

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se exponen los antecedentes de la investigación, los cuales proporcionan aportes al enfoque de la investigación. Además se definen las bases teóricas que permiten una mejor comprensión del tema, así como la definición de términos básicos para expresiones complejas o de dudoso significado.

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los enlaces microondas se utilizan en la actualidad para realizar conexiones a distancias medias y como complemento en actividades como las transmisiones satelitales, por ello es importante conocer si un factor presente a nivel mundial como el índice de humedad relativa, el cual varía en intensidad de un país a otro en menor o mayor grado, afecta este tipo de comunicaciones. A continuación se presentan algunos antecedentes relacionados con el área temática de esta investigación, con la finalidad de establecer una referencia en la elaboración de de la misma.

Orozco (2006) propone un modelo matemático para evaluar el efecto de los fenómenos atmosféricos en enlace de radio microondas a 2.4 GHz en la

Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín (URBE), para establecer una relación entre factores ambientales como humedad, velocidad del viento, temperatura entre otros contra parámetros de calidad.

La conclusión alcanzada por el autor de dicha investigación luego de un análisis de datos, fue que los fenómenos ambientales influyen en los enlaces microondas que operan en la banda de 2.4 GHz, siendo la velocidad del viento el parámetro que más afecta los enlaces de radio ya que arrastra consigo pequeñas partículas que actúan como obstáculos a las ondas electromagnéticas lo que produce atenuación de la señal al impactar la misma con dichos cuerpos, mientras que la humedad es la que menos afecta.

El principal aporte de dicha investigación a nivel teórico es debido a la comprobación que, si bien la humedad atmosférica es el factor ambiental que menos afecta las comunicaciones a una frecuencia de 2.4 GHz, sí se observa cierto nivel de relación entre ellas, por lo que se concreta la duda de exactamente a qué nivel de proporción se encuentra dicha influencia a 5 GHz de frecuencia.

Asimismo, Rincón (2006) en su investigación llevada a cabo sobre el efecto de las condiciones atmosféricas en la transmisión de radio microondas de 2.4 GHz (URBE), determina cual y en qué medida los parámetros de humedad, presión atmosférica, velocidad del viento y temperatura afectan la calidad de los enlaces inalámbricos de largo alcance bajo el estándar

802.11b. Los resultados obtenidos demostraron que la humedad, a pesar de tener una leve influencia sobre el enlace, no es un factor determinante. Mientras que la presión atmosférica, la temperatura y la velocidad del viento mostraron una mediana correlación con los parámetros de calidad de la transmisión.

El aporte teórico de esta investigación, se expresa que la humedad atmosférica no es un factor determinante en las comunicaciones, sin embargo sigue observándose una leve influencia en el desempeño de los enlaces. La interrogante es si dicha relación es superficial o puede ser más pronunciada al variar su concentración en la zona en la que transmite la señal, como este factor se encuentra a nivel mundial a distinta intensidad, es de utilidad conocer el valor exacto en que afecta la calidad de las conexiones.

Del mismo modo, Asslan (2009), en su estudio sobre la relación de los agentes atmosféricos en el desempeño de una red celular GSM (URBE), refiere que los fenómenos atmosféricos influyen de forma distinta en el desempeño de las redes celulares GSM. La conclusión alcanzada por Asslan es que mientras algunos de estos fenómenos naturales pueden perjudicar la calidad de las comunicaciones, otros pueden inclusive beneficiar la calidad de los servicios.

El aporte de dicha investigación radica en que se comprueba la influencia que tienen distintas condiciones atmosféricas en la calidad de las comunicaciones celulares, donde la potencia de la señal juega un papel muy

importante. Sin embargo, no queda concretamente definida la interacción que hay entre la humedad ambiental y las ondas electromagnéticas, lo cual crea dudas sobre si esta primera variable tiene un efecto adverso sobre la segunda.

2. BASES TEÓRICAS

A continuación se despliegan los principales fundamentos teóricos relacionados con la temática de la presente investigación, con la finalidad de lograr un mejor nivel de entendimiento con respecto a los distintos términos utilizados en la elaboración de la misma.

2.1. HUMEDAD RELATIVA

La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua presente en el ambiente en un espacio de tiempo determinado. Este valor puede aumentar o disminuir dependiendo de factores como la temperatura que esté presente en el ambiente al momento de realizar la medición. Dicho factor se manifiesta a nivel mundial, aunque su intensidad varía de forma notable de una región a otra debido a las condiciones propias de cada territorio.

Llorca (2006), en su libro *Prácticas de Atmósfera, Suelo y Agua* dice sobre la humedad relativa lo siguiente, “la humedad relativa es igual al cociente entre la presión de vapor actual del aire y la máxima presión de vapor que puede tener a esa temperatura. Normalmente se expresa como porcentaje.” (Pág. 23). Esto es reflejado a continuación en la *fórmula (1)*

$$H = \frac{p}{p_s} \quad (1)$$

donde;

p representa el vapor actual del aire y

p_s es el máximo vapor que puede tener esa temperatura.

Del mismo modo, la Sociedad Española de Ciencias Forestales (2006), en su Diccionario Forestal define este fenómeno como “la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que tendría si estuviese saturado a la misma temperatura. Se expresa en tanto por ciento” (Pág. 584). Es decir, el valor real presente en la atmósfera expresado en porcentaje de la cantidad de humedad presente en el ambiente en un momento determinado, comparado con la cantidad máxima que pudiese haber en la misma región a un valor igual de temperatura.

En el mismo orden de ideas, Melendo (2006), en un Manual de Técnicas de Montaña e Interpretación de la Naturaleza, señala al respecto que “la humedad relativa es un valor que refleja lo que le falta a la atmósfera para alcanzar el punto de saturación, a partir del cual no admite más vapor de agua” (Pág. 92). En otras palabras, la humedad relativa se calcula mediante la comparación de los valores de vapor de agua obtenidos en un momento específico de tiempo contra lo que podría obtenerse de estar saturado el ambiente. Dicho valor se expresa en porcentaje, por tanto, mientras más se acerque este valor al 100%, mayor humedad y mayor cantidad de vapor de agua está presente en la atmósfera terrestre.

2.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Montoto (2005), en su publicación sobre los Fundamentos Físicos de la Informática y las Comunicaciones acota que “el espectro electromagnético comprende las diversas ondas electromagnéticas conocidas y se caracterizan por su longitud de onda o por su frecuencia” (Pág 238). Dicho de otra forma, es un cúmulo de señales que se diferencian entre sí por determinadas características.

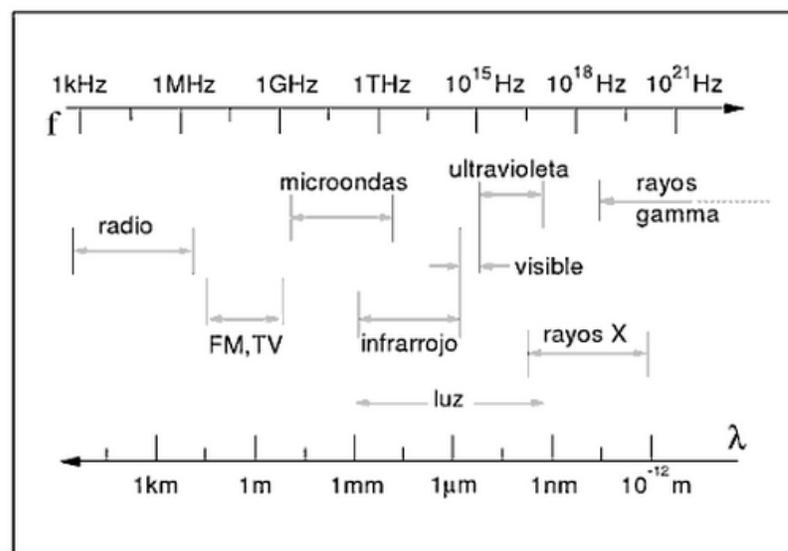


Figura 1. Espectro Electromagnético
Fuente: Montoto (2005)

En el mismo orden de ideas, Barrio (2008), en la publicación titulada Física y Química, define el espectro electromagnético como el “conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas ordenadas por orden de frecuencia o de longitud de onda” (Pág. 168). Es decir, conforma todo el rango de

frecuencia o longitudes de ondas que puede presentar una onda electromagnética, se presenta de forma organizada para una mejor comprensión y clasificación.

De la misma forma, Lehpamer (2010) en Microwave Transmission Networks, señala que “el espectro electromagnético ha sido utilizado para las comunicaciones por más de 100 años y engloba un número infinito de frecuencias”. (Pág. 4) De esto se entiende que este espectro es un grupo de muchas frecuencias que se ven como un todo y cuyas divisiones son hechas por los seres humanos para lograr cierto nivel de simplificación en su estudio.

En otras palabras, el espectro electromagnético no es más que el conjunto total de las ondas electromagnéticas existentes, las cuales se encuentran organizadas ya sea por su longitud de onda o por la frecuencia que poseen, que son características relacionadas entre sí, dándoles diversos usos en las telecomunicaciones.

2.3. ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA

Pérez, Zamanillo y Casanueva (2007), en un libro titulado Sistemas de Comunicación señalan sobre el espectro de radiofrecuencia lo siguiente “comprende las bandas de frecuencias útiles para los servicios de radiocomunicación y abarca desde frecuencias inferiores a 1KHz hasta alrededor de 300GHz”. (Pág. 19). También dice que “las principales bandas

del espectro radioeléctrico suelen definirse por su longitud de onda”. (Pág. 20)

Tabla 1. Nomenclatura del Espectro de Radiofrecuencia

Abreviatura	Significado	Frecuencias	Longitud de onda	Designación
ELF	Extra-low freq.	0.3 a 3 KHz.	1000 a 100 Km	Megamétricas
VLF	Very-low freq.	3 a 30 KHz	100 Km a 10 Km	Miriamétricas
LF	Low frequency	30 a 300 KHz	10 Km a 1 Km	Kilométricas
MF	Medium freq.	300 a 3000 KHz	1000 m a 100m	Hectométricas
HF	High frequency	3 a 30 MHz	100 m a 10 m	Decamétricas
VHF	Very-high freq.	30 a 300 MHz	10 m a 1 m	Métricas
UHF	Ultra-high freq.	300 a 3000 MHz	1 m a 10 cm	Decimétricas
SHF	Super-high freq.	3 a 30 GHz	10 cm a 1 cm	Centimétricas
EHF	Extra-high freq.	30 a 300 GHz	10 mm a 1 mm	Milimétricas

Fuente: Pérez (2007)

Lehpamer citado anteriormente, refiere que el espectro de radiofrecuencia (RF) “es una parte del espectro electromagnético en el que operan una variedad de dispositivos usados comúnmente como la televisión, radios AM y FM, radios microondas, teléfonos celulares, entre otros” (Pág. 4). También señala que “generalmente, el espectro de radiofrecuencia se define como la banda del espectro electromagnético donde las ondas electromagnéticas tienen frecuencias en un rango comprendido entre los 3Khz y los 300GHz” (Pág. 38). En otras palabras, la banda de radiofrecuencia es el medio que

utilizan un sinnúmero de aparatos para la transmisión y recepción de ondas que hacen posible el funcionamiento de los mismos.

Asimismo, Martín (2010), en su libro Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones en Viviendas y Edificios, señala al respecto que el espectro radioeléctrico “es la parte del espectro electromagnético utilizada para la propagación de las ondas electromagnéticas en las telecomunicaciones. Abarca desde las ondas de Muy Baja Frecuencia de 3KHz hasta las Extremadamente Altas de 300GHz” (Pág. 60).

Dicho de otro modo, el espectro de radiofrecuencia es simplemente una sección del conjunto conocido como espectro electromagnético, el cual contiene ondas que poseen una frecuencia limitada entre los 3KHz y los 300GHz, abarcando desde las ondas de radio de muy baja frecuencia, pasando por las señales microondas y terminando en las infrarrojas .

2.4. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Sendiña y Pérez (2006), en una publicación titulada Fundamentos de Meteorología, refiere que una onda electromagnética es “una perturbación del campo eléctrico y magnético que se propagan perpendiculares en el vacío a una velocidad $c = 300000\text{Km/s}$ ” (Pág. 41). También añade que “puede haber ondas electromagnéticas de todas las longitudes de onda conformando el espectro electromagnético” (Pág. 42).

Duran, López, Quintero y Canales (2009), en su publicación sobre Ciencia, Tecnología y Ambiente, señalan al respecto que “las ondas

electromagnéticas están subdivididas por su frecuencia en: radio, televisión, microondas, infrarrojo, visible, ultravioleta y rayos gamma.” (Pág. 56). Así mismo, también acota que “cada una de estas frecuencias posee sus alcances, implicaciones y aplicaciones”. (Pág. 56)

En otras palabras, las ondas electromagnéticas son señales que viajan en el espacio vacío a una velocidad constante igual a la velocidad de la luz, el cuál es el máximo desplazamiento por segundo que pueden alcanzar, es decir aproximadamente 300.000Km/s, y están divididas en una serie de subgrupos dependiendo de la frecuencia que poseen. Cada uno de estos grupos se utiliza de forma distinta debido a características inherentes que conservan durante su viaje .

Cabe destacar que las ondas electromagnéticas también pueden ser identificadas por su longitud de onda, ya que dicho parámetro guarda estrecha relación con la frecuencia que poseen. La principal información arrojada por este parámetro es que a mayor esto es reflejado a continuación en la *fórmula (2)*:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

donde,

λ ; representa la longitud de onda.

c es la constante velocidad de la luz.

f que define frecuencia de la onda.

Una característica importante de las ondas electromagnéticas es que dependiendo de la frecuencia que poseen, lo cual se refleja en su longitud de onda, es la facilidad con la que pueden atravesar objetos que se encuentren en su camino. A mayor frecuencia, menor es el índice de penetración de la onda.

2.5. PROPIEDADES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas electromagnéticas poseen una serie de características intrínsecas, las cuales permiten especificar como son afectadas por los distintos fenómenos con que interactúan en su recorrido por la atmósfera terrestre al desplazarse desde un punto a otro. Dichas características son definidas a continuación.

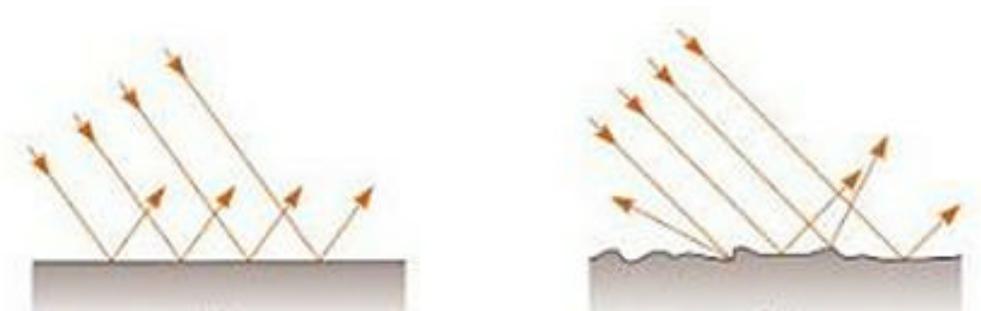


Figura 2. Propiedad de Reflexión
Fuente: Serway y Jewett (2007)

La reflexión es referida por Martínez (2007), en su libro *Sistemas Eléctricos y Electrónicos de las Aeronaves* de la siguiente forma “la reflexión supone un cambio brusco en la dirección de la onda al chocar con un medio denso o un obstáculo”. (Pág. 470). Es decir, es un cambio de dirección

sufrido por la señal, la cual rebota en un cuerpo que se atraviesa en su trayectoria, haciendo que una parte de ella se refleje, retrocediendo en sentido contrario.

Otra propiedad de las ondas electromagnéticas es la refracción, la cual es definida por Barrio (2008), en una publicación titulada Física y Química, como “el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio a otro distinto” (Pág. 156). Cuando las señales viajan en el ambiente, a veces se encuentran con áreas que tienen distinta densidad, el cambio de consistencia entre un medio y otro altera su dirección un poco al cambiar el ángulo en el que se propaga.

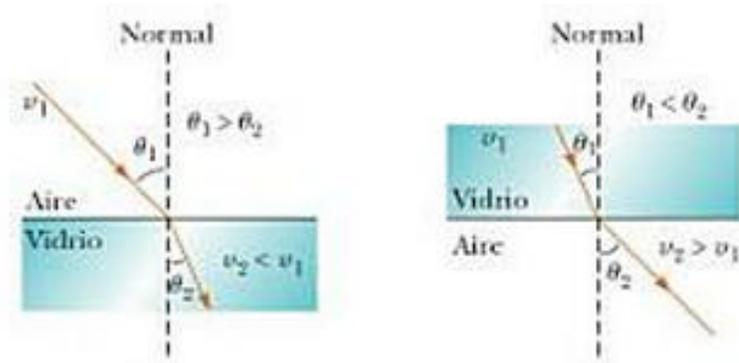


Figura 3. Propiedad de Refracción
Fuente: Serway y Jewett (2007)

Barrio, citado anteriormente, señala también otra característica de las ondas conocida como difracción de la siguiente manera, “muestra la distorsión que experimenta una onda cuando se interpone en su camino un obstáculo u orificio, cuando su tamaño sean del mismo orden que la longitud de onda.” (Pág. 156). El efecto de esta característica básicamente obliga a la

onda a curvarse y esparcirse dando origen a varias sub-ondas conocidas como ondas difractadas, cada una de las cuales posee su propia trayectoria dependiendo del ángulo con que se difracten.

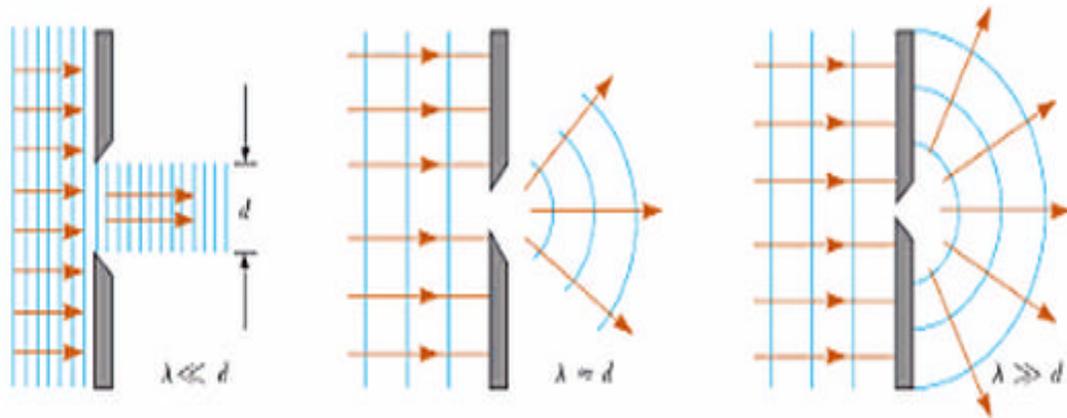


Figura 4. Propiedad de Difracción
Fuente: Serway y Jewett (2007)

Por último se tiene también la interferencia, la cual es definida por Petraco (2009), en su libro *Color Atlas of Forensic Tool Mark Identification*, como “la interacción ocurrida entre dos ondas que tienen la misma fase y frecuencia que viajan por el mismo medio”. (Pág. 4). Además añade que existen dos tipos, “la interferencia puede ser constructiva o aditiva si al final se obtiene una onda con mayor amplitud o destructiva cuando la amplitud de la onda disminuye”. (Pág. 4).

Cuando se encuentran dos o más ondas, es necesario que tengan la misma frecuencia y fase para que puedan interactuar entre ellas, si esto ocurre, dependiendo de sus características originales van a dar como

resultado una onda nueva que mantiene la misma frecuencia pero su amplitud se verá afectada de manera constructiva o destructiva.

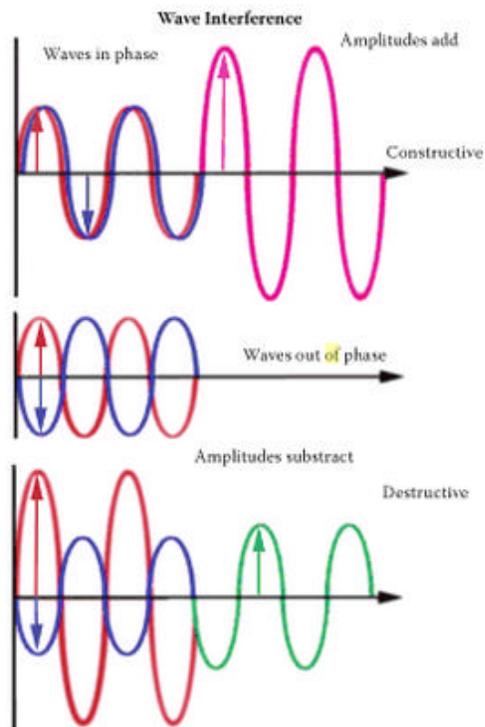


Figura 5. Propiedad de Interferencia
Fuente: Petraco (2009)

2.6. MICROONDAS

Karmakar (2011), en su libro *Microwave propagation and Remote Sensing: Atmospheric Influences with Models and Applications*, refiere que las microondas son “un término general para incluir la región en centímetros, milímetros y submilímetros del espectro. Usualmente la banda de frecuencia que se extiende entre 3 y 300 GHz se conoce como banda microondas” (Pág. 1). Del mismo modo, Zitzewitz (2011) refiere, en su publicación *The*

Handy Physics Answer Book, que las microondas son “ondas electromagnéticas con frecuencias por encima de 3GHz. Se utilizan en teléfonos inalámbricos, internet inalámbrico, dispositivos con Bluetooth, radio, televisión satelital y comunicaciones militares (Pág. 152).

Esto quiere decir, que las microondas son un parte del espectro electromagnético, específicamente del espectro radioeléctrico que abarca las ondas de super alta y extra alta frecuencia, lo cual hace de ellas un medio para la comunicación por radio, televisión satelital, entre otras cosas. Al viajar por medios inalámbricos, su capacidad para transmitirse depende enteramente de sus características físicas, las cuales pueden verse afectadas en su recorrido dificultando o impidiendo su recepción al ser reflejadas, refractadas o absorbidas por los distintos elementos que se encuentran presente en la atmósfera terrestre, lo cual puede influir de forma negativa en la eficiencia de las comunicaciones de este tipo al corromper la integridad de la señal emitida originalmente.

Los enlaces de microondas se utilizan ampliamente para la comunicación en redes WLAN principalmente debido a que, por la frecuencia a la que trabajan, no necesitan de ninguna clase de permiso para su instalación y operación, además al ser medios de comunicaciones inalámbricos, no requieren el uso de medios guiados para la transmisión de datos. Sin embargo una desventaja en su funcionamiento es que dependen de lograr una línea de vista entre emisor y receptor con la menor cantidad posible de

obstáculos que puedan comprometer la integridad de las señales transmitidas en la comunicación.

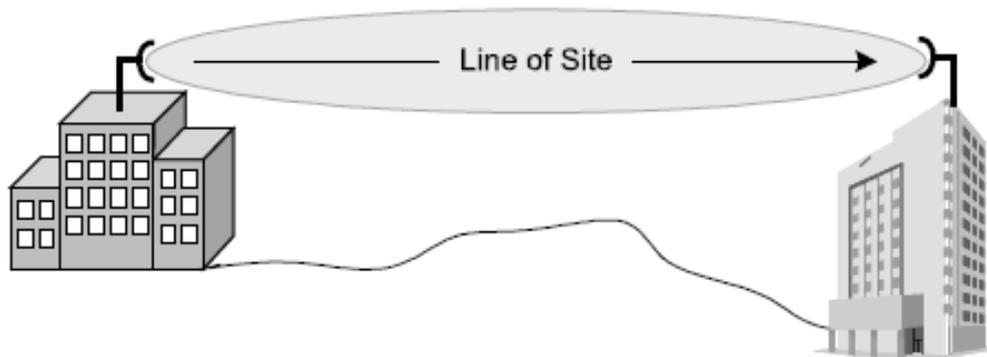


Figura 6. Línea de Vista
Fuente: Planet3 Wireless (2002)

2.7 POTENCIA DE UN ENLACE A 5 GHZ

La potencia en un enlace se refiere a la intensidad con que una señal es transmitida y recibida, la cual es medida en watts, aunque en el ambiente de las telecomunicaciones se refiere a ella en decibeles (db) y decibeles mili (dBm). Durante la transmisión de una señal, pueden surgir efectos indeseados que afectan de forma negativa la intensidad de la onda recibida como la atenuación, distorsión, interferencia y ruido, por lo que es necesario asegurar que la potencia de la señal recibida sea mucho más grande que la potencia de ruido, para poder recuperar la información.

La unidad básica de potencia es un sistema es el Watt (W), el cual es el producto de la corriente en Amperios multiplicado por el voltaje en Voltios. Planet3 Wireless (2002), en una publicación titulada Certified Wireless

Network Administrator Official Study Guide, señala que “en el caso de comunicaciones punto a punto externas entre edificios se utilizan potencias por encima de 100 miliWatts (mW). La mayoría de los niveles de potencia referidos por los administradores se expresan en mW o dBm” (Pág. 30). También señala lo siguiente “ambas unidades de medida representan un nivel de potencia absoluto, las dos son medidas estándar en la industria” (Pág 30).

$$P = I \cdot V \quad (3)$$

donde I es la intensidad de la corriente y V es el voltaje.

Por otro lado, Planet3 Wireless también refiere que “la ganancia y pérdida de potencia debe expresarse en dBm, no en Watts, ya que ganancia y pérdida son conceptos relativos y los dB son unidades relativas” (Pág. 31). Así mismo, también define los dBm de la siguiente forma “la m en dBm se refiere simplemente al hecho de que la referencia de la conversión es 1mW” (Pág. 31). Esto es fácilmente visto en la fórmula (4), expresada a continuación

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \quad (4)$$

donde se tiene que P_{dBm} es la potencia de un enlace expresada en milidecibeles, mientras que P es el valor de la potencia medida en Watts. Al obtener un valor de decibeles positivo, indica que la señal experimentó una

ganancia es su recorrido; si el índice es de 0 dBm, entonces el valor en Watts es de 1mW, por otro lado, si es negativo se sufrió de pérdida en la potencia de la señal.

En cuanto a los efectos sufridos por las ondas al viajar desde la antena emisora a la receptora, Tomasi (2003), en su libro *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* señala sobre la interferencia que “significa perturbar o estorbar. Se produce interferencia eléctrica cuando las señales de información de una fuente producen señales que interfieren con las señales de otra fuente.” (Pág. 40).

En otras palabras, cuando se tienen muy cerca fuentes que producen ondas electromagnéticas, puede suceder que interactúen unas con las otras, ocasionando cambios en las señales originales en amplitud y frecuencia. Así mismo, también define el ruido como “cualquier energía eléctrica indeseable que queda entre la banda de paso de la señal” (Pág. 34).

Del mismo modo, Castro y Fusario (2006), en una publicación titulada *Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información*, refieren con respecto a la distorsión lo siguiente, “es un fenómeno producido por las características reactivas de los circuitos eléctricos que se establecen a través de los sistemas de comunicaciones. En términos prácticos, el efecto es una deformación de la señal original.” (Pág. 58).

Dicho de otro modo, la distorsión es un fenómeno que altera la forma física de la onda electromagnética que se transmite, alterando características

intrínsecas de cada una de ellas como su amplitud, frecuencia o fase. Estos cambios afectan las comunicaciones ya que pueden incidir de forma significativa en la integridad de los datos que se transmiten, así como dificultar el proceso de recuperación de información.

3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Concomitante: Que aparece o actúa conjuntamente con otra cosa. (Diccionario de la Real Academia Española).

Correlación: Es el grado hasta el cual los cambios en una variable, llamada variable dependiente, están asociados con los cambios en otra. (Investigación de Mercados).

Punto de saturación: El aire está saturado de humedad cuando su humedad relativa alcanza un valor del 100%. (Curso de Climatología General).

4. SISTEMA DE VARIABLES

4.1. HUMEDAD RELATIVA

DEFINICIÓN CONCEPTUAL: La humedad relativa es igual al cociente entre la presión de vapor actual del aire y la máxima presión de vapor que puede tener a esa temperatura. Normalmente se expresa como porcentaje. (Llorca 2006).

DEFINICIÓN OPERACIONAL: Los valores de humedad relativa presentes en el ambiente son facilitados por la estación meteorológica La Chinita, que opera en la Base Aérea de Maracaibo. En esta estación se realizan mediciones a diario en intervalos de una hora entre las 5:00am y las 6:00pm y expresan los valores obtenidos al realizar el muestreo en porcentaje.

4.2. POTENCIA DE UN ENLACE DE 5 GHZ

DEFINICIÓN CONCEPTUAL: Es el valor expresado en Watts o dbm de la intensidad con que se recibe una señal en un enlace a una potencia determinada de 5 GHz. (Tomasi 2006)

DEFINICIÓN OPERACIONAL: La potencia del enlace se mide a través del programa AirControl de UBIQUITI, el cual expresa registra los valores recibidos por la antena cada hora y los expresa en unidades de dbm.