**Nelson FIGARO**

**ID: UM21380STE29535**

**ASIGNATURA:**

**Propagación de Ondas Electromagnéticas.**

**ADVISOR:**

**Dr Mirriam Garibaldi**

**TUTOR:**

**Ofelia Hernandez**

**MASTER’S DEGREE OF TELECOMMUNICATIONS**

**ATLANTIC INTERNATIONL UNIVERSITY**

**HONOLULU, HAWAI, USA**

**PRESENTACION:**

La Telecomunicación es la ciencia por excelencia que trata a unir varios puntos de cuantas distancias que se pueden encontrarse uno a otros en un entorno de relación, es decir un punto o un individuo puede comunicar con otro lejano solamente por medio de las TELECOMUNICACIONES teniendo en cuenta el sistema de comunicación a utilizar; pero eso no se puede hacer sin este fin que se llama “PROPAGACION o también MEDIO DE PROPAGACION” dependiente del sistema utilizado. Este tema se revela tan importante en las telecomunicaciones que no podemos desarrollar nuestras asignaturas en nuestro programa de MAESTRIA sin meter bajo la luz científica el tema tan necesario para las telecomunicaciones que es propagación de ondas. En esta asignatura, desarrollaremos ampliamente las propagaciones de las ondas y los medios de propagación de manera que este tema que tratamos como asignatura se revela una herramienta importantísima para cualquier profesional o amante de las telecomunicaciones. Nos proponemos a definir explícitamente los temas que estudiaremos, presentar imágenes, dar algunas formulas; pero los cálculos propiamente dichos, los sometemos en la asignatura 003 radios enlace necesario para la planificación o el planteamiento de un enlace que un técnico o Ingeniero de telecomunicación se propone hacer. También iremos más lejos que una simple asignatura porque con las informaciones bien elaboradas en esta tarea, cualquier profesional en la enseñanza de sistema de telecomunicaciones se las puede usar para la preparación de sus estudiantes. Este trabajo nos ayudara entender los conceptos básicos de la propagación de las ondas electromagnéticas en el medio de transmisión.

**INTRODUCCION:**

No podemos hablar de propagación de ondas sin sobrerayar uno de los elementos más importante que lo constituye “las Ondas”. Las ondas constituyen el elemento básico que nos proveen información a distancia; por ejemplo, la luz nos permite observar objetos muchos antes que estén a nuestro alcance para tocarlos, el sonido de varios relámpagos consecutivos nos permite estimar si una tormenta se aleja o se acerca de nosotros, los varios elementos del espectro electromagnéticos que emiten los cuerpos celestes nos proveen informaciones necesarias para entender aspectos de la estructura del cosmos. Digamos que en un planeta donde la existencia de atmosfera, luz solar en mayor proporción, la predominancia de océanos; elementos cuanto esenciales para la vida de seres que aprovechan las propiedades de las ondas vehiculadas por medio de estos elementos para sus evoluciones y sincronizaciones con el medio ambiente. Por ejemplo: Un murciélago, utiliza ondas acústicas con frecuencias aproximadas de 20kHz para localizar algunas víctimas, un cetáceo utiliza ondas acústicas de 400Hz para localizar otros miembros de su grupo. Un homo sapiens tiene varias opciones. Uno que es afecto a la geofísica puede utilizar ondas acústicas de 10-100Hz para localizar recursos minerales en el subsuelo. La sísmica de reflexión que utilizan los geofísicos y la ecolocalización utilizada por el murciélago comparten un principio elemental común: Las ondas que rebotan en un objeto y regresan en forma de eco tienen información valiosa que es utilizable para conocer ciertas características del medio en que se propagan las ondas y conocer características inherentes al objeto mismo (posición, velocidad etc). Que diremos de las ondas acústicas del sonido entre 20Hz-20kHz. Las otras ondas que hacen objetos de estudio en la propagación serán estudiadas ampliamente según sus bandas de frecuencias.

**Definición de Propagación de ondas**

La propagación de ondas es la transferencia con una velocidad de una señal reconocible llamado onda de un lugar a otro a través espacios llamados medios de propagación (G.B. Whithman). Así, podemos decir que una onda es la perturbación que se propaga en el tiempo y en el espacio manteniendo ciertas características discernibles. Por ejemplo, arrojamos una piedra en una pileta de agua, el impacto de aquella sobre la superficie del líquido, genera olas concéntricas que se van alejando del centro y disminuyendo en altura o amplitud.

Fig 1

**Conceptos básicos de la propagación de las ondas electromagnéticas**

Desde el punto de vista energético, las ondas de radio que emiten una estación transmisora, resultan de la composición de dos tipos de energía: uno de características eléctricas y otro substancialmente de composición magnética. Como resultado de la combinación de ambas, se obtiene lo que se denomina comúnmente Campo Electromagnético, el cual está constituido por todo el conjunto de ondas electromagnéticas. Tomamos en cuenta el arrojamiento de la piedra sobre el agua para poder explicar explícitamente el comportamiento de las ondas electromagnéticas cuando se propagan:

Si por ejemplo tenemos el agua en posición de reposo que llamamos 0, esta se va levantando hasta alcanzar un nivel máximo, que llamamos +1, a partir de cuyo punto comienza a decrecer hasta alcanzar nuevamente el valor 0. En este punto el nivel del agua comienza ahora a bajar con respecto al de reposo, y alcanza un punto máximo bajo el nivel que llamaremos -1. Una vez alcanzado el punto máximo de descenso, el agua empieza nuevamente a subir y llegar ora vez al punto de reposo, el nivel 0. De ahí en adelante se repite todo el proceso al paso de la siguiente ola. Presentamos una grafica o imagen para mejor explicarlo.

**+1**

**0**

**0**

**-1**

**0**

1 ciclo

Fig 2

Hemiciclo Positivo

Hemiciclo Negativo

Nivel de reposo

0

La curva completa, es decir arrancando de 0, pasando sucesivamente por los puntos +1 (máximo), 0, -1(mínimo), y nuevamente 0, se denomina Ciclo. Si nos tomamos el trabajo de medir el tiempo en que sucedió todo este proceso, supongamos un segundo 1 segundo, diremos que la ola cumplió 1 ciclo por segundo.

Como hemos analizado las ondas en forma de ola cuando arrojamos una piedra en el agua, se pasa exactamente la misma cosa con las ondas de radio. Aunque no lo podemos comprobar directamente, pero por medio de instrumentos se puede comprobar, estas tienen también un medio ciclo positivo y un medio ciclo negativo. Analizamos con más propiedad, vemos que las olas se propagaban sobre la superficie del agua a una determinada velocidad. Es lo mismo que ocurre con las ondas de radio. Se propagan pero esta propagación se realiza por el aire, o por el espacio, o por el éter, a una velocidad igual a la velocidad de la luz, que es de 300.000km. por segundo.

Cuando tomamos el tiempo en que se completa un ciclo, comprobamos que esto se realiza en 1 segundo, técnicamente digamos que la frecuencia es de un ciclo por segundo. Analizamos la propagación del corriente a través de un alambre, digamos que él se propaga a razón de 50 ciclos por segundo, o sea su frecuencia es de 50 ciclos por segundo. Eso quiere decir que dicha corriente repite un ciclo completo (medio ciclo positivo y medio ciclo negativo), 50 veces por segundo. Las ondas de radio se comportan de la misma forma, con la diferencia que estos ciclos tienen una frecuencia mucho mayor. Las ondas de radio se distinguen entre sí por su frecuencia o por su longitud de onda. La longitud de un ciclo simple puede ser de muchos kilómetros de largo hasta uno pocos milímetros. *Y la frecuencia representa la cantidad de ciclos que una onda de radio cumple en un segundo*. Es la más común descripción de una señal en radiocomunicaciones. La unidad internacional de frecuencia es el hertzio (Hz); representa un ciclo por segundo. Los múltiplos del Hz se indican mediante prefijos: Kilo por mil, Mega por un millón y Giga por mil millones. De manera que un millón de Hz (un millón de ciclos por segundo), se expresa como un megahertzio, abreviación 1MHz. El espectro radio eléctrico contiene aquellas frecuencias que son más altas que las que el oído humano es capaz de percibir. Ese espectro en forma general se extiende entre:

30 kHz y 300 GHz

Pero por el momento no es utilizado en su totalidad todo el espectro de frecuencias en las radiocomunicaciones, debido que la tecnología no ha avanzado suficientemente para hacer uso de la microonda de frecuencias más altas. Digamos que solo se usa un uno por ciento del espectro.

Es necesario de mencionar que en la propagación de ondas hay una relación fundamentalmente importante entre la frecuencia y la longitud de onda; esta relación va constituir la base de todos los cálculos que entran en la planificación de la propagación de ondas. Esta relación se ilustra en la siguiente fórmula:

ʎ = c/f

Donde:

ʎ: Es la longitud de onda

C: Velocidad de la luz en espacio libre (300 000km por segundo).

f: la frecuencia.

De esta relación podemos decir, a las señales de longitud de onda más largas, corresponden frecuencias menores, y a las frecuencias mayores corresponden longitudes de ondas más cortas.

Así para uso de manera adecuada, de acuerdo con números asignados a las bandas: Banda1, banda2 etc. La UIT (unión Internacional de las telecomunicaciones) clasifica las frecuencias de la forma siguiente:

|  |
| --- |
| **DISTRIBUCION CONVENCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO** |
| **BANDA** | **DENOMINACION** | **LONGITUD****DE ONDA** | **GAMA DE****FRECUENC.** | **CARACTERISTICAS** | **USO TIPICO** |
| **SIGLA** |
| ELF | EXTRA LOWFREQUENCIESExtremadamente baja | 3-30Hz | 10,000A100,000 km |  | Comunicación bajo el agua |
| SLF | SUPER LOWFREQUENCIESSuper baja frecuencia | 30-300Hz | 1,000A10,000 km |  | Alimentación de CA (aunque no una onda de transmisión) |
| ULF | ULTRA LOWFREQUENCIESUltra baja frecuencia | 300A3000Hz | 100A1,000 km |  |  |
| VLF | VERY LOWFREQUENCIESMuy baja frecuencia | 3-30kHz | 10-100 km | Propagación por onda de tierra. Atenuación débil. Características estables. | Balizas de navegación. Enlace de radio a gran distancia. |
| LF | LOW FREQUENCIEDe baja frecuencia | 30-300kHz | 1-10 km | Similar a la interior pero de características menos estables.  | Enlace de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.  |
| MF | MEDIUM FREQUENCIESFrecuencia media | 300kHzA3MHz | 1000 mA100 m | Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el dia. Prevalece propagación ionosfera durante la noche. | Radiodifusión, Aviación. |
| HF | HIGH FREQUENCIESFrecuencia alta | 3MHzA30MHz | 100 mA10 m | Prevalece propagación ionosferica con fuertes variaciones estacionales en las diferentes horas del día y en la noche. | Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia. |
| VHF | VERY HIGH FREQUENCIE Frecuencia muy alta | 30MHzA300MHz | 10 mA1 m | Prevalece propagación directa, ocasionalmente propagación ionosfera o troposfera. | Enlace de radio a corta distancia, Televisión, Frecuencia Modulada (FM). |
| UHF | ULTRA HIGH FREQUENCIESFrecuencia ultra alta | 300MHzA3GHZ | 1 mA10 cm | Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.  | Enlaces de radio, ayuda a la navegación aérea, Radar, Televisión, Teléfonos móviles, GPS. |
| SHF | SUPER HIGH FREQUENCIESFrecuencia super alta | 3GHzA30GHz | 10 cmA1 cm | Como la precedente | Enlaces por satélite, Comunicación inalámbricas, Radar, Enlaces de radio. |
| EHF | EXTRA HIGH FREQUENCIESFrecuencias extra alta | 30GHzA300GHz | 1 cmA1 mm. | Como la precedente | Astronomía, Teledetección. |
| EHF | EXTRA HIGH FREQUENCIESFrecuencias extra alta | 300GHzA3000GHz | 1 mm.A0.1 mm. |  | Todavía nuestra tecnología no alcanza esa gama de frecuencias. |

Tabla 1.

**DESCRIPCION DEL MEDIO DE PROPAGACION:**

La propagación de ondas se refiere a la propagación de ondas electromagnéticas en el medio descrito como el espacio libre. Aunque el espacio libre implica realmente el vacio, con frecuencia la propagación por toda la atmosfera se llama propagación por el espacio libre y se puede considerar siempre así. La principal diferencia es que la atmosfera de la tierra introduce perdidas de la señal que no se encuentran en el vacío. Las ondas electromagnéticas se propagan a través de cualquier material dieléctrico incluyendo el aire pero no se propagan bien a través de conductores con pérdidas como el agua de mar ya que los campos eléctricos hacen que fluyan corrientes en el material disipando con rapidez la energía en las ondas.

 Las ondas de radio se consideran ondas electromagnéticas como la luz y al igual que esta, viajan a través del espacio libre en línea recta con una velocidad de 300,000000 metro por segundo***. Otras formas de ondas electromagnéticas son los rayos infrarrojos, los ultravioleta, los rayos X, y los rayos gamma.***

En la atmósfera existe una división de grandes regiones con diferentes características: La troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la ionósfera.



1. **Tropósfera.**

Es la capa inferior de la atmosfera terrestre y escenario de todos los procesos meteorológicos, ya que es aquí que se encuentran las nubes, tormentas, vientos, frentes de diferente presión, temperaturas variables ect. La troposfera se extiende hasta una altitud de unos 11 km sobre las zonas polares y hasta 16 km sobre las regiones ecuatoriales. La troposfera contiene el 80% de toda la masa de gases de la atmosfera y 99% de todo el vapor de agua. En general, la temperatura de la troposfera decrece con la altitud a razón de 5 y 6o C/km. En la troposfera, los intercambios de calor se producen por turbulencia y por el viento, y los intercambios de agua por evaporación y precipitación. La intensidad de los vientos crece con la altura, y las nubes más altas alcanzan una altitud de 10km.

 Esta capa es la responsable de la mayoría de las condiciones de propagación en VHF según las condiciones del clima.

1. **Estratósfera.**

Es una capa superior de la atmosfera que empieza a una altitud entre los 12,9 y 19,3 km y que se extiende 50 km hacia arriba. En su parte inferior la temperatura permanece casi invariable con la altitud, pero a medida que se asciende aumenta muy de prisa porque el ozono absorbe la luz solar. La atmosfera carece casi por completo de nubes u otras formaciones meteorológicas. Por debajo de la estratosfera se sitúa la troposfera de la que está separada por una zona denominada tropopausa. Por encima la estratosfera termina en la estratopausa.

 Es una capa de baja densidad que no tiene ninguna influencia sobre las comunicaciones. Tiene gran poder de absorción de la radiación ultravioleta del sol, en la que el ozono juega un papel muy importante, impidiendo que los rayos ultravioletas alcancen la superficie de la tierra.

1. **Mesósfera.**

 Esta situada entre 50 y 80 km por encima de la superficie. Está por encima de la estratósfera y por debajo de la ionósfera (esta capa se conoce como termosfera). La estratosfera y la mesosfera reciben a veces el nombre de atmósfera media. La interface entre estratosfera y mesósfera se llama estratopausa, mesopausa la que separa la mesósfera de la termósfera. La mesosfera contiene solo cerca del 0,1% de la masa total de la atmosfera por debajo de 80km, es importante por la ionización y las reacciones química que ocurren en ella. La atmosfera media está formada por los mismos componentes de la troposfera (sobre todo nitrógeno y oxigeno), pero también contiene algunos gases menores muy importantes, en especial ozono.

1. **Ionosfera.**

Se encuentra sobre la mesosfera y hasta una altura de 600 km. Esta región de la atmosfera se ioniza, al recibir la radiación ultravioleta y los rayos X del sol, y se liberan electrones de las moléculas de Nitrógeno y Oxigeno (que pueden permanecer muchas horas en ese estado y en grandes aéreas). Si estos electrones reciben excitación de radiofrecuencia, están en condiciones de irradiarla nuevamente hacia áreas adyacentes, incluida la tierra, o simplemente la disipan.

 La ionosfera es un grupo de capas en nuestra atmosfera donde el aire es muy delgado y que se extiende entre unos 50 km y unos 500 km de altura. Bajo la influencia de la radiación solar los átomos se rompen para formar los iones. Lo mejor de este proceso es que esos iones pueden reflejar o doblar ondas de radio hasta una determinada longitud de onda.



 La ionización es un proceso de ruptura de los enlaces electrónicos en los átomos, que producen la formación de parejas de iones de cargas opuestas. Los principales mecanismos de ionización son la colisión de los átomos o moléculas con otros átomos e iones, la interacción con algún tipo de radiación y la aportación de calor.

Durante el día puede haber en la ionosfera cuatro (4) regiones o capas llamadas D, E, F1, y F2. Sus alturas aproximadas son:

* Región D de 50 a 90 km.
* Región E de 90 a 140 km.
* Región F1 de 140 a 210km.
* Región F2 más de 210 km de altura.

En el desarrollo del tema Propagación ionosferica describiremos las diferentes capas.

**FENOMENOS QUE CAUSAN ATENUACION.**

Las interacciones de las ondas electromagnéticas con varios objetos en el ambiente, asi como la tierra, edificios, vegetación, farolas, personas, etc. Están comúnmente asociados a otros mecanismos de la propagación. Estos mecanismos de propagación también causan atenuación de las ondas electromagnéticas pero debido a otros fenómenos como la Absorción, Reflexión, Difracción, Refracción, Dispersión, o una combinación de aquellas.

1. **Absorción:**

Cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente se debilitan o se atenúan. La cantidad de potencia perdida va a depender de su frecuencia y por supuesto, del material. La potencia se decrece de manera exponencial y la energía absorbida generalmente se transforma en calor.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Material** | **Ejemplo** | **Interferencia** |
| Madera | Tabique | Baja |
| Vidrio | Ventanas | Baja |
| Amianto | Techos | Baja |
| Yeso | Paredes interiores  | Baja |
| Ladrillo | Paredes interiores y exteriores | **Media** |
| Hojas | Árboles y Plantas | **Media** |
| Agua | Lluvia / Niebla | Alta |
| Cerámica | Tejas | Alta |
| Papel | Rollo de papel | Alta |
| Vidrio con alto contenido en plomo | Ventanas | Alta |
| Metal | Vigas, Armarios | Muy alta |

Tabla 2

En las redes inalámbricas, se considera al metal y el agua como absorbentes perfectos, o sea no van a ser atravesados (aunque capas finas de agua podrían permitir que una parte de la potencia pase). Cuando hablamos del agua, tenemos que recordar que la misma se encuentra en diferentes formas: Lluvia, nieblas, vapor y nubes bajas y todas van a estar en el camino de los radioenlaces.

Existen otros materiales que tienen un efecto más complejo en la absorción de la radiación electromagnética, por ejemplo, la absorción en los arboles y la madera, depende de cuanta cantidad de agua y de otros compuestos químicos contenga. Generalmente los plásticos y materiales similares, no absorben mucha energía de radio, pero esto varía dependiendo de la frecuencia y el tipo de material.

Otro factor a tener en cuenta son los seres humanos, es decir estamos compuestos mayormente de agua. En lo que a redes inalámbricas se refiere, podemos ser descritos como grandes bolsas llenas de agua, con la misma y fuerte absorción. Orientar un punto de acceso en una oficina de forma tal que su señal traviese muchas personas puede ser un error clave cuando se proyectan redes inalámbricas en oficinas. Lo mismo sucede en club nocturno, café, bibliotecas, e instalaciones externas.

1. **Reflexión:**

La reflexión de las ondas electromagnéticas ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera existente (un objeto) y parte de la potencia incidente no penetra el mismo. Las ondas que no penetran el objeto se reflejan. Debito a que todas las ondas reflejadas permanecen en el mismo medio que las ondas incidentes, sus velocidades son los mismos por lo tanto el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

 Este fenómeno depende de las propiedades de la señal y de las propiedades físicas del objeto. Las propiedades de la señal son el ángulo incidente de llegada al objeto, la orientación y la longitud de onda (ʎ). Las propiedades físicas del objeto en cambio son la geometría de la superficie, la textura y el material del que este compuesto.

 Una reja densa de metal actúa de igual forma que una superficie solida, siempre que la distancia entre las barras sea pequeña en comparación con la longitud de onda ʎ. A modo de ejemplo, para la frecuencia de 2,4GHz (ʎ = 12,5), una rejilla metálica con separación de 1 cm entre sus elementos va actuar de igual modo que una placa de metal solida.

1. **Difracción:**

La difracción ocurre cuando la trayectoria de radio entre el transmisor y el receptor esta obstruida por una superficie que tiene irregularidades agudas (bordes). Las ondas segundarias resultantes desde la superficie obstructora están presentes a través del espacio e incluso detrás del obstáculo, dando lugar a una flexión de ondas alrededor del obstáculo, al igual que cuando no existe una trayectoria de línea de visión entre el transmisor y el receptor. A alta frecuencia, la difracción como la reflexión depende de la geometría del objeto así como la amplitud, la fase y la polarización de la onda incidente al punto de difracción.



En la difracción se genera una pérdida de potencia de transmisión, donde la potencia de la onda difractada es significadamente menor que el frente de onda que la provoca. El principio de Huygens provee un modelo para comprender este comportamiento, donde cada onda de un obstáculo genera un nuevo frente de ondas, y este nuevo frente de ondas puede hasta rodear un obstáculo.  El fenómeno de la difracción se da en todas las frecuencias, cuando más baja es la frecuencia las ondas electromagnéticas se difractan mas, dando la impresión de doblar la esquina. En contraposición cuando más alta es la frecuencia de la transmisión más alta será la perdida.

 **En algunas aplicaciones muy específicas se puede aprovechar el efecto de difracción para rodear obstáculo.**

1. **Dispersión:**

La dispersión ocurre cuando el medio por el cual viaja la onda electromagnética está formado por objetos con dimensiones pequeñas comparadas a la longitud de onda ʎ, y donde hay un gran número de obstáculos por volumen de unidad. Las ondas dispersadas son producidas por las superficies ásperas, objetos pequeños, u por otras irregularidades en el canal.

La dispersión es un proceso de interacción general entre las ondas electromagnéticas y varios objetos. La dispersión provoca que parte de la energía sea irradiada en numerosas direcciones diferentes. Si hay muchos objetos en la trayectoria de la señal, y los objetos son relativamente pequeños comparado con la longitud de onda de la señal, entonces el frente de onda propagado se dividirá en muchas direcciones, añadiéndose a las interferencias constructivas y destructivas de la señal. Además los canales de construcción tales como una canalización eléctrica y cañerías de plomo pueden aumentar el efecto de dispersión. Para el caso de una red Wi-Fi los objetos dentro de una oficina pueden provocar este fenómeno, en cambio las gotas de lluvia no.

1. **Refracción:**

La refracción es el cambio de dirección de una onda electromagnética conforme pasa oblicuamente de un medio a otro, con diferentes velocidades de propagación. Por lo tanto la refracción ocurre siempre que una onda electromagnética pasa de un medio a otro de diferente densidad. El ángulo de incidencia es el formado entre la onda incidente y la normal, y el ángulo de refracción es el formado entre la onda refractada y la normal. En las redes Wi-Fi este fenómeno se da, pero no es muy significativo. Es más importante en WLAN de largo alcance.

Rayos Incidentes

Rayos Refractados

Medio 1 menos denso

Medio 2 mas denso

 Frente de la onda Incidente

 Frente de la onda Refractada

Normal

Interfase de los Medios

 **Figura Refracción en una frontera plana entre dos medios.**

**ESPECTRO RADIO ELÉCTICO.**

 Las ondas de radio reciben también el nombre de “corrientes de radiofrecuencia” (RF) y se localizan en una pequeña porción del denominado “Espectro Radio eléctrico” situado en el espectro de ondas electromagnéticas de rango 3kHz a 300GHz.

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_frec_radio/img_frec_radio/img_0010_4.gif |

El espectro Radioeléctrico o de ondas de Radio comprende desde los 3KHz de frecuencia, con una longitud de onda de100 000m (100Km), hasta los 30GHz de frecuencia, con una longitud de onda de 0,001m (1mm). Entre la radio frecuencia y el infrarrojo encontramos la región de las microondas.

 La banda de frecuencia de 2,40GHz está dentro dentro de la bandas que se mantienen abiertas para el uso general, o sea sin requerir licencia. Esta región se llama Banda ISM (ISM band: Industrial, Scientific and Medical band).

 

Las bandas ISM son de uso libre, pero las otras regiones del espectro requieren licencias, controladas por la legislación. Esta parte es muy útil para la difusión masiva. Su rango es:

 

 *Espectro de frecuencia utilizado por diferentes servicios y designación de las banda*

**Ley de Snell y Índice de refracción:**

La ley de Snell es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación de dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto. La misma ley afirma que la multiplicación del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie separatriz de dos medios. Aunque la ley de Snell fue formulada para explicar los fenómenos de refracción de la luz se puede aplicar a todo tipo de ondas atravesando una superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación de la onda varíe.



n1 y n2  son los índices de refracción de los materiales. La línea entrecortada delimita la línea normal, además de esto lo que esta línea es cuando la luz o la onda cambia de un medio a otro vemos también que snell hace referencia a la refracción, la cual es la línea imaginaria perpendicular a la superficie. Los ángulos ϴ son los ángulos que se forman con la línea normal, siendo ϴ1 el ángulo de la onda incidente y ϴ2 el ángulo de la onda refractada.

Consideremos dos medios caracterizados por índices de refracción n1 y n2 separados por una superficie S. Los rayos de luz u ondas que atraviesen los dos medios se refractaran en la superficie variando su dirección de propagación dependiendo del cociente entre los índices de refracción n1 y n2. Para una proyección ondular con un ángulo de incidencia ϴ1 sobre el primer medio, ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de propagación de la proyección, tendremos que la onda proyectada se propaga en el segundo medio con un ángulo de refracción ϴ2 cuyo valor se obtiene por medio de la ley de snell:

 n1senθ1 = n2senθ2

 n = C/v

Observamos que para el caso θ1 = 0 (rayos incidentes de forma perpendicular a la superficie) las ondas refractadas emergen con un ángulo θ2 = 0 para cualquier n1 y n2. La simetría de la ley de snell implica que las trayectorias de las ondas son reversibles.

**PERDIDA EN LA ATMOSFERA.**

 La atenuación se presenta tanto en el vacio libre como en la atmosfera terrestre. La atmosfera terrestre no se considera vacio debido a que contiene partículas que pueden absorber la energía electromagnética y este tipo de reducción de potencia se le llama perdidas por absorción la cual no se presenta cuando las ondas viajan afuera de la atmosfera.

**Atenuación: Ley del cuadrado inverso**

La ley del cuadrado inverso nos dice entre más lejano va el frente de onda de la antena transmisora, la densidad de potencia es más pequeña. En estos casos la potencia total distribuida sobre la esfera queda la misma cantidad. Por otro lado la área de la esfera aumenta en proporción directa a la distancia al que se encuentra a la fuente elevada al cuadrado, es decir, el radio de esfera elevado al cuadrado y esto nos causa una menor cantidad de potencia ya que ésta disminuye inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente.

Potencia irradiada por la fuente puntual se encuentra distribuida en la superficie total de la esfera, donde la potencia total irradiada es:

 $P=\frac{Prad}{4πR^{2}}$

Prad: Potencia total irradiada (watts).

R: radio de esfera que es igual a la distancia de cualquier punto de la superficie de la

 esfera la fuente.

4πR2: área de la esfera.

**Efectos de lluvia en la propagación de ondas electromagnéticas**

Varios son los factores que afectan la transmisión de las señales. Su intensidad se reduce cuando pasan por la lluvia o cualquier tipo de agente líquido que el aire contenga, como por ejemplo: nubes, nieve, o escarcha. Cuanta más alta sea la frecuencia mayor será la atenuación o pérdida de señal que se produzca. Por esa razone las comunicaciones por arriba de 10GHz sobre largas distancias son muy difíciles.

**Atenuacion por gases atmosfericos.**

Como las ondas electromagnéticas se propagan por el aire o por el espacio, digamos en el caso del aire, la atmosfera produce efectos sobre las ondas que la atraviesan. La capa de aire está compuesto de Nitrógeno y Oxigeno en grandes proporciones junto a otros gases de cantidades mucho más pequeñas, incluidos fragmentos de elementos que llegan del espacio exterior.

Estos compuestos se encuentran hasta una altitud de 100 km, pero la densidad disminuye notablemente y en la alta atmosfera solamente se encuentra Nitrógeno y helio. La radiación del sol actúa en toda la atmosfera, en la alta atmosfera transforma los gases mediante la radiación ultravioleta y los rayos X.

**Efectos Faraday.**

A estudiar en la asignatura radio enlace.

**Resumen de los tipos de Propagación**

Se llama propagación al conjunto de fenómenos físicos que conducen a las ondas de radio que se propagan del transmisor al receptor. Aquellos son:

* **Ondas de superficie: f<30MHz.** De largo alcance y gran estabilidad. Influye mucho el tipo de terreno en la propagación. Ej.: Radio AM.
* **Onda Ionosferica: 3<f<30MHz.** La onda se refleja en la capa ionizada de la atmosfera. Gran alcance con poca estabilidad. Ej.: Radioaficionados, comunicaciones militares.
* **Onda espacial: f>30MHz.** A través de la troposfera. Suele exigir visión directa (LOS). Ej.: Radioenlaces, telefonía móvil, difusión de televisión terrestre y satélite.

* Onda directa: Enlace transmisor con receptor directamente.
* Onda reflejada: Enlace a través una reflexión en el suelo.
* Ondas de multitrayectos: varias reflexiones de la señal alcanzan el receptor.
* **Onda de dispersión troposférica:** Con frecuencias f>30MHz. Por reflexiones difusas en discontinuidades. Alcanza una distancia más allá del horizonte.



**Zona de Fresnel**

La zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración en un enlace microonda punto a punto, además la visibilidad directa entre las dos antenas. Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas, respecto de la expansión de la misma al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fases al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o una disminución en el nivel de intensidad de la señal recibida.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es 40% de la primera zona de fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para establecer las zonas de fresnel debemos determinar la línea de vista, que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Ahora la zona que rodea el LOS son las zonas de fresnel.

 

 Diagrama explicativo de la zona de Fresnel.

La fórmula de cálculo de la zona de fresnel es:

 rn = 548$\sqrt{\frac{n.d\_{1}.d\_{2}}{f.d}}$

Donde:

*rn* es el radio de la enésima zona de fresnel [m]

*d*1 es la distancia desde el transmisor al objeto en [km]

*d2* es la distancia desde el objeto al receptor en [km]

*d* es la distancia total del enlace en [km]

*f es* la frecuencia en [MHz]

**CONCLUSIÓN:**

Como vemos nosotros hemos tratado el tema propagación no guiada de las ondas electromagnéticas sobre la superficie terrestre, en la atmosfera y en el espacio extraterrestre, a diferencia de la propagación guiada como la que ocurre en líneas de transmisión y guías de onda. La propagación no guiada interviene en la transmisión de inteligencia en amplias rangos de distancia, en que se incluyen los sistemas radiotelefonía, radiotelegrafía, datos, radiodifusión sonora, televisión, etc. Incluye también los sistemas de detección como el radar, radionavegación, radiolocalización, los de ayuda a la navegación aérea y marítima, de control de maquinas a distancia (telecontrol) y de medición a distancia (telemetría o telemedición). Encuentra también aplicaciones en geofísica, en el estudio de la atmosfera, en el estudio del sol, planetas, estrellas, y nebulosas (radioastronomía). Como ya vimos en la introducción de esta asignatura, la propagación de las ondas electromagnéticas se presenta como el elemento básico de las telecomunicaciones. En cualquier medio que se necesita transmitir una información de un punto a otro que sea guiada o no guiada, la propagación se plantea como el elemento fundamental. En conclusión a mi punto de vista la propagación de la onda es la madre portadora de informaciones en la ciencia de las telecomunicaciones, sea onda de luz o electromagnética.

**BIBLIOGRAFIA:**

Juan José morillo Fuentes, Radiación y radiocomunicación 4to ingeniería de telecomunicación. Editorial Univ. España año 2008.

Constantino Pérez Vega, Dpto. de Ingeniería de comunicaciones universidad de Cantabria, INTRODUCTION A LA PROPAGACION ELECTROMAGNETICA. Documento en [www.google.com](http://www.google.com).

Valdar A. R: UNDERSTANDING COMMUNICATIONS NETWORKS. Año 2006. Biblioteca AIU.