (c).

2.2.2.2 Periódica y No Periódica

Una señal periódica es aquella que satisface la condición dada por la ecuación (2.1).

$$g(t) = g(t + T_0) \quad \forall t \quad \text{con } T_0 \text{ constante} \quad (2.1)$$

El valor menor de T_0 que satisface esta condición se denomina período de $g(t)$. El período T_0 define un ciclo completo de $g(t)$.

Cualquier otra señal que no satisfaga la condición dada por la ecuación (2.1) es una señal no periódica.

2.2.2.3 Determinística y Aleatoria

Una señal determinística es aquella que no se sabe con anterioridad su valor en cualquier instante de tiempo. Se especifica completamente como una función del tiempo.

Una señal aleatoria es cuando existe incertidumbre en el valor que toma esa señal en cada instante de tiempo. Se puede considerar dicha señal como perteneciente a un conjunto infinito de señales de modo que no se sabe cuál de ellas es la que realmente define nuestra señal.

2.3 Caracterización de Señales en Dominio de la Frecuencia.

2.3.1 Series de Fourier

Sea $g_p(t)$ una señal periódica con período T_0 . Utilizando la expansión en series de Fourier se puede representar la señal como una suma infinita de senos y cosenos según la ecuación (2.2) donde a_n y b_n son las amplitudes desconocidas de los términos de la serie y representan los coeficientes de Fourier.

$$g_p = a_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) \right] \quad (2.2)$$

La cantidad $\frac{n}{T_0}$ representa el n-ésimo armónico de la frecuencia fundamental $f_0 = 1/T_0$. Las funciones $\cos\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right)$ y $\sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right)$ se denominan funciones básicas. Estas funciones básicas forman un conjunto ortogonal en el intervalo T_0 y cumplen las relaciones de las ecuaciones (2.3) [1].

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} \cos\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = \begin{cases} \frac{T_0}{2} & m = n \\ 0 & m \neq n \end{cases} \quad (2.3.1)$$

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} \cos\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = 0 \quad \forall m, n \quad (2.3.2)$$

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} \sin\left(\frac{2\pi mt}{T_0}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) dt = \begin{cases} \frac{T_0}{2} & m = n \\ 0 & m \neq n \end{cases} \quad (2.3.3)$$

Para determinar el coeficiente a_0 es necesario integrar en T_0 en ambos lados de la ecuación (2.1) y simplificar, dando como resultado la ecuación (2.4) que corresponde con la media temporal.

$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) dt \quad (2.4)$$

Para determinar a_n antes y b_n es necesario emplear las integrales de la ecuación (2.5)

$$a_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) dt \quad n = 1, 2, \dots$$

$$b_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) \sin\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) dt \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.5)$$

Para que una señal pueda representarse mediante series de Fourier se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

- La función $g_p(t)$ tome un valor único para cada instante t en un intervalo T_0 dado.
- La función $g_p(t)$ tenga un número finito de discontinuidades en un intervalo T_0 dado.
- La función $g_p(t)$ tenga un número finito de máximos y mínimos en un intervalo T_0 dado.
- La función $g_p(t)$ sea absolutamente integrable en T_0 , es decir, se tiene que cumplir la ecuación (2.6).

$$\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} |g_p(t)| dt < \infty \quad (2.6)$$

Estas condiciones son comúnmente cumplidas por las señales, son denominadas condiciones de Dirichlet.

La expansión en series de Fourier se puede representar de una manera más simple y elegante utilizando para ello las funciones exponenciales complejas. Para ello hay que tener en cuenta las relaciones dadas por la ecuación (2.7).

$$\cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) = \frac{1}{2} \left[\exp\left(\frac{j2\pi n t}{T_0}\right) + \exp\left(-\frac{j2\pi n t}{T_0}\right) \right] \quad (2.7)$$

$$\sin\left(\frac{2\pi nt}{T_0}\right) = \frac{1}{2j} \left[\exp\left(\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) - \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) \right]$$

Sustituyendo las relaciones dadas por la ecuación (2.7) en la ecuación (2.2) se obtiene la ecuación (2.8).

$$g_p(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[(a_n - jb_n) \exp\left(\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) + (a_n + jb_n) \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) \right] \quad (2.8)$$

Si ahora llamamos C_n al coeficiente complejo definido en la ecuación (2.9).

$$C_n = \begin{cases} a_n - jb_n, & n > 0 \\ a_0, & n = 0 \\ a_n + jb_n, & n < 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

Entonces la expresión de la ecuación (2.8) se transforma en la siguiente ecuación.

$$g_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp\left(\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) \quad (2.10)$$

Donde C_n esta definido por

$$C_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) \exp\left(-\frac{j2\pi nt}{T_0}\right) dt \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.11)$$

Esta expansión se suele denominar serie de Fourier exponencial compleja. De esta manera dada una señal $g_p(t)$ utilizando la ecuación (2.11) se pueden calcular los coeficientes de la serie compleja de Fourier C_n .

La representación de una señal periódica en una serie de Fourier es equivalente a la superposición de un conjunto de señales senoidales y cosenoidales cuyas componentes de frecuencias se ubican en $f_0, 2f_0, 3f_0, \dots$ etc.

Los coeficientes C_n en general van a ser números complejos, por lo tanto van a poder ponerse según la ecuación (2.12).

$$C_n = |C_n|e^{j\angle C_n} \quad (2.12)$$

$|C_n|$ representa la amplitud del n-ésimo armónico. La representación de $|C_n|$ en función de la frecuencia se denomina amplitud discreta del espectro. Por otro lado $\angle C_n$ es la fase de cada armónico. La representación de $\angle C_n$ en función de la frecuencia se denomina la fase discreta del espectro.

En el caso de que $g_p(t)$ sea real, de la ecuación (2.11) se deduce que la amplitud discreta del espectro es una función par, mientras que la fase discreta del espectro es una función impar como se resume en la ecuación (2.13).

$$C_{-n} = C_n^* \Rightarrow \begin{cases} |C_n| = |C_{-n}|, & \text{par} \\ \angle C_n = -\angle C_{-n}, & \text{impar} \end{cases} \quad (2.13)$$

2.3.2 Definición de Transformada de Fourier

Para una señal no periódica $g(t)$ en términos de señales exponenciales. Primero se construye una señal $g_p(t)$ de período T_0 de tal modo que $g(t)$ define un ciclo de la función periódica. En ese caso la relación entre $g(t)$ y $g_p(t)$ viene dada por la ecuación (2.14) [1].

$$g(t) = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} g_p(t) \quad (2.14)$$

Si ahora se considera la representación en serie de Fourier de $g_p(t)$ dada por la ecuación (2.10), y si se definen los parámetros $\Delta f, f_n$ y $G(f_n)$ según la ecuación (2.15),

para el intervalo $-\frac{T_0}{2} \leq t \leq \frac{T_0}{2}$, entonces la ecuación (2.10) será la ecuación (2.16), y la ecuación (2.11) será la ecuación (2.17).

$$\begin{aligned}\Delta f &= \frac{1}{T_0} \\ f_n &= \frac{n}{T_0} \\ G(f_n) &= C_n T_0\end{aligned}\tag{2.15}$$

$$g_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(f_n) \exp(j2\pi f_n t) \Delta f\tag{2.16}$$

$$G(f_n) = \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g_p(t) \exp(-j2\pi f_n t) dt\tag{2.17}$$

Ahora suponiendo que $T_0 \rightarrow \infty$ o lo que es lo mismo que $\Delta f \rightarrow 0$, la frecuencia discreta f_n tenderá a una frecuencia continua que se puede representar mediante f . Entonces la sumatoria de la ecuación (2.16) se convierte en una integral que nos da el área bajo de la curva de la función $G(f)\exp(j2\pi f t)$. Entonces las ecuaciones (2.16) y (2.17) se transforman en las ecuaciones (2.18) y (2.19) respectivamente.

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \exp(j2\pi f t) df\tag{2.18}$$

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(-j2\pi f t) dt\tag{2.19}$$

Según la ecuación (2.18) podemos calcular $g(t)$ a partir de $G(f)$, mientras que según la ecuación (2.19) podemos calcular $G(f)$ a partir de $g(t)$, por lo tanto las ecuaciones (2.18) y (2.19) son dos representaciones equivalentes de una señal dada. $G(f)$ se denomina

transformada de Fourier de $g(t)$, mientras que $g(t)$ sería la transformada inversa de Fourier de $G(f)$.

Para que una función $g(t)$ tenga transformada de Fourier es también necesario que se cumplan las condiciones de Dirichlet, antes mencionadas.

2.3.3 Ancho de Banda

Una señal se dice que está en banda base cuando se puede considerar que su transformada de Fourier está limitada a la banda de frecuencias $-W \leq f \leq W$, es decir, que fuera de ese intervalo vale cero. En ese caso el ancho de banda se define como W .

Una señal se dice que es pasa bandas cuando se puede considerar que su transformada de Fourier está limitada a las bandas $-W_2 \leq f \leq -W_1$ y $W_1 \leq f \leq W_2$. En este caso se puede definir el ancho de banda como $W_2 - W_1$.

En la figura 2.6 se puede ver un ejemplo de una señal en banda base, mientras que en la figura 2.7 puede verse un ejemplo de una señal en pasa bandas.

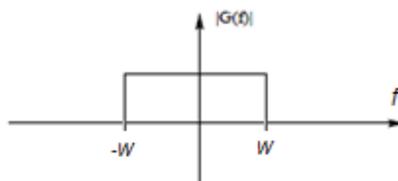


Figura 2.6 Señal banda base

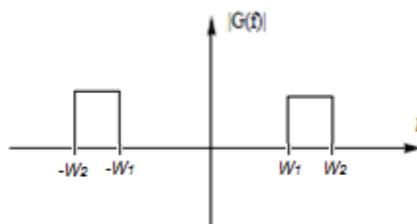


Figura 2.7 Señal Paso Banda

2.4 Caracterización de los Sistemas

2.4.1 Definición de Sistema

Un sistema puede definirse como un dispositivo físico que proporciona una señal de salida a partir de una señal de entrada. La señal de entrada a menudo se denomina excitación mientras que la señal de salida se denomina respuesta.

Un sistema implica la transformación o representación de una señal de entrada $x(t)$ en una señal de salida $y(t)$. Se suele representar normalmente mediante una caja negra como puede verse en la figura 2.8. El operador $T[\cdot]$ es el que realiza el mapeo entre la señal de entrada y la de salida. Dicha operación se puede poner como se indica en la ecuación (2.23)[1].

$$y(t) = T[x(t)] \quad (2.23)$$

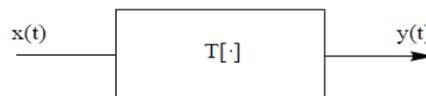


Figura 2.8 Representación de un Sistema.

2.4.2 Propiedades de los Sistemas

Linealidad

Se dice que un sistema es lineal si dados a y b números complejos; $x_1(t)$, $x_2(t)$, $y_1(t)$ e $y_2(t)$ señales complejas; e $y_1(t) = T[x_1(t)]$ e $y_2(t) = T[x_2(t)]$ son las salidas del sistema para las entradas $x_1(t)$ y $x_2(t)$ respectivamente; se cumple la ecuación (2.24).

$$ay_1(t) + by_2(t) = T[ax_1(t) + bx_2(t)] \quad (2.24)$$

Invarianza Temporal

Se dice que un sistema es invariante en el tiempo si dado t_0 número real; $x(t)$ e $y(t)$ señales complejas; e $y(t) = T[x(t)]$ es la salida del sistema para la entrada $x(t)$; se cumple la ecuación (2.25).

$$y(t - t_0) = T[x(t - t_0)] \quad (2.25)$$

Estabilidad

Se dice que un sistema es estable si la respuesta a cualquier señal compleja de entrada acotada, $|x(t)| < M$ está también acotada, es decir, la salida del sistema debe cumplir la ecuación (2.26).

$$y(t) = T|x(t)| \quad \text{con} \quad |y(t)| < N \quad (2.26)$$

Memoria

Se dice que un sistema no tiene memoria o es sin memoria si la salida en el instante t_0 real, $y(t_0)$ sólo depende de la entrada al sistema en ese mismo instante t_0 , $x(t_0)$, siendo $y(t) = T[x(t)]$ la salida del sistema cuando la entrada es $x(t)$. Se tiene que cumplir por lo tanto la ecuación (2.27).

$$y(t_0) = f[x(t_0)] \quad (2.27)$$

Causalidad.

Se dice que un sistema es causal si la salida de dicho sistema en el instante t_0 , $y(t_0)$, sólo depende del pasado y del presente de la señal de entrada $x(t)$, siendo $y(t) = T[x(t)]$ la señal de salida del sistema cuando la entrada es $x(t)$. Se tiene que cumplir entonces la ecuación (2.28)[1].

$$y(t_0) = f[x(\tau)] \quad \text{para } \tau \leq t_0 \quad (2.28)$$

2.4.3 Respuesta en Frecuencia de un Sistema

Sea un sistema LTI (linear e Invariable en el tiempo) cuya respuesta al impulso es $h(t)$ y cuya entrada sea una exponencial compleja de amplitud unitaria y frecuencia f según la ecuación (2.29).

$$x(t) = \exp(j2\pi ft) \quad (2.29)$$

La salida vendrá dada por la convolución de dicha entrada con la respuesta al impulso $h(t)$, por lo tanto, se va a tener el desarrollo de la ecuación (2.30).

$$\begin{aligned} y(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \exp[j2\pi f(t - \tau)] d\tau \\ &= \exp(j2\pi ft) \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau \end{aligned} \quad (2.30)$$

Si ahora se define $H(f)$ como se muestra en la ecuación (2.31), se puede obtener la salida expresada mediante la ecuación (2.32).

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau \quad (2.31)$$

$$y(t) = H(f) \exp(j2\pi ft) \quad (2.32)$$

La respuesta de un sistema LTI a una exponencial compleja de frecuencia f y amplitud unitario es la misma exponencial compleja cuya amplitud viene multiplicada por un coeficiente constante $H(f)$ definido por la ecuación (2.31). $H(f)$ se denomina función de

transferencia. La respuesta al impulso de un sistema y su función de transferencia forman un par transformado de Fourier, es decir se cumplen las ecuaciones (2.33) y (2.34).

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \exp(-j2\pi ft) dt \quad (2.33)$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (2.34)$$

Una definición alternativa de $H(f)$ puede expresarse mediante la ecuación (2.35).

$$H(f) = \left. \frac{y(t)}{x(t)} \right|_{x(t)=\exp(j2\pi ft)} \quad (2.35)$$

Considerando una señal $x(t)$ la cual puede expresarse en su transformada de Fourier según la ecuación (2.36) o de forma equivalente en el límite como la ecuación (2.37).

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (2.36)$$

$$x(t) = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \sum_{\substack{k=-\infty \\ f=k\Delta f}}^{\infty} X(f) \exp(j2\pi ft) \Delta f \quad (2.37)$$

Por lo tanto la señal de entrada puede verse como una superposición de exponenciales complejas de amplitud incremental. Debido a que el sistema es lineal, la respuesta a la superposición de exponenciales complejas a la entrada se puede desarrollar mediante la ecuación (2.38), que comparándola con la expresión para la transformada de Fourier de la salida, resulta finalmente la ecuación (2.39).

$$\begin{aligned}
y(t) &= \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \sum_{\substack{k=-\infty \\ f=k\Delta f}}^{\infty} H(f)X(f)\exp(j2\pi ft)\Delta f \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} H(f)X(f)\exp(j2\pi ft) dt \\
Y(f) &= H(f)X(f)
\end{aligned} \tag{2.39}$$

Se puede describir de forma sencilla un sistema LTI en el dominio de la frecuencia, pues según la ecuación (2.39), la transformada de Fourier de la salida es igual al producto de la transformada de Fourier de la entrada por la función de transferencia del sistema. De aquí se deduce también que la convolución en el dominio del tiempo es equivalente a la multiplicación en el dominio de la frecuencia.

La función de transferencia de un sistema LTI va a ser una función compleja de la frecuencia y se va a poder poner como módulo y fase según la ecuación (2.40), donde $|H(f)|$ se denomina respuesta en amplitud y $\beta(f)$ respuesta en fase del sistema.

$$H(f) = |H(f)|\exp[j\beta(f)] \tag{2.40}$$

Si la respuesta al impulso $h(t)$ es real, la función de transferencia cumple la propiedad de simetría conjugada y por lo tanto la respuesta en amplitud es una función par, mientras que la respuesta en fase es una función impar de la frecuencia(2.41).

$$H(f) = H^*(-f) \Rightarrow \begin{cases} |H(f)| = |H(-f)|, \text{ función par} \\ \beta(f) = -\beta(-f), \text{ función impar} \end{cases} \tag{2.41}$$

Se define el ancho de banda de un sistema como el ancho de banda de la función de transferencia $H(f)$.

2.4.4 Filtros

Un filtro es un dispositivo que selecciona un conjunto de frecuencias y se utiliza para limitar el espectro de una señal en bandas específicas de frecuencia. Su respuesta en

frecuencia se caracteriza por ser pasa bandas y rechaza bandas ya sean frecuencias altas o frecuencias bajas. Las frecuencias dentro de las bandas de paso se transmiten a través del sistema con ninguna o con una pequeña distorsión, mientras que las frecuencias dentro de las bandas eliminadas son rechazadas por el sistema.

Un filtro ideal se caracteriza porque la respuesta en frecuencia del sistema dentro de las bandas de paso equivale a la unidad, mientras que en las bandas eliminadas es cero. Un filtro ideal es irrealizable temporalmente puesto que su respuesta al impulso tiene duración infinita, pero en muchos casos el suponer filtros ideales simplifica en gran medida los cálculos, mientras que el error cometido no es muy grande puesto que los filtros utilizados en la práctica son casi ideales.

Existen cuatro tipos importantes de filtros ideales:

- Pasa Bajas: Es un sistema que únicamente deja pasar las bajas frecuencias. Es equivalente al sistema banda base. Como se ilustra en la figura 2.8.

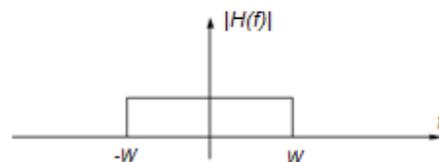


Figura 2.8 Filtro Pasa Bajas

- Pasa Altas: Es un sistema que únicamente deja pasar las altas frecuencias. Mostrado en la figura 2.9.

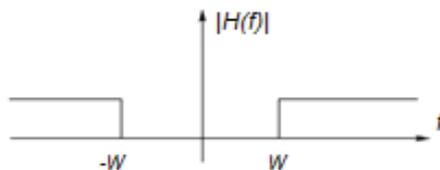


Figura 2.9 Filtro Pasa Altas

- Pasa Bandas: Es un sistema que únicamente deja pasar las frecuencias comprendidas dentro de un intervalo dado. Ver figura 2.10.

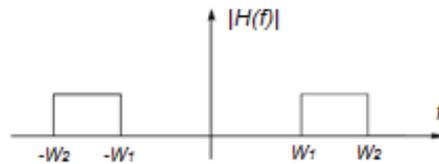


Figura 2.10 Filtro Pasa Bandas

- Elimina Bandas: Al contrario que el pasa bandas este filtro deja pasar todas las frecuencias excepto las frecuencias comprendidas dentro de un intervalo dado. Como se muestra en la figura 2.11.

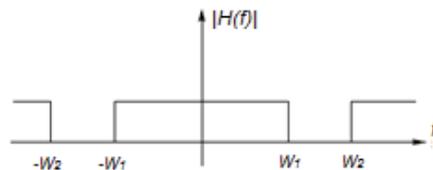


Figura 2.11 Filtro Elimina Bandas.

2.4.5 Modelado de un Sistema de Comunicaciones Analógico

El propósito de un sistema de comunicaciones es transmitir señales de información desde una fuente localizada en un punto del espacio hasta un destino localizado en otro punto diferente. El caso analógico es aquel en el que las señales transmitidas son continuas. Un esquema de comunicaciones analógicas básico se muestra en la figura 2.12.

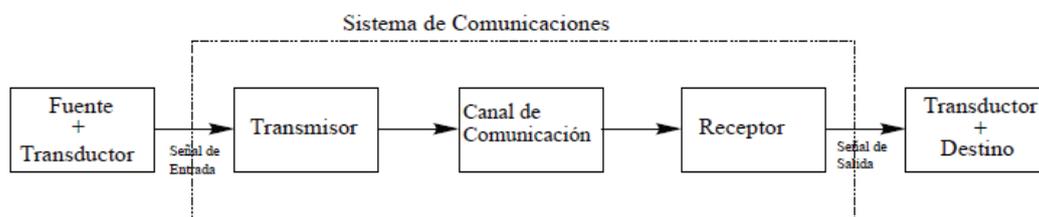


Figura 2.12 Modelo de un Sistema de Comunicaciones Analógico [1].

Por lo general la señal producida por la fuente no es eléctrica y debe ser convertida a señal eléctrica mediante un transductor. En el proceso de recepción la señal eléctrica deberá ser convertida de nuevo al formato original mediante otro transductor el cual realiza la función inversa del transductor de la fuente.

El transmisor modifica la señal de forma que sea adecuada para transmitirla por el canal de comunicación. Esto se realiza mediante un proceso denominado modulación, el cual consiste en variar algún parámetro de una señal sinusoidal de referencia denominada portadora según la información a transmitir.

El canal de comunicaciones es el medio físico por donde va a ir la información desde el origen al destino. Puede ser de diferentes tipos: una línea de transmisión, fibra óptica, enlace de radio, etc.

En nuestro caso particular se utilizó un enlace de radio el cual fue conformado por un esquema híbrido el cual consiste de una sección óptica y una sección eléctrica que para nuestro mismo sistema que nos proporciona una ventaja que es de fácil manejo y operación y altamente configurable para transmitir distintos tipos de información.

En el canal de comunicación y a lo largo del de este la señal se degrada y distorsiona debido a no linealidades de la respuesta en frecuencia del canal de comunicación. Otras fuentes de degradación en el canal son el ruido y las interferencias. El ruido es debido a las variaciones aleatorias de los electrones en el medio, mientras que las interferencias son debidas a la presencia de otros canales de comunicación cercanos. La distorsión y el ruido son los principales problemas en los sistemas de comunicaciones. El transmisor y el receptor deben ser diseñados para minimizar estos problemas introducidos por el canal de comunicaciones.

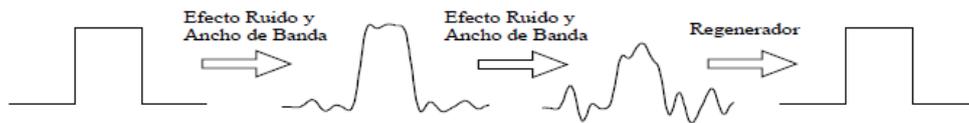


Figura 2.13 Procesado realizado por un Repetidor Regenerador para recuperar la señal original.

El receptor debe regenerar la señal en el formato eléctrico original, probablemente con cierta degradación residual. El proceso realizado por el receptor se denomina demodulación y es el proceso inverso a la modulación realizada en el transmisor. Entonces debido principalmente a la presencia de ruido y distorsión en el canal de comunicaciones, la señal recuperada no va ser exacta a la original. Dependiendo del esquema de modulación elegido, el efecto global de la distorsión y el ruido puede ser despreciable.

En todo sistema de comunicaciones hay que intentar ahorrar potencia transmitida y ancho de banda ocupado, ya que estos implican, en caso de mal uso, incremento del costo del sistema. Dependiendo del sistema, uno de los parámetros puede ser más importante que el otro. Así podemos tener dos tipos de sistemas:

- Sistemas limitados por potencia transmitida, como por ejemplo los sistemas vía satélite.
- Sistemas limitados por ancho de banda, como por ejemplo el canal telefónico.

2.5 Formatos de Modulación Analógica

Modulación es el proceso en el cual algunas características de alguna señal portadora (amplitud, frecuencia, fase) son modificadas en función de otra señal denominada señal moduladora, que para el caso de comunicaciones se denomina señal de información, y todo esto con la finalidad de que la información pueda ser propagada a

través del espacio libre y/o el canal de información, una señal en este estado se denomina señal modulada.

Alguna forma de modulación es siempre requerida en un sistema de RF para transportar una señal en banda base de su forma original a un espectro de señal de RF específica. Existen muchos tipos de modulaciones, por mencionar algunas, AM, FM, Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK), Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), Modulación por desplazamiento de fase (PSK), Entre otras. Las modulaciones AM y FM son clasificadas como técnicas de modulación analógicas, mientras que las otras son modulaciones digitales [2]. En esta tesis se describe la modulación y demodulación AM debido a que es la que utilizamos en nuestro sistema de comunicación inalámbrica.

2.5.1 Modulación en Amplitud (AM)

La modulación analógica utiliza una señal en banda base (señal moduladora) para variar una de las 3 variables: amplitud A_c , frecuencia $(\omega_1 - \omega_2) = \omega_c = 2\pi f_c$; o fase $(\phi_1 - \phi_2) = \Delta\phi$.

La amplitud modulada funciona variando el voltaje o amplitud de una señal en relación a la información a mandar. Por ejemplo como se observa en la figura 2.14.

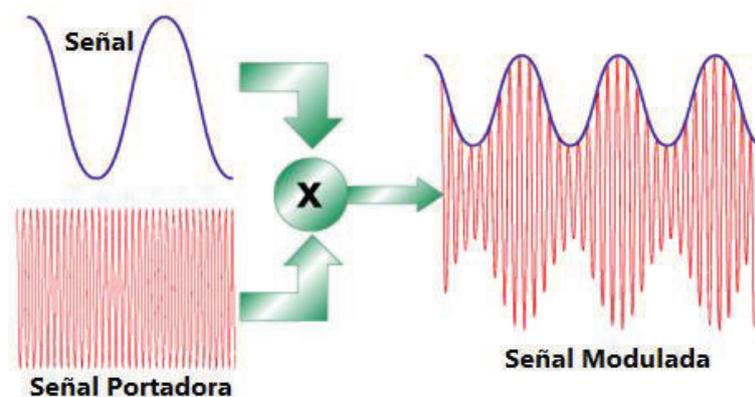


Figura 2.14 Señal AM en el dominio del tiempo [3].

Si se considera una señal moduladora (señal de información) como (2.42).

$$g_s(t) = A_s \cos(\omega_s \cdot t) \quad (2.42)$$

Y una señal portadora como (2.43).

$$g_p(t) = A_p \cos(\omega_p \cdot t) \quad (2.43)$$

Aplicando la transformada de Fourier con la propiedad de modulación a la ecuación 2.43, podemos encontrar que la densidad espectral de $g_p(t)$ como se muestra en la ecuación 2.44.

$$G(f) = \frac{1}{2}S(f - f_c) + \frac{1}{2}S(f + f_c) \quad (2.44)$$

Por lo tanto la modulación en amplitud transporta la frecuencia de una señal por $\pm f_c$ Hertz, pero deja la forma espectral sin alteración Este tipo de modulación es llamado portadora suprimida ya que la densidad de $g_s(t)$ no tiene una señal portadora identificable, sin embargo el espectro está centrado a la frecuencia de f_c [4].

2.5.2 Demodulación en Amplitud

Para recuperar la señal de información $g_s(t)$ de la señal $g_p(t)$ se requiere una traslación de frecuencia para desplazar el espectro a su posición original. Este es el proceso denominado demodulación o detección. Debido a que la propiedad de modulación de la transformada de Fourier es útil en traslación espectral para modulación,

entonces la utilizamos nuevamente para desmodular [4]. Asumiendo que $g_s(t) = A_s \cos(\omega_s \cdot t)$, es la señal transmitida, tenemos según la ecuación 2.45

$$g_s(t) \cos(\omega_s t) = s(t) \cos^2 \omega_s t = \frac{1}{2}s(t) + \frac{1}{2} \cos 4\omega_s t \quad (2.45)$$

Y tomando la transformada de Fourier en ambos lados de la ecuación 2.45 y utilizando la propiedad de la modulación obtenemos la ecuación 2.46

$$\mathfrak{F}[g_s(t) \cos(\omega_s t)] = \frac{1}{2}S(f) + \frac{1}{4}S(f + 2f_c) + \frac{1}{4}S(f - 2f_c) \quad (2.46)$$

El proceso matemático descrito en esta sección puede ser obtenido mediante la convolución del espectro de la señal recibida con el de la señal portadora. Un filtro pasa-bajas es requerido para separar los componentes de doble frecuencias del espectro en las frecuencias originales. Para este filtro requerimos que este cuente con una frecuencia de corte $f_{corte} > 2f_m$ para recuperar la señal íntegramente. En este caso f_m representa la frecuencia de la información [4].

2.7 Conclusión

En este capítulo se presentaron los conceptos y definiciones necesarias para la elaboración de un sistemas de comunicaciones, para nuestro sistema solamente se utilizarán sistemas analógicos en la propagación, conceptos tales como señales continuas en el tiempo, analizadas temporalmente y espectralmente, y así conocer cómo es posible propagar una señal a través de distintos medios(canal de información, espacio libre, etc.) como es mencionado, y una vez que esta señal sea propagada mediante el transmisor se puede tener un resultado aproximado al que esperamos, en el extremo del receptor.

Se hace mención de distintas maneras de manipular una señal, en el caso del filtraje, ya que podemos eliminar armónicos frecuenciales o ruidos indeseados para lograr un sistema de comunicaciones más preciso.

De esta manera, es importante tener presente todos estos parámetros que influyen en un sistema y así poder evaluar si es necesario modificar parámetros que podrían afectar nuestro esquema de transmisión.

Referencias

[1] Marcos Martin Fernández, “Señales y Sistemas de Comunicación”, Universidad de Valladolid, 2007.

[2] Kai Chang, “RF and Microwave Wireless Systems”, John Wiley, 2000.

[3] Modulación en Amplitud, “http://www.asc-csa.gc.ca/images/telecom_amplitude_am.gif”

[4] A. García, notas de clase “Coherent demodulation of Microwave signals by Using Optical Heterodyne Technique with Applications to Point to Point Indoor Wireless Communications Systems”, Universidad de Sonora, 2009.

Capítulo 3: Sistema Optoelectrónico para Caracterización de Antenas

3.1 Introducción

Una antena es un dispositivo utilizado para emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre, este dispositivo provee una transición de niveles de voltaje de una guía de onda al espacio libre o viceversa. La IEEE define a una antena como “la parte de un sistema de transmisión o recepción que es diseñada para recibir o radiar ondas electromagnéticas” [1].

Siendo las antenas una parte fundamental para un sistema de comunicaciones. En este capítulo se presentan varios aspectos de su función y operación así como también, las diferentes formas de poder cuantificar o caracterizar a los elementos que influyen en la respuesta del sistema; Se construye un sistema óptico, que permite medir la potencia reflejada de antenas. El principio de operación se basa en el heterodinaje óptico. Esta técnica consiste en generar señales de microondas continuamente sintonizables. Que al ser utilizadas en el sistema óptico presentado en este trabajo de tesis, se obtienen resultados que permiten identificar la frecuencia de operación de cualquier antena que responda en la banda de 0-10 GHz.

En este sentido, se describen los aspectos teóricos fundamentales relacionados con el principio de operación de las antenas y de las diferentes técnicas de caracterización de este tipo de dispositivos, así como resultados teórico experimentales que validan el sistema experimental propuesto.

3.2 Conceptos Fundamentales

Cuando se realizan experimentos con distintos tipos de antenas es necesario tener presente ciertos parámetros, ya que de ellos dependerá la buena transmisión o recepción, que nos indicarán distintas características de las antenas que dependen de su tamaño, geometría e incluso del material utilizado para su construcción.

A continuación se presentan los parámetros esenciales que caracterizan una antena.

3.2.1 Impedancia

La impedancia de una antena está definida por la razón entre el voltaje y la corriente en las terminales de la antena. La impedancia de entrada puede ser especificada en función de una determinada frecuencia o como la razón de voltaje de onda estacionaria (VSWR, por sus siglas en inglés) máxima.

En un sistema ideal, el 100% de la energía se transmite. Es decir, la impedancia característica de la línea de transmisión, y la impedancia de la carga deben coincidir [2]. Las condiciones para que coincidan son: $Z_{ent}=Z^*s$ donde $Z_{ent} = R_{ent} + jX_{ent}$, $Z_s = R_s + jX_s$, como se muestra en la figura 3.1.

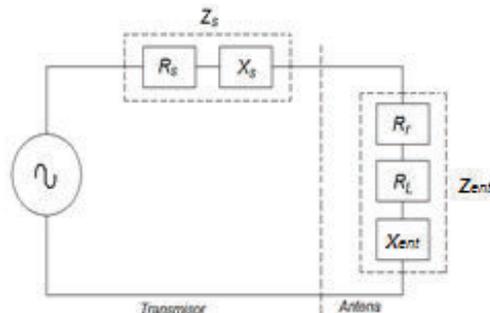


Figura 3.1 Circuito equivalente de una antena.

Dónde:

Z_{ent} es la impedancia de la antena en sus terminales.

R_{in} es la resistencia de la antena en sus terminales.

X_{in} es la reactancia de la antena en sus terminales.

R_r es la resistencia de radiación.

R_L es la pérdida de la resistencia.

3.2.2 Razón De Voltaje De Onda Estacionaria (VSWR)

Con la finalidad de que las antenas operen eficientemente, se debe establecer una transferencia máxima de energía entre el transmisor y la antena. La máxima transferencia de potencia sucede cuando la impedancia de la antena corresponde con la del transmisor. Para esto es necesario que la impedancia del transmisor sea el complejo conjugado de la impedancia de la antena (3.1).

$$Z_{ent} = Z_s^* \quad (3.1)$$

Donde Z_{in} es la impedancia de la antena (3.2), y Z_s^* es la impedancia del transmisor (3.3).

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (3.2)$$

$$Z_s^* = R_s + jX_s \quad (3.3)$$

El coeficiente de reflexión (Γ) y el VSWR en la terminal de la antena para una impedancia de entrada Z_{ent} conectada a una línea de transmisión con impedancia característica Z_s están determinados por las siguientes expresiones (3.4) [1].

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{ent} - Z_s}{Z_{ent} + Z_s}$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.4)$$

El VSWR es la relación entre el voltaje máximo y el voltaje mínimo en cualquier punto de la línea de transmisión. Cuando el voltaje no varía como sería en un sistema ideal, su VSWR es 1.0 (o como comúnmente se expresa, 1:1). Esto implica que se tiene un acoplamiento perfecto entre todos los elementos del sistema de antena. De lo contrario cuando se presentan reflexiones, las tensiones varían y de modo que la relación del VSWR es distinto a 1.0 ya que en el sistema se presentaron pérdidas por reflexión.

3.2.3 Polarización

La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado por la misma. Una antena puede polarizarse en forma lineal, elíptica o circular. Cuando la orientación del campo eléctrico de una antena es lineal, es decir, que sólo tiene componente de campo eléctrico orientado horizontal o verticalmente, se define como polarizada horizontal o vertical, respectivamente. En la figura 3.2 se muestran distintos tipos de polarización de una antena.

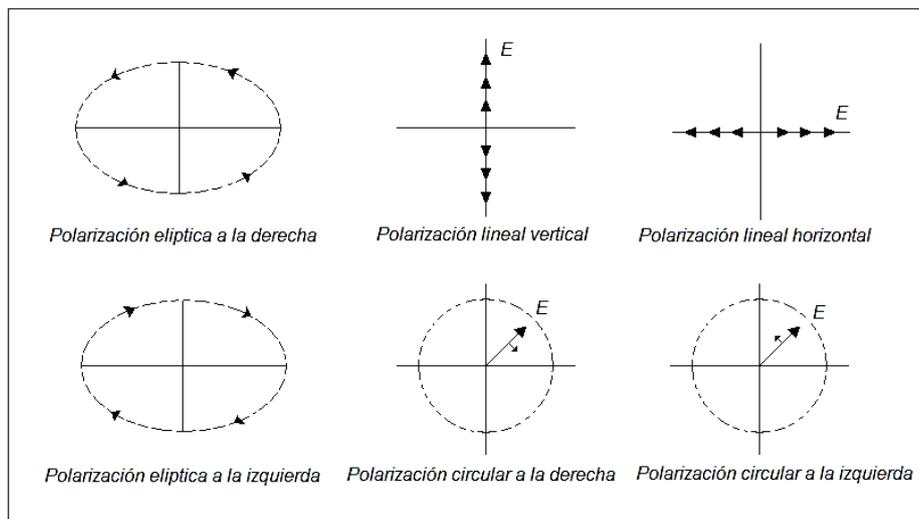


Figura 3.2 Tipos de polarización de una antena

3.2.4 Patrones de Radiación

El patrón de radiación de una antena es la representación gráfica tridimensional de la energía radiada en función de la dirección. Los patrones de radiación usualmente se representan de dos formas, el patrón de elevación y el patrón de azimut.

El patrón de elevación es una gráfica de la energía radiada por la antena vista de arriba. El patrón de azimut es una gráfica de la energía radiada vista directamente desde perfil. Al combinar ambas gráficas se tiene una representación tridimensional de cómo es realmente radiada la energía desde la antena. En la figura 3.3 se muestra la representación gráfica de estos patrones [3].

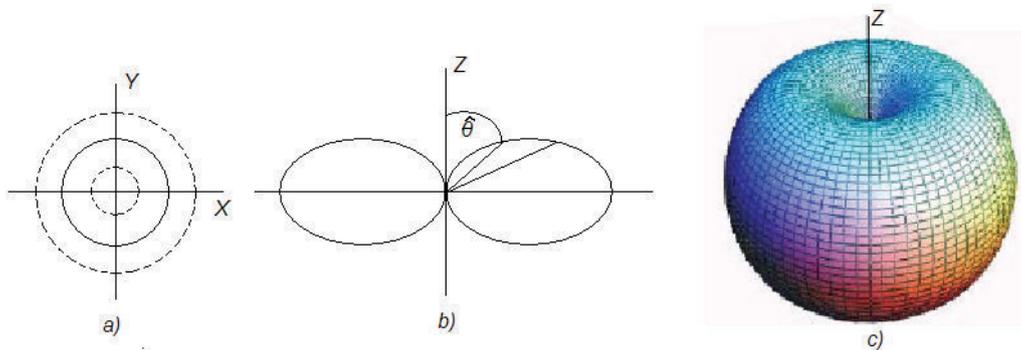


Figura 3.3 Patrones de Radiación. a) Patrón de elevación; b) Patrón de azimut; c) Representación tridimensional de radiación de una antena.

3.2.5 Ancho de Banda

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la antena opera satisfactoriamente [1].

3.2.6 Ganancia

La ganancia de una antena es la relación entre la potencia de entrada y la potencia de salida. Esta ganancia comúnmente se expresa en decibeles (dB), y se refiere a la comparación de cuanta energía sale de la antena bajo prueba, comparada con la que saldría de una antena isotrópica. Una antena isotrópica es aquella que cuenta con un patrón de radiación esférico perfecto y una ganancia lineal unitaria.

3.2.7 Directividad

La Directividad de la antena es una medida de la concentración de la potencia radiada en una dirección particular. Se puede entender también como la capacidad de la antena para direccionar la energía radiada en una dirección específica.

3.3 Tipos de Antenas

Existen gran variedad de antenas en el mercado y todas son con la misma finalidad, es decir, la de irradiar o propagar una onda electromagnética a través del espacio libre, ya que su principio de operación es el mismo. Sin embargo dependiendo de su geometría, su longitud, e incluso el material de construcción de esta, nos indicarán los distintos parámetros de la misma tales como su frecuencia de operación, patrón de radiación, ganancia, entre otros parámetros.

Seleccionando la antena que sea adecuada para nuestro sistema dependerá de muchos factores y por eso es importante conocer los parámetros de las antenas. Unas de las alternativas para conocer estos parámetros vienen a ser la caracterización, en caso de que no se contara con las hojas de datos o en su defecto que se haya construido y no se conozcan estos parámetros.

Actualmente existe gran diversidad de antenas, cada una de estas se diseña con la finalidad de cumplir con los requerimientos específicos de cada uno de los sistemas, por mencionar algunos tipos.

3.3.1 Microstrip

Una Antena de microstrip, también conocida como antena de parche, consiste en un parche de metal sobre un sustrato en un plano de tierra, como se muestra en la figura 3.4.

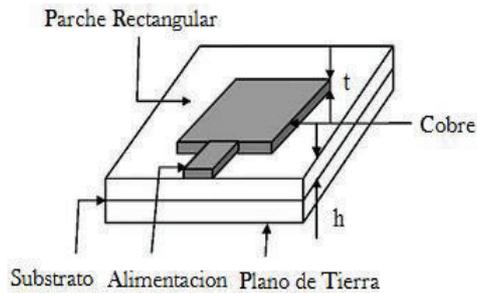


Figura 3.4 Antena Microstrip Rectangular

El impreso realizado sobre el sustrato puede tomar distintas figuras para cumplir con los diferentes requisitos de construcción. Las figuras de construcción más comunes son rectangulares, cuadradas, circulares o en forma de anillo. En las antenas microstrip se utilizan técnicas de circuitos impresos para su construcción, son de bajo perfil, y de bajo costo. . Además, son muy versátiles en términos de la frecuencia de resonancia, impedancia de entrada, patrón de radiación y polarización. Manejan Frecuencias por encima de los 300MHz [3]. Una de sus desventajas que presentan es que son de baja eficiencia debido a las pérdidas por la superficie y no trabajan con mucha potencia.

3.3.2 Yagi-Uda

La Antena Yagi-Uda o Yagi es una de las antenas mejor diseñadas, es de fácil construcción y tiene una alta ganancia, por lo general mayor a 10 dB. Estas antenas operan típicamente en las bandas HF hasta las UHF (alrededor de 3 MHz a 3 GHz), por lo regular su ancho de banda es muy pequeño, del orden de un mínimo porcentaje (alrededor de un 10%) de la frecuencia central [4]. La antena Yagi comúnmente es utilizada para la transmisión y recepción de señales de radio o TV. En la figura 3.5, se muestra una antena de este tipo.



Figura 3.5 Antena Yagi-Uda.

Una de las principales características de esta antena es que consiste de 3 diferentes elementos, el de alimentación, el reflector y el director tal y como se muestra en la figura 3.6

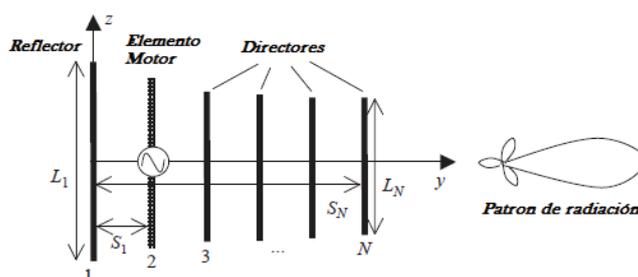


Figura 3.6 Configuración de una antena yagi y su patrón de radiación.

3.4 Caracterización de Antenas

Conocer los parámetros que caracterizan a una antena es muy importante, ya que con estos seremos capaces de seleccionar una antena que sea adecuada para nuestro sistema, para esto existen varios instrumentos para medir los parámetros. Este es el caso también para las antenas que se encuentran como elemento esencial dentro de un esquema de comunicación básico a través de radiofrecuencia.

El caracterizar es determinar todos los parámetros que afectan o determinan el funcionamiento ideal de operación del dispositivo, en el caso de las antenas consiste en

medir ya sea su ganancia, ancho de banda, VSWR, directividad etc. Casi siempre para una caracterización de antenas estas son realizadas dentro de laboratorios especializados que brindan el menor margen de error en estos experimentos.

Existen distintas formas de caracterizar una antena, algunas nos presentan esquemas sencillos de construcción y que nos brindarán resultados muy certeros.

3.4.1 Caracterización Eléctrica

Actualmente existen muchos instrumentos especializados para realizar una caracterización eléctrica de dispositivos de microondas y antenas. Por ejemplo, el Analizador de Redes Escalares (ARE), Analizador de Redes Vectoriales (ARV). Estos instrumentos por lo general tienen 2 puertos que pueden ser utilizados como transmisor o receptor, en los cuales se acopla el dispositivo bajo prueba.

- Analizador de Redes Escalares (ARE): realiza mediciones de la amplitud de los parámetros de una red, como VSWR, ganancia, pérdidas por inserción y pérdidas de retorno.
- Analizador de Redes de Vectores (ARV): realiza mediciones de fase y amplitud de los parámetros de una red. El ARV es un instrumento que opera en el dominio de la frecuencia, de donde se puede obtener la señal en el dominio del tiempo aplicando la transformada de Fourier.

Una de las limitantes para la operación de estos instrumentos es que para su óptimo funcionamiento, es necesario de un laboratorio en el cual no exista ningún tipo de interferencia electromagnética, denominadas cámaras anecoicas o cámaras de libre eco.

Otro instrumento que nos permite caracterizar antenas es un Analizador de Espectros Eléctricos (AEE). Este instrumento que nos despliega en su pantalla una amplitud o potencia contra barrido de frecuencia, y este conectado a un acoplador direccional, podemos medir fácilmente la frecuencia de operación de una antena, indicándonos la ganancia de la potencia reflejada.

Para realizar una medición es necesario utilizar un acoplador direccional similar al de la figura 3.7. Un acoplador direccional es un dispositivo pasivo el cual es utilizado para extraer individualmente una señal, mediante una pérdida de acoplamiento conocida, ya sea la señal incidente (directa) o la señal reflejada en una línea de transmisión. A partir de estas mediciones (incidente o reflejada) podemos calcular el VSWR del dispositivo bajo prueba [5].



Figura 3.7 Acoplador Direccional

La figura 3.8 ilustra la configuración tradicional que permite medir la potencia reflejada de una antena. El puerto de entrada del acoplador direccional, se conecta directamente en uno de los puertos de salida de nuestro AEE. La antena bajo prueba se conecta en el puerto de salida del acoplador y el puerto de reflexión de este mismo dispositivo se conecta al puerto de entrada del AEE.

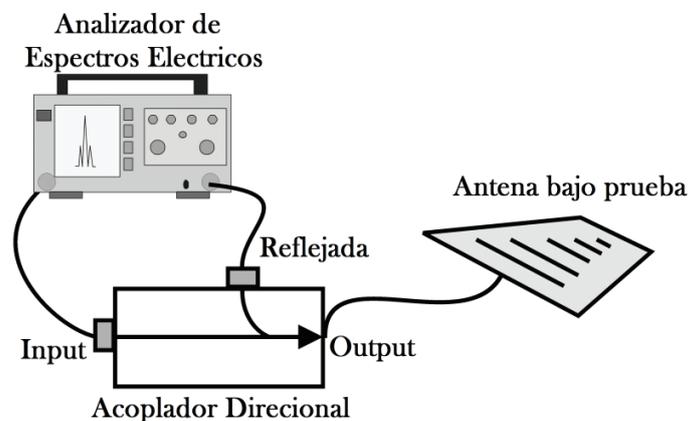


Figura 3.8 Configuración experimental utilizando el ESA.

Para realizar la medición de la potencia reflejada de la antena bajo prueba, se configura el analizador para realizar un barrido de frecuencia e inyectarlo al puerto de entrada del acoplador. La señal generada por el AEE se propaga directamente hacia la antena y la potencia reflejada por la antena se mide directamente en el puerto de reflexión del acoplador direccional, el cual se conecta directamente a nuestro AEE y la curva que se despliega en este instrumento, corresponde con la medición de la potencia reflejada de la antena bajo prueba.

El resultado obtenido con este procedimiento experimental se ilustra en la figura 3.9, de aquí podemos observar que la frecuencia donde la antena presenta una buena operación para transmitir información, se ubica en el punto donde su potencia reflejada es menor o casi nula.

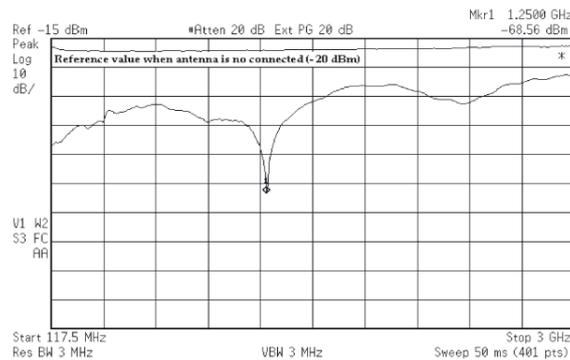


Figura 3.9 Ejemplo de salida de la medición de potencia reflejada

Para nuestro experimento se utilizó una antena SIGNET YAGI-UDA de 5 elementos que según el fabricante presenta una transmisión de máxima potencia en 1.25GHz. Como se observa en la figura anterior, cuando se realiza el barrido de frecuencia mediante el ASE se obtiene que efectivamente alrededor de 1.25GHz la antena presenta un punto con menor potencia de reflexión.

3.4.2 Caracterización Óptica

Así como también se utilizan distintos instrumentos para la caracterización de antenas en el mercado que nos facilitan esta tarea, existen métodos alternativos para la lograr esta tarea, entre ellos están los esquemas ópticos que son más eficaces a los sistemas tradicionales ya que no presentan ruidos eléctricos. El esquema que se utilizó para caracterizar antenas en esta tesis es el Heterodinaje Óptico debido a su facilidad de implementación.

3.4.2.1 Heterodinaje Óptico

El Heterodinaje Óptico es una técnica con la cual nos permite generar señales de microondas, mediante la superposición o interferencia de dos haces ópticos, los cuales una vez combinados al ser incididos a un fotodetector estos generan una fotocorriente con cierta frecuencia que corresponde a la diferencia del espaciamiento espectral (λ) de ambas fuentes ópticas. Una de las ventajas que nos brinda este método es la generación de señales de microondas de muy alta frecuencia (VHF) con un ruido de fase muy bajo [6].

La generación de señales está limitada por el ancho de banda del fotodetector utilizado. El esquema del principio de funcionamiento para la generación de señales de microondas se muestra en la figura 3.10.

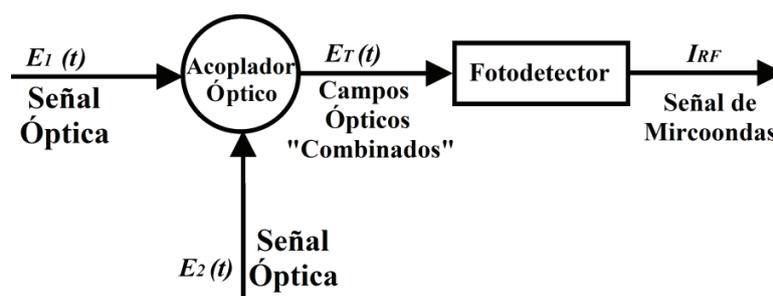


Fig. 3.10 Técnica de Heterodinaje Óptico para la generación de señales de microondas.

El Heterodinaje óptico representa un proceso físico denominado interferencia óptica o "batimiento frecuencial", donde 2 señales ópticas $E_1(t)$ y $E_2(t)$ son combinadas

utilizando un acoplador óptico. La señal resultante $E_T(t)$ es detectada mediante el fotodetector que opera de tal manera como un mezclador óptico y nos proporciona una fotocorriente I_{RF} . La frecuencia de la señal resultante corresponde a la diferencia entre las señales ópticas emitidas con frecuencias ω_1 y ω_2 , donde $|\omega_1 - \omega_2| \ll \omega_1, \omega_2$.

Este proceso se logra cuando ambas señales ópticas son traslapadas con una polarización común. El resultado de la fotocorriente de la señal combinada está dado por (3.5).

$$I_{RF} = R [P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \phi_1 - \phi_2)] \quad (3.5)$$

Donde P_1 y P_2 son respectivamente las potencias determinadas mediante E_1 y E_2 y la responsividad R del fotodetector. ϕ_1 y ϕ_2 son las fases de las 2 fuentes ópticas detectadas por el fotodetector. Mientras que el término $2\sqrt{P_1 P_2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t)$, pasa a ser la frecuencia intermedia, que representa la señal de microondas [6].

3.5 Esquema Experimental para Caracterización de Antenas

A partir del principio de funcionamiento del heterodinaje óptico se procedió a realizar la experimentación y simulación mediante LabVIEW, primeramente de la generación de microondas y observar los parámetros a variar para poder manipularlos y realizar un barrido de frecuencias para caracterizar antenas y conocer los puntos de operación de las mismas.

Se ensablo un esquema experimental, en el cual se incluye la generación de señales de microondas sintonizable, así como el acoplamiento necesario para realizar la caracterización, se presenta en la siguiente figura 3.11.

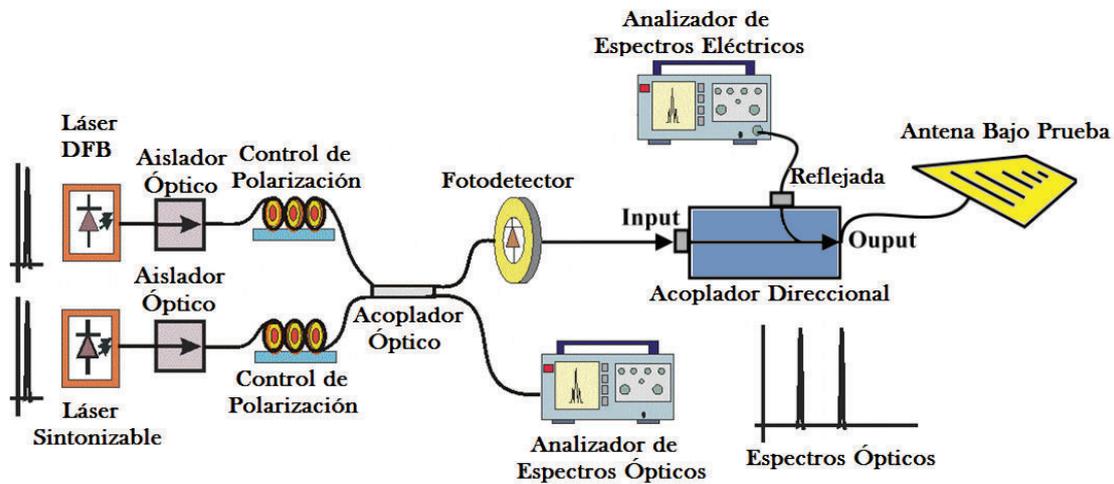


Figura 3.11 Esquema ensamblado para la generación de microondas y caracterización de antenas.

En este experimento se utilizaron 2 diodos láseres emitiendo a diferentes longitudes de ondas, uno de ellos es un láser sintonizable (NEW Focus, modelo TLB-3902) sintonizado sobre la banda C (1530-1565 nm) de las comunicaciones ópticas, el otro laser es una fuente laser DFB con fibra acoplada (Thorlabs, modelo S3FC1550) con una longitud de onda central ajustada en los 1550nm. La salida de ambas fuentes ópticas fue acoplada a un aislador óptico para evitar retroalimentaciones hacia los láseres y posibles inestabilidades del sistema. Después se recurrió a 2 controles de polarización para minimizar el ángulo de polarización entre ambas fuentes ópticas. Por lo tanto no existió degradación de potencia en las señales de microondas generadas por el fotodetector. La salida de cada uno de los extremos del acoplador óptico es de 3dB para combinar los espectros ópticos, y seguido la señal ya combinada es captada por el fotodetector de respuesta rápida (MITEQ modelo SCMR-50K6G-10-20-10) con una ganancia típica de 25dB, y -3dB y un ancho de banda de 6GHz. La fotocorriente generada por el fotodetector corresponde a la frecuencia intermedia la cual fue verificada mediante un Analizador de Espectros Eléctricos (AEE), (Agilent modelo E4407B). Y el otro extremo del acoplador óptico se acopló al Analizador de Espectros Óptico (AEO), (Anritsu modelo MS9710C), para monitorear la longitud de onda de los láseres.

Mediante el láser DFB se puede manejar la potencia de salida y así como también nos permite precisar la temperatura a la cual el láser se encuentra operando. Utilizando estos controles podemos para sintonizar el diodo laser en un punto óptimo de operación, obteniendo una salida estable, y se observó que al variar la temperatura obteníamos una señal de radiofrecuencia que oscilaba entre los 0 y 10 GHz.

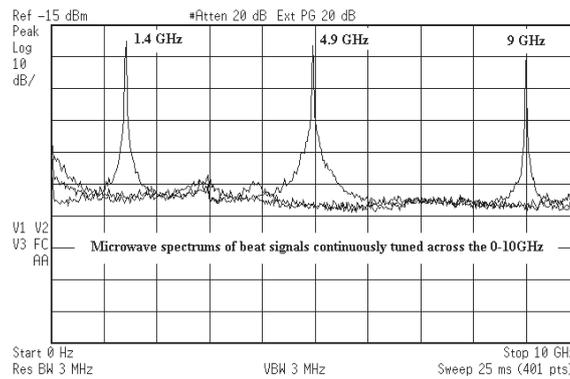


Figura 3.12 Espectro de microondas de un barrido de frecuencia de 0 a 10 GHz.

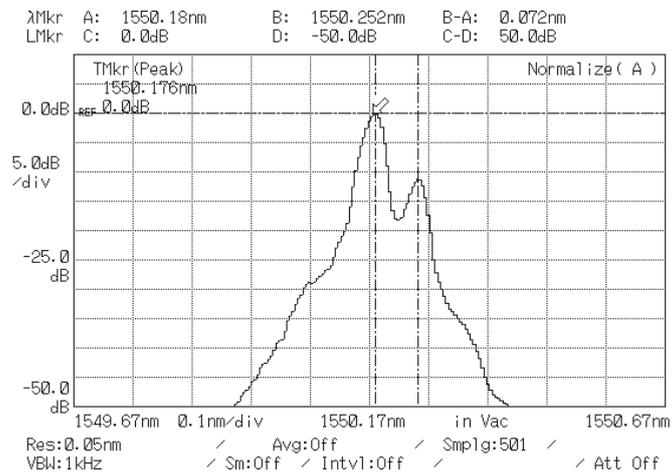


Figura 3.13 Espectro óptico correspondiente a las 2 haces ópticos combinados

En la figura 3.13 se muestra el resultado que se obtuvo al variar la temperatura del láser DFB y se observa en la salida de nuestro AEO ambos haces con su respectiva potencia, generándonos en el otro extremo de nuestro esquema óptico heterodino una señal que podría ser localizada entre los 0 a los 10 GHz tal como es mostrado en la figura 3.12 la cual depende de la separación espectral que existe entre los láseres, misma señal que puede ser calculada mediante la siguiente ecuación [6].

$$\Delta f = \frac{c}{\lambda_1} - \frac{c}{\lambda_2} = \frac{c(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2} \approx \frac{c}{\lambda^2} |\Delta \lambda| \quad (3.6)$$

Donde λ_1 y λ_2 son las longitudes de ondas de los 2 haces y $\Delta \lambda$ es la diferencia entre las 2 longitudes.

A partir del resultado obtenido en la figura 3.13, se puede observar que se la señal de microondas generada coincide con la ecuación 3.6. Por lo tanto cuando una fuente laser está operando en una longitud de onda determinada y la otra fuente siendo variada, la señal de microondas se desplazará de tal modo que siempre coincida con la ecuación.

Para realizar una comprobación teórica con la parte experimental del heterodinaje óptico descrito en este capítulo, se hizo una simulación en LabVIEW. En la cual se generó un programa, mostrado en la figura 3.14, con el cual se pude variar la longitud de onda de ambos láseres y este nos permitió verificar efectivamente cual separación espectral corresponde a cual frecuencia.

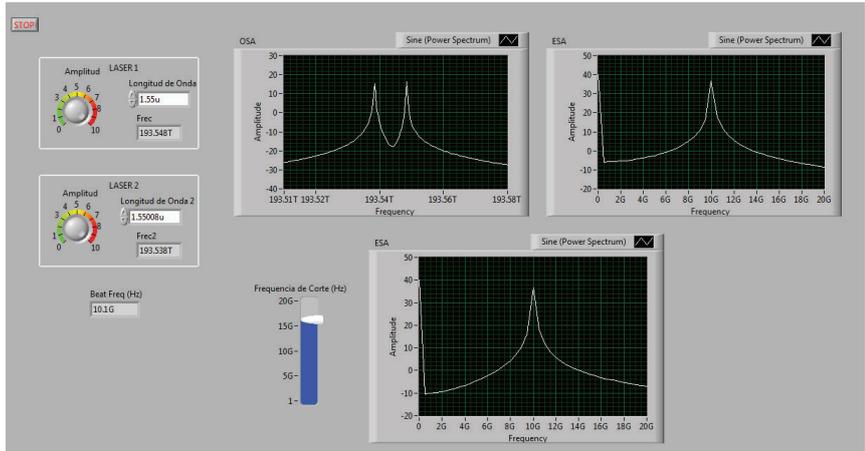


Figura 3.14. Panel Frontal del VI realizado en LabVIEW.

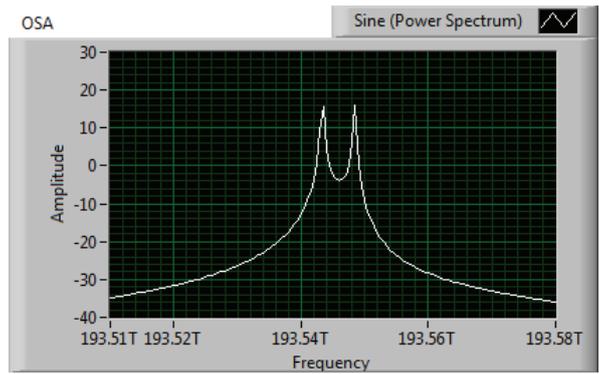


Figura 3.15 Simulación en LabVIEW de la separación espectral de ambos láseres.

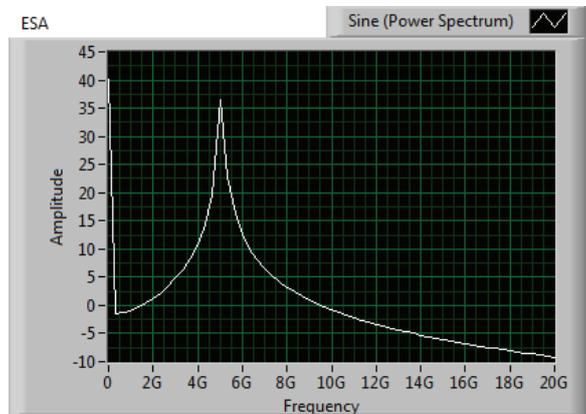


Figura 3.16 Señal de microondas resultante simulada mediante LabVIEW

Conociendo estos resultados, a partir de las señales obtenidas de salida como se muestran en las figuras 3.15 y 3.16, se generó una tabla que permite conocer cual debería de ser la separación espectral en nanómetros (λ) requerida para la generación de microondas deseada. Ver tabla 3.1.

Laser DFB (λ)	Laser Sintonizable (λ)	Señal de RF (Hz)
1550nm	1550.07nm	9 GHz
1550nm	1550.04nm	5 GHz
1550nm	1550.01nm	1.25GHz

Tabla 3.1 Se muestran algunos de las separaciones necesarias para la generación de señales de RF requeridas.

Y con estos resultados, tanto teóricos como simulados, que se obtuvieron nos permiten decir que nuestro sistema mostrado en la figura 3.11 puede ser utilizado como un método muy preciso para realizar barrido de frecuencias y en este caso medir la potencia reflejada de antenas.

3.5.1 Resultados Experimentales del Proceso de Caracterización de Antenas

Una vez conociendo estos parámetros, la señal de microondas generada fue conectada al puerto de entrada del acoplador direccional. Y la antenna bajo prueba (SIGNET Microstrip YAGI-UDA de 5 elementos @ 1.25GHz) en el puerto de salida del mismo, la señal reflejada muestreada por el acoplador direccional fue desplegada en el analizador de espectros (AEE) tal y como se muestra en la figura 3.17.

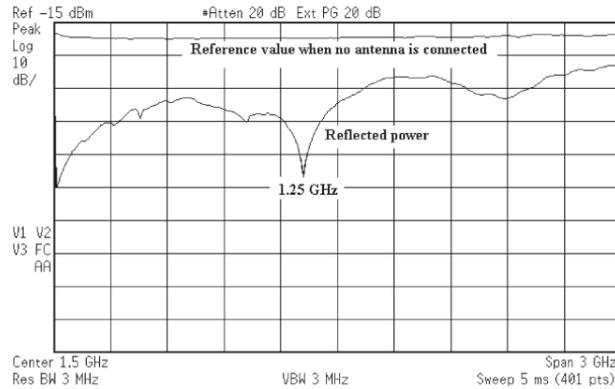


Figura 3.17 Potencia reflejada de nuestra antena bajo prueba.

Mediante esta figura podemos observar que la cantidad mínima de potencia que se refleja desde la antena es de 48.61 dB (la cual corresponde a las pérdidas de reflexión) con respecto a la señal de referencia cuando no es conectada ningún dispositivo y esta potencia se ubica exactamente en la frecuencia de operación de la antena, que en este caso particular es alrededor de 1.25GHz.

A partir de estos parámetros se procedimos a calcular el coeficiente de reflexión y VSWR (ecuación 3.4). El valor calculado correspondiente al coeficiente de reflexión fue 0.0037 y por lo tanto su VSWR fue de 1.007. Esto nos indica que casi toda la potencia es transmitida a la antena, y una mínima cantidad de potencia está siendo reflejada, Sin embargo estos valores nos indican que existe un gran acoplamiento entre el transmisor y la antena bajo prueba en esta frecuencia de operación.

3.6 Conclusiones

En este capítulo se presentaron los conceptos fundamentales que describen el funcionamiento básico de antenas, permitiendo conocer los principales parámetros con los cuales nos permiten clasificar a estos componentes y elegir el adecuado en un sistema de comunicación inalámbrica.

Posteriormente se hizo un análisis comparativo entre las técnicas eléctricas y ópticas de caracterización de antenas, se pudo observar a partir de los resultados experimentales obtenidos que existen una gran similitud entre los datos adquiridos mediante la técnica eléctrica y la técnica óptica; lo cual nos indica que el método óptico propuesto para la generación de señales es una alternativa a los procesos de caracterización eléctrica de antena, utilizando dispositivos de bajo costo en comparación con los instrumentos en la caracterización de antenas utilizando métodos eléctricos; Incluyendo los esquemas eléctricos que por lo regular son realizados mediante instrumentos altamente especializados para realizar esa tarea, así como también se muestra métodos alternativos para la generación de señales de microondas y de esta manera mediante dispositivos. Se muestra el Heterodinaje óptico como una opción sencilla para lograr esto.

En cuanto a los resultados experimentales obtenidos de la generación de señales de microondas se observa que existe una gran correspondencia con los aspectos teóricos estudiados en este capítulo. De la misma manera los resultados experimentales fueron validados utilizando una herramienta de computo (LabVIEW), la cual nos permitió saber cuál debería de ser la separación espectral de los haces luminosos durante el heterodinaje óptico para poder generar una señal de microondas deseada.

Dentro de los resultados obtenidos durante nuestro proceso experimental se observó que nuestro dispositivo bajo prueba (SIGNET Microstrip Yagi-Uda @1.25GHz) mostro una curva de respuesta(curva de reflexión) que permitió observar la frecuencia de operación del dispositivo (que en este caso fue de 1.25GHz) ya que en este valor de frecuencia el dispositivo presenta la menor potencia reflejada, lo cual nos indica que es el punto óptimo de operación donde se encuentra la mayor potencia transmitida.

Finalmente la técnica propuesta en este capítulo sirve no solamente para caracterizar antenas, si no también sirve para caracterizar cualquier dispositivo de microondas que este en la banda de respuesta de nuestro fotodetector.

Referencias

[1] Levent Sevgi, "The Antenna as a Transducer: Simple Circuit and Electromagnetic Models", IEEE Antennas and Propagation Magazine, 49, (2007).

[2] Joseph F. White, "High Frequency Techniques: An Introduction to RF and Microwave Engineering", John Wiley & Sons, Inc, 2004.

[3] Yi Huang & Kevin Boyle. "Antennas from Theory to Practice". Wiley, 2008

[4] M2inc, "Yagi antennas characteristics", "<http://m2inc.com/yagi.pdf>".

[5] Marco Zennaro & Carlo Fonda, "Radio Laboratory Handbook Vol.1", 2004.

[6] A.Garcia, notas de clase "Reflected Power Measurement of Antennas by Using Optical Heterodyne Technique", Universidad de Sonora, 2010.

Capítulo 4: Arreglo Experimental para la Transmisión Inalámbrica de Señales de Televisión

4.1 Introducción

Una de las bondades de nuestro sistema de Heterodinaje Óptico, es que nos permite generar señales de microondas con las mismas características espectrales en el transmisor como en el receptor las señales de microondas nos sirven como portadoras de información y como osciladores locales para transmitir y recibir información respectivamente. En un sistema de comunicación coherente es necesario que la portadora y el oscilador local estén sincronizados en frecuencia y fase para que podamos recuperar óptimamente la información enviada desde el transmisor hacia el receptor. En sentido se propone un sistema de comunicaciones híbrido el cual consiste de una sección óptica combinada con una sección eléctrica tal y como se observa en la figura 4.1, la cual ciertamente no es una comunicación enteramente inalámbrica, debido a que se utiliza fibra óptica tanto para la generación de la señal portadora como el oscilador local en la transmisión y recepción de señales de TV mediante un par de antenas de microcinta. De esta figura 4.1 se observa que la sección óptica está compuesta por el heterodinaje óptico. Esta técnica funciona de la siguiente manera:

Una vez combinadas ambas fuentes ópticas mediante el aislador óptico, se obtiene en cada salida del mismo una señal que al ser incidida a un fotodetector se genera una señal de microondas con las mismas características espectrales, la cual fácilmente se puede utilizar para tanto como la modulación y demodulación, garantizando así una demodulación coherente.

Continuando con la etapa eléctrica, la cual consiste en utilizar las señal, tanto portadora como oscilador local, ser modulada con nuestra señal de TV y debidamente amplificada en caso de ser necesario, ser propagada al espacio libre, a través de la antena, ser recuperada en nuestra sección receptora debidamente demodulada y finalmente poder ser desplegada[1].

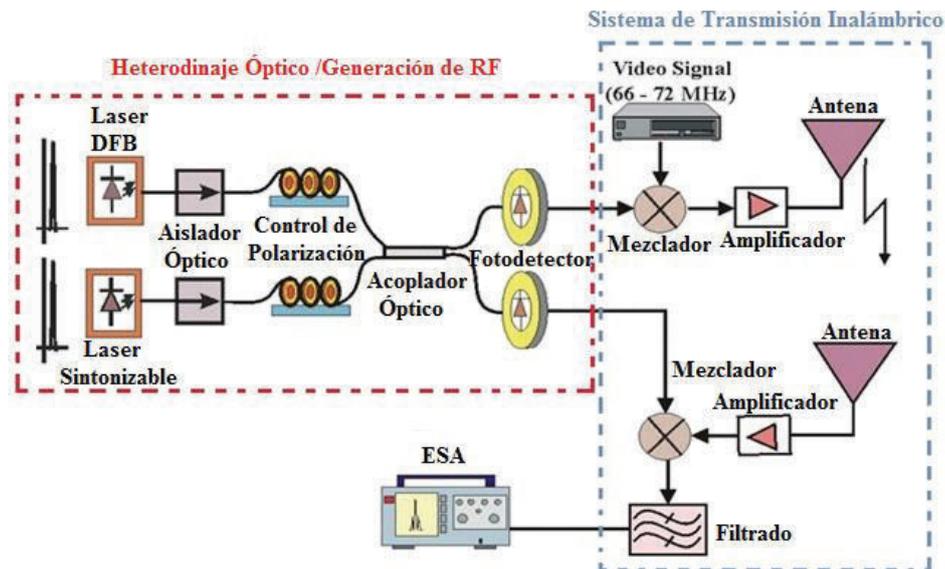


Figura 4.1 Sistema híbrido para la transmisión y recepción de señales de TV

En este capítulo se muestran los elementos que conforman a este sistema de comunicaciones así como una interfaz desarrollada mediante LabVIEW para la representación de los datos así como los trabajos a futuros sobre esta investigación y finalmente se dan las conclusiones de este capítulo destacando los puntos más importantes del mismo.

4.2 Esquema experimental de la transmisión de señales de TV

Una vez conociendo que nuestro sistema heterodino permite generar señales de RF con las mismas características espectrales en el transmisor como en el receptor, se procedió a realizar un sistema de transmisión en el cual se logró propagar señales de TV a través de las antenas de microcinta.

Para el sistema de transmisión de señales de TV se propuso el siguiente sistema experimental ilustrado en la figura 4.2.

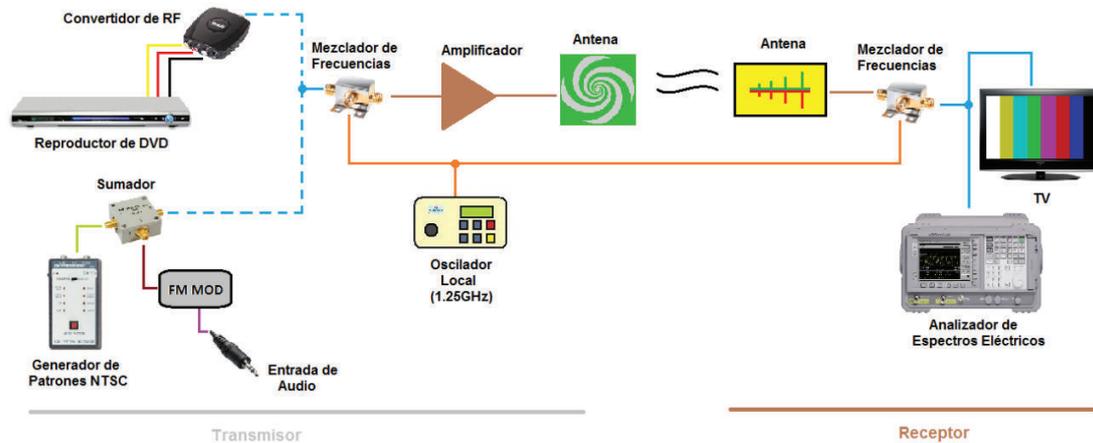


Figura 4.2 Enlace punto a punto para transmitir y recibir señales de TV [2].

En esta configuración se utilizó una señal de RF ubicada en 1.25GHz para su modulación y su demodulación ya que en esta frecuencia es donde las antenas responden óptimamente, Las cuales fueron previamente caracterizadas utilizando la técnica de caracterización mencionada en capítulos anteriores. Se utilizó un señal de TV a partir de un generador de patrones NTSC (BK Precision TV Signal Generator modelo 1249B) el cual nos entrega un patrón de prueba (tales como barras, puntos, etc.) que fueron acoplados al sistema para ser propiamente moduladas mediante el mezclador de frecuencias (Minicircuits modelo ZX05-U432H-S+ Up Converter) y una vez que esta fue propiamente modulada fue amplificada utilizando un amplificador de línea (Minicircuits modelo ZX60-8008E-S+); Después de la etapa de amplificación la señal fue acoplada a una antena microstrip (SIGNET Yagi-Uda Microstrip de 5 elementos) previamente caracterizada, para su propagación a través del espacio libre. En la sección del receptor se utilizó otra antena (SIGNET antena de espiral) y demodulada utilizando otro mezclador de frecuencia (Minicircuits modelo ZX05-U432H-S+ Down Converter), una vez obtenida la señal de TV se acoplo a un analizador de espectro eléctrico (ESA Agilent modelo E4407B) para conocer sus niveles de potencia y a un televisor para mostrar la imagen recibida.

4.3 Resultados experimentales del sistema comunicación inalámbrica

La configuración ensamblada del sistema que fue utilizada se muestra en la figura 4.3.

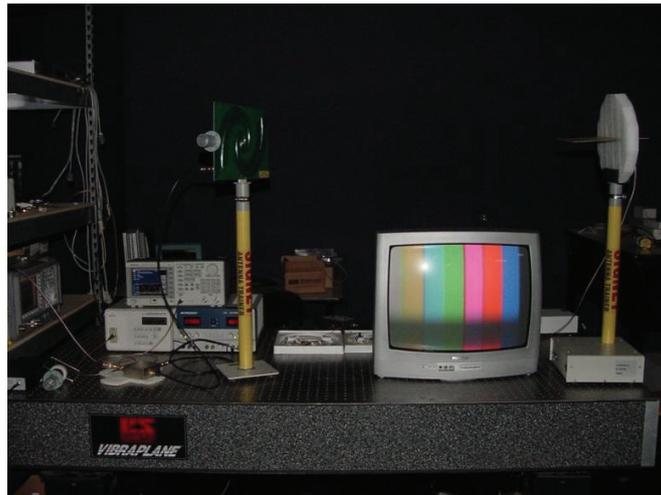


Figura 4.3 Esquema ensamblado dentro del laboratorio

y la sección del transmisor fue acoplada como se muestra en la figura 4.4.

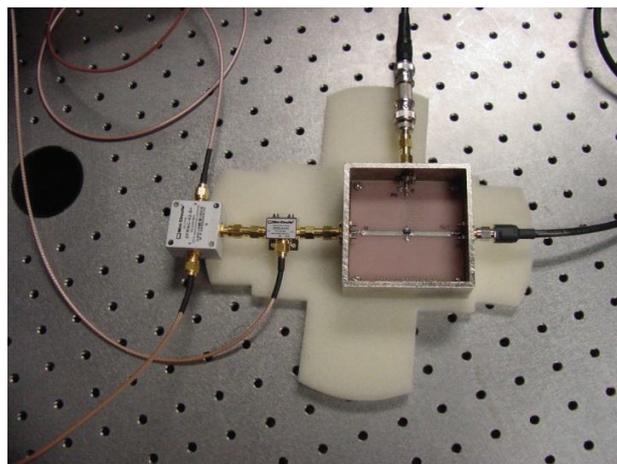


Figura 4.4 Elementos de la sección de transmisión (mezclador, modulador, amplificador)

Una vez que el sistema se encontraba listo para su comunicación se procedió a enviar señales de prueba NTSC (barras, puntos, colores fijos) para el canal 4 de TV (66-72MHz). Mismas que a su vez fue medida mediante el ESA para conocer su nivel de potencia recibida y transmitida.

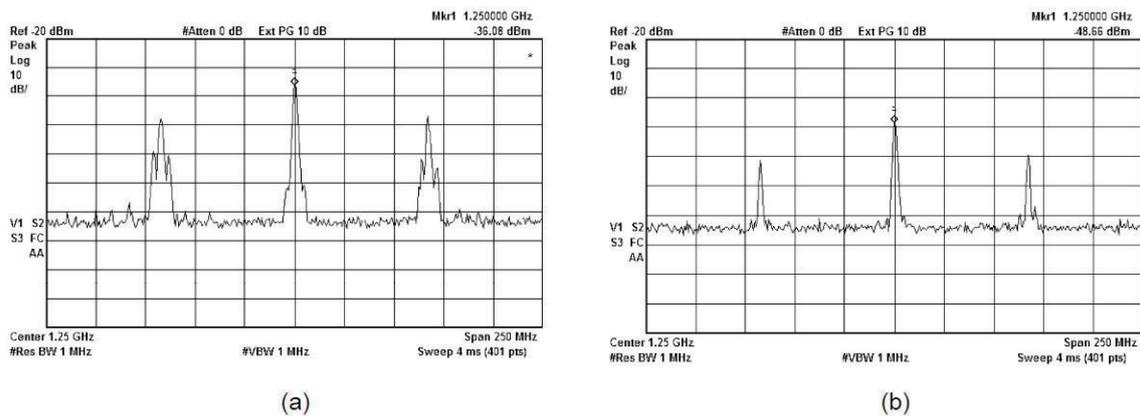


Figura 4.5 Espectro de la señal de TV ubicada alrededor de 67.25MHz a) Transmitida, b) Recibida

Como resultado de esta configuración experimental, se obtuvieron señales moduladas y desmoduladas en 1.25GHz las cuales fueron distribuidas en un radio pequeño, En la figura 4.5 se muestran claramente los espectros de una señal de tv analógica localizada en 1.25GHz., Se observa en la figura 4.5(a) que el nivel de potencia fue de aproximadamente de -36dBm, mientras que en la señal recibida mostrada en la figura 4.5(b) fue atenuada 12dB. Sin embargo la señal analógica de TV fue satisfactoriamente transmitida y recuperada.

Finalmente, ya que cuando se observó que nuestro sistema funcionaba adecuadamente con los patrones de prueba, se procedió acoplar una etapa de video en la entrada, con el cual fue posible enviar y recibir audio simultáneamente mediante un reproductor de DVD y se pudo desplegar satisfactoriamente en el monitor del televisor.

4.4 Caracterización del sistema (DAQ ESA-LabVIEW)

Como trabajo adicional a esta tesis se realizó un programa mediante la herramienta LabVIEW para poder obtener datos adquiridos y representarlos dentro de una tabla para su análisis y su realizar su grafica en Excel. Con este programa se facilitó la adquisición de datos de los barridos de frecuencia del Analizador de Espectro Eléctrico (ESA) y su desplgado dentro de una computadora y su fácil manejo de los mismos.

En la figura 4.6, se ilustra la interfaz de usuario del programa, el cual es de fácil manejo y operación.

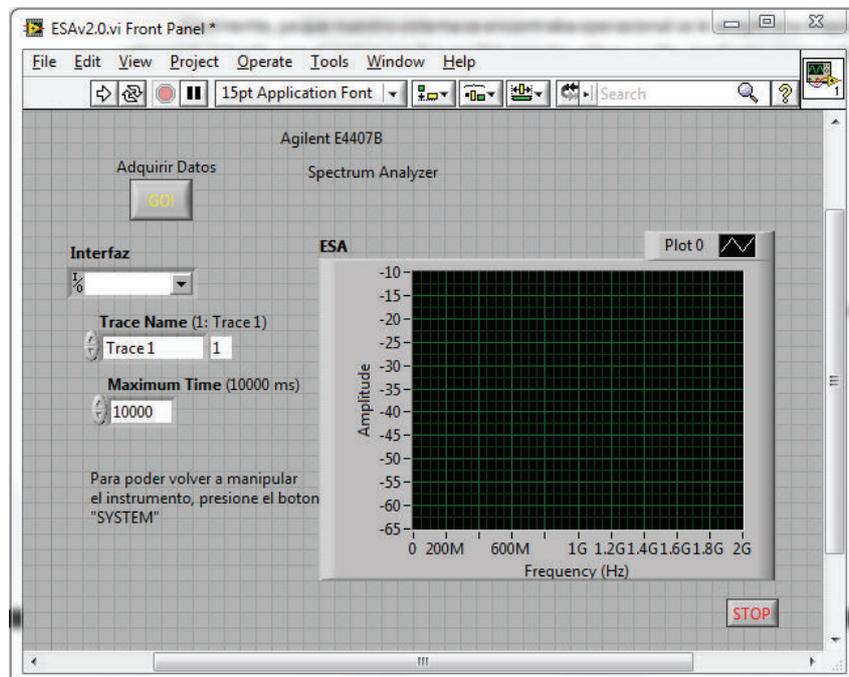


Figura 4.6 Panel frontal del sistema de DAQ del ESA

El programa se probó utilizando la señal a transmitir de nuestro sistema y nos desplegó una figura como la mostrada en la figura 4.7.

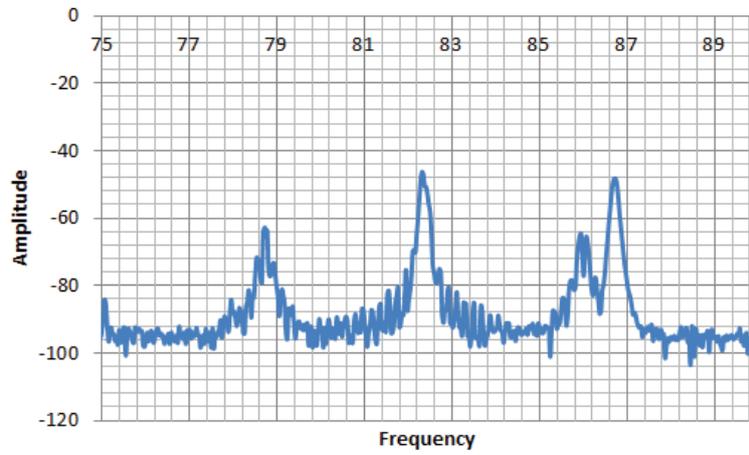


Figura 4.7 Grafica de salida en Excel utilizando nuestro programa.

Conociendo esta herramienta se nos facilitó el cálculo de los datos tanto de la potencia transmitida como la potencia recibida de nuestro sistema.

4.6 Conclusiones

En este capítulo se presentó un sistema de comunicación inalámbrico punto a punto utilizando un par de antenas de microcinta; A partir de señales de TV las cuales fueron moduladas utilizando señales de RF generadas mediante un sistema óptico el cual nos generaba una señal portadora ubicada en 1.25GHz. Las señales de TV fueron transmitidas y recibidas satisfactoriamente en el sistema de comunicaciones propuesto. Con la utilización del sistema heterodino al sistema de transmisor, convierte a todo el sistema en conjunto en un sistema híbrido en el cual se manejan señales tanto eléctricas así como ópticas. Este sistema nos brinda un esquema alternativo a los ya existentes, obteniendo la ventaja de la demodulación de manera coherente y aprovechando así la recuperación satisfactoria de la información enviada. Con este sistema es posible realizar transmisiones de señales tanto analógicas como digitales.

Además se propuso un sistema de adquisición de datos mediante la herramienta de LabVIEW la cual nos permitió la visualización de la información de una manera más ordenada y gráfica, la utilización de esta herramienta facilitó la interpretación de la información.

Referencias

[1] A. García, Notas de clase “Coherent demodulation of Microwave signals by Using Optical Heterodyne Technique with Applications to Point to Point Indoor Wireless Communications Systems”, Universidad de Sonora, 2009.

[2] L. Alonso, E. Mexía, and A. García, “Indoor Point to Point Wireless Communications System Using Microstrip Antennas”, ICIAS-SOMI, 2010.

Capítulo 5: Conclusiones Generales y Perspectivas

5.1 Aplicaciones potenciales en perspectiva

A partir de los resultados obtenidos y observados mediante esta investigación se observa que debido a la versatilidad del heterodinaje óptico nos brinda muchas aplicaciones para continuar con estas investigaciones tales como:

- Sistemas de transmisión de Señales digitales mediante sistemas heterodinos para la transmisión de internet, voz, datos etc.
- Utilizado fotodetectores que tengan una gran respuesta se podría proponer un enlace de RF en el cual este por encima de los 10 GHz garantizando una óptima respuesta y una velocidad bastante considerables.
- Aplicación de sistemas de multiplexado, a través de la división de frecuencia, el cual nos permita obtener múltiples señales de RF mediante un esquema heterodino, (FDM) el cual nos brindaría más canales de comunicación mediante un solo enlace.
- A partir del resultado experimental presentado, este sería mejorado si la sección eléctrica es sustituida de tal manera se lograría un sistema totalmente óptico, que permita minimizar perdidas como las que se presentan en las líneas de transmisión.

5.2 Conclusiones Generales

Finalmente, esta tesis presentó un sistema alternativo en para la generación de señales de microondas el cual se puede utilizar con distintos fines y así como para la realización de varias aplicaciones; En este caso particular se ha utilizado para la caracterización específicamente de antenas, aunque puede ser utilizado para caracterizar sistemas, filtros y dispositivos de RF. Y también se estudió la generación de señales de RF para la implementación dentro de sistemas inalámbricos; sistema denominado Heterodinaje Óptico, el cual presenta aplicaciones en el área de comunicaciones, ya ofreciendo gran versatilidad y además fácil manejo e implementación con otros esquemas altamente eléctricos, convirtiendo así al sistema en un sistema híbrido.

Además, se ha descrito, un sistema de transmisión inalámbrica utilizando antenas microstrip y heterodinaje óptico. El sistema se basa en la fotodetección de la superposición de dos señales luminosas presentando frecuencias ópticas diferentes (f_1 y f_2).

Una parte importante de este trabajo fue una de las distintas maneras de manipular esta técnica con la finalidad de la generación de señales de microondas y aprovechando las características de salida de un esquema heterodino se puede garantizar un sistema de transmisión coherente,

Para este trabajo, se mostró experimentalmente la generación de señales de microondas, sintonizable dentro de la respuesta del fotodetector de 0 a 9 GHz. El cual se observó que con 1.25 GHz y debido a la respuesta de nuestras antenas bajo prueba, fue posible el uso de esta señal de microondas como portadora para la transmisión de TV y se tomó un generador de señales de TV NTSC como señal de información.

Los procesos de modulación y transmisión de esta señal se probaron experimentalmente, demostrando la factibilidad de utilizar portadoras de RF generadas ópticamente en el contexto de los sistemas de radio o radio – fibra óptica.

Los resultados que se obtuvieron fueron publicados dentro el congreso 1st International Congress on Instrumentation and Applied Sciences (ICIAS-SOMI 2010) con sede en Cancún, México el mes de Octubre del año 2010, con el PAPER titulado “Indoor Point to Point Wireless Communication System Using Microstrip Antennas”. Del cual se obtuvo una constancia de participación por parte de ICIAS-SOMI.