

CAPÍTULO 1

TEORIA DE LA PROPAGACIÓN DE RF

1.1 Ondas Electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas se clasifican según su frecuencia de oscilación. En orden creciente de frecuencia se dividen en: ondas de radio, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioletas y rayos x. Al aumentar la frecuencia, disminuye la longitud de onda, que se obtiene como producto del cociente entre la velocidad de propagación en el medio y la frecuencia. La velocidad de propagación es una constante para todas las frecuencias, y en el vacío su valor es de $c = 300.000.000$ m/s, es decir, a la velocidad de la luz. [14]

La ecuación 1.1 muestra la manera en que se calcula la longitud de onda para una propagación determinada. [14]

Longitud de onda λ = Velocidad de propagación / Frecuencia *Ecuación*
 1.1

Longitud de onda λ expresada en metros.

Velocidad de propagación expresada en metros/segundo.

Frecuencia expresada en Hertz.

En la tabla 1.1, se presenta cómo está dividido el espectro radio eléctrico y sus respectivas frecuencias y longitudes de onda.

| Frecuencia | Denominación | Longitud de onda |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 3 – 30 Khz | VLF Frecuencia muy baja | 100,000 – 10,000 m |
| 30 – 300 Khz | LF Frecuencia baja | 10,000 – 1000 m |
| 300 – 3000 Khz | MF Frecuencia media | 1000 - 100 m |
| 3 – 30 Mhz | HF Frecuencia alta | 100 – 10 m |
| 30 – 300 Mhz | VHF Frecuencia muy alta | 10 – 1 m |
| 300 – 3000 Mhz | UHF Frecuencia Ultra elevada | 1 m – 10 cm |
| 3 – 30 Ghz | SHF Frecuencia Superelevada | 10 – 1 cm |
| 30 – 300 Ghz | EHF Frecuencia Extremadamente alta | 1 cm – 1 mm |

Tabla 1.1 División del espectro radioeléctrico y longitudes de onda.

Las ondas de radio se desplazan en líneas rectas bajo condiciones estables, es decir, con una atmósfera uniforme. Debido a la forma esférica de nuestro planeta, la comunicación con un punto situado más allá del horizonte o alcance visual será posible en solamente bajo ciertas condiciones y en determinadas frecuencias. Para poder comunicarse a grandes distancias entre puntos situados sobre la superficie terrestre se utilizan las frecuencias de HF conocidas como onda corta, ya que estas ondas son reflejadas en la atmósfera y regresan a la tierra a varios kilómetros del emisor más allá de la línea de vista. Las frecuencias altas, es decir, las comprendidas en el rango de VHF, UHF, SHF y EHF no se reflejan en la atmósfera y por lo tanto están limitadas al alcance visual entre en transmisor y receptor. [14]

Gracias a los fenómenos de refracción, reflexión, dispersión y difracción, se pueden establecer enlaces entre puntos que no tengan línea de vista. Las ondas electromagnéticas pueden viajar a través del vacío a la velocidad de la luz, por lo general se considera que en la atmósfera la reducción de la velocidad es muy pequeña, por lo que para fines prácticos se considera que su velocidad es aproximadamente la de la luz. [14]

1.2 Onda de Tierra.

Estas ondas, son afectadas de varias formas por el medio por el cual son transmitidas. Las ondas viajan cerca de la superficie de la Tierra en diferentes maneras, algunas tienen contacto directo entre ellas y la tierra como se puede ver en la figura 1.1. Entonces, cuando hablamos de onda de tierra nos referimos a aquellas que están muy cerca de ésta, alcanzando el punto receptor sin tener que abandonar la tropósfera (capa más baja de la tierra); lo cual se puede lograr si sigue viajando en contacto con la tierra. También, puede viajar directamente de la antena transmisora a la receptora, esto es, en línea de vista.

Dentro de las ondas de tierra, se incluyen a las que tienen la característica de seguir la curvatura de la tierra mediante flexiones en la atmósfera baja de la Tierra o la tropósfera, usualmente se refiere a no más de una cuantas millas de la superficie de la Tierra. Comúnmente se le llama flexión troposférica, el cual es básico en las comunicaciones de radioaficionados ubicadas en los 50MHz.

La velocidad de la onda terrestre, varía según la superficie sobre la que viaja la onda. Es necesario que estas ondas se estén refractando una gran cantidad de veces para poder seguir la curvatura de la tierra. La cantidad de refracciones depende de la frecuencia de la onda.

Las frecuencias bajas se refractan en mayor cantidad que las de alta frecuencia, esto se debe a las propiedades de propagación de las ondas de acuerdo a la banda del espectro, las ondas de baja frecuencia al llegar al horizonte óptico se reflejan en la atmósfera y regresan a grandes distancias sobre la superficie de la tierra, sin embargo para altas frecuencias, cuando las

ondas llegan al horizonte éstas siguen su trayectoria recta y abandonan la superficie terrestre atravesando las capas de la atmósfera, esto significa que los sistemas de muy de alta frecuencia están limitados a la línea de la vista o bien, a solamente 42.25 Km.

La onda terrestre se retrasa a lo largo de su viaje a través de la atmósfera y del excedente la superficie de la Tierra. La pérdida de la velocidad causada por la atmósfera es muy pequeña; pero la pérdida puede llegar a ser significativa cuando la onda viaja sobre tierra. La onda recupera la velocidad perdida en función de las mejoras de las condiciones de propagación.

La velocidad aumenta cuando la onda pasa por un cuerpo de agua como los mares o lagos, algunas frecuencias pueden fluir alrededor de las obstrucciones y otras serán reflejadas o paradas totalmente. Entonces, mientras más alta es la frecuencia más probable es que sea obstruida y parada.

1.3 Onda Superficial.

Las ondas superficiales viajan en contacto con la superficie de la Tierra. Éstas pueden cubrir mas de 160 Km durante el día, momento durante el cual la atenuación es muy grande y va aumentando conforme aumenta la frecuencia.

[21]

La onda superficial es guiada sobre la superficie de la Tierra siguiendo su curvatura y si ésta fuese un conductor perfecto la transmisión alcanzaría

distancias enormes, pero no ocurre así. Se inducen tensiones entre las ondas y el suelo que dan lugar a una cierta pérdida de energía que, como sabemos provoca una atenuación de la onda y con esto se acorta en gran medida la distancia útil a la que es capaz de llegar la señal radiada por la antena del emisor. [21]

Cuando una onda llega a tierra, su frente se refleja y se invierte su fase, es decir, sufre un desfase de 180° con relación a la onda que sale de la antena. Cuando la distancia entre antenas es corta y quedan casi a la misma altura del suelo, prácticamente se considera idéntica la longitud recorrida por las dos ondas y se anula en la antena receptora. Se denominan en fase también, cuando la señal reflejada llegue a la antena receptora un múltiplo impar de una semionda y, estarán en oposición de fase, cuando la señal reflejada llegue al punto receptor un múltiplo par de la semionda. [21]

La conductividad es mayor cuanto más húmedo está el terreno, asimismo es mucho mayor a través del mar que sobre tierra firme. Este es uno de los motivos por los que las emisoras situadas junto al mar aumentan en gran medida su alcance cuando dirigen sus emisiones en esta dirección. Por un lado el agua favorece la conductividad y por otro la ausencia de obstáculos físicos permite a la onda superficial adaptarse al máximo a la curvatura terrestre. Este tipo de emisoras de cara al mar se dedican, sobre todo, a comunicaciones con ondas largas dirigidas a los barcos, que llegan a distancias difíciles de alcanzar con ondas directas o reflejadas. La banda de frecuencia llega de 15 a 300 kHz, lo que supone una longitud de onda a partir de 1,000 m en adelante. [21]

Por las condiciones de propagación tan especiales, estas ondas se utilizan poco y con fines comerciales. Su interés reside en aprovechar las ondas superficiales sobre el mar, donde la onda se atenúa muy poco y se alcanzan distancias de hasta 1,500 km. Estas señales son muy estables y no sufren variaciones diurnas ni estacionales. [21]

1.4 Onda de Espacio.

Las ondas de espacio constituyen la superposición de todos los tipos de señales que llegan al receptor. Así, las señales reflejadas por la Tierra y las de línea de vista, entran dentro de este rubro.

Estas comunicaciones pueden soportar un gran ancho de banda para la señal. Las ondas de espacio son una adición de la transmisión en línea de vista y las ondas de cielo en la propagación ionosférica, lo cual debe evitarse, no solo por la reducción del ancho de banda, sino también por la separación multidireccional en tiempo, la cual impide la velocidad de transmisión de datos. Uno de sus problemas potenciales, es la interferencia ocasionada entre los dos modos antes mencionados.

A su vez, las ondas espaciales pueden clasificarse en otros dos tipos: ondas troposféricas y ondas ionosféricas.

Las primeras se propagan por zonas cercanas a la superficie, hasta 10 Km. aproximadamente, mientras que las segundas lo hacen por encima de esta altura hasta llegar a 500 Km., en la zona conocida como ionosfera.

Con las ondas ionosféricas pretendemos desviar la trayectoria de las ondas electromagnéticas haciéndolas regresar de nuevo a la superficie de la Tierra en un lugar muy alejado del punto de emisión.



Figura 1.1 Propagación de las Ondas de Radio.

Las ondas troposféricas son aquellas que se propagan en la zona de la atmósfera que tiene este mismo nombre: tropósfera. Esta región situada entre 300 y 10,000 metros sobre la superficie, es el lugar en donde se forman las nubes y en el que las ondas pueden sufrir algún tipo de modificación debido a la influencia de las capas del aire.

Las condiciones de propagación de estas ondas presentan una gran dependencia de la temperatura y humedad del aire contenido en la tropósfera. Como estos valores no son constantes en ninguna zona, la propagación será irregular en esta capa atmosférica. Basta observar cualquier mapa meteorológico para darse cuenta de que la temperatura va cambiando de forma irregular de acuerdo a la altura. Por otro lado, las fotografías desde los satélites muestran una diferente localización de las nubes en cada momento del día y en cada punto del globo, por lo que como se mencionó anteriormente la propagación de las ondas de espacio es muy irregular y varía constantemente en base a los fenómenos mencionados en este párrafo.

1.5 Onda de Cielo (Skywave).

Las reflexiones de dichas ondas son causadas por la onda que es refractada en la Ionosfera. Las reflexiones dependen en gran parte de la frecuencia de la onda, el grado y la fuerza de las reflexiones recibidas en la superficie de la tierra, que a su vez depende del estado de la Ionosfera. De este modo, puede variar con el ciclo diario y estacional del sol.

En cuanto a la Ionosfera consiste de capas de gases ionizados o cargados eléctricamente por la radiación ultravioleta del sol, por esta razón varían de acuerdo a la hora y la estación. Su uso principal es en línea de vista y también para comunicaciones enlazadas con satélites.

La transmisión de la onda de radio se separa en todas las direcciones inmediatamente. En la siguiente ilustración, se muestra cómo la onda de cielo (skywave) cae más lejos que la onda terrestre, sobre un área amplia.

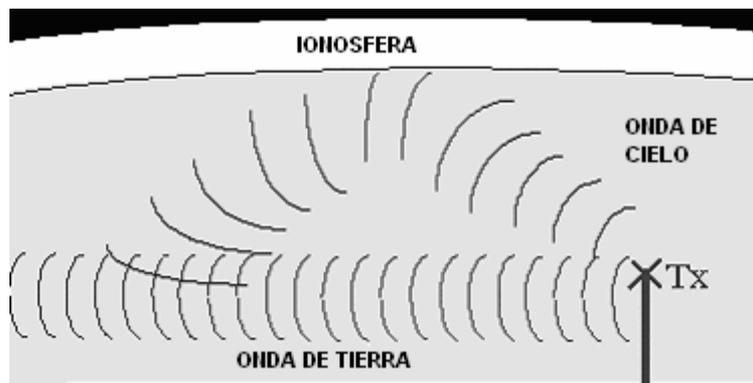


Figura 1.2 Onda de Cielo y Onda de Tierra.

Cuando se habla de distancia de salto, se entiende que es el punto del primer reflejo de la onda de cielo, entre el transmisor y el receptor. (*Skip distance*).



Figura 1.3. Distancia de Salto.

Hay algunas complicaciones con el uso de las ondas de cielo. Una de ellas se debe a que el sol ioniza los gases que hacen que la densidad de la ionosfera varíe dependiendo si es de día o de noche. En la noche, la capa más baja desaparece totalmente, los niveles más altos se combinan y se van desvaneciendo poco a poco, aunque nunca llegan a desaparecer totalmente.

Esto significa, que la noche es el mejor momento para las reflexiones de las ondas de cielo, ya que aumenta la distancia de salto. En lo que se refiera a complicaciones, la mayor de éstas ocurre en la puesta del sol y en su salida, cuando las capas más bajas se están desvaneciendo o reformando. El momento idóneo para las ondas de cielo cambia constantemente y las reflexiones se extienden hacia adelante y hacia atrás sobre la superficie de la tierra que causa interferencia. Esto no aplica a las distancias menores que la distancia de salto.

La onda va perdiendo energía a su paso de acuerdo con la densidad creciente de la ionosfera, esto se conoce como atenuación. Durante día las ondas de cielo se puede reflejar en la segunda capa de la ionosfera y en su viaje de regreso a la superficie de la tierra la onda encuentra la capa más baja de la ionosfera una segunda vez, entonces la onda será refractada y atenuada

aún más. Durante la noche las ondas de cielo pueden llegar a ser tan fuertes como la onda terrestre.