

1.2. CARACTERÍSTICAS DE CANAL RADIO.

En un canal de radio ideal, la señal recibida consta solamente de la señal que viaja por el camino directo, la cual provocaría una reconstrucción prácticamente perfecta de la señal transmitida. Sin embargo en una canal real, la señal es modificada durante la transmisión en el canal. La señal recibida es el conjunto de la combinación de atenuaciones, reflexiones, refracciones, replicas difractadas, que sufre la señal transmitida antes de llegar al receptor. Además de esto el canal añade ruido a la señal y puede causar un desplazamiento en la portadora si el transmisor, o el receptor esta en movimiento relativo uno con respecto al otro. La comprensión de estos efectos en la señal es importante ya que el desarrollo de los sistemas de radio depende de las características del canal de radio. Antes de tocar someramente los fenomenos que actúan sobre la señal en el canal de radio tenemos que definir este último así como los demás canales de los que se componen una cadena de transmisión-recepción en un sistema de comunicaciones por radio.

El significado de canal de comunicación no esta universalmente establecido, y es a menudo usado de forma imprecisa. Podemos ver un canal particular como el enlace entre dos puntos a lo largo de un trayecto de comunicación. Cuando definimos un canal especifico deberemos indicar bajo que condiciones el canal exhibe una o ambas de las propiedades de linealidad y reciprocidad. La linealidad es corrientemente descrita como sigue:

"Si las señales x_1 y x_2 son aplicadas a un canal darán como salida respectivamente y_1 e y_2 , y el canal se dice que es lineal si ante una entrada $x=x_1+x_2$ produce una señal a su salida $y=y_1+y_2$."

A menudo un canal se comporta de forma lineal solo sobre una determinada región del voltaje de entrada, temperatura ambiente, voltaje de alimentación,... Cuando este es el caso, nos referimos a esta región como región de funcionamiento lineal del canal. La linealidad de un canal es importante cuando esquemas de modulación sensibles a la amplitud son empleados, como la modulación de amplitud en cuadratura.

Un canal es llamado reciproco *"si su comportamiento es idéntico independientemente cual sea la dirección del flujo de información"*. Se deriva que un canal reciproco necesita ser investigado solo en una dirección.

Una vez que tenemos caracterizado el canal resulta útil diseccionar el sistema de comunicación por entero en subsistemas menores que lo conforman. Para ello se definen el canal de propagación, el canal radio, el canal modulación y el canal digital, cada uno de ellos englobado al canal que lo precede.

1. Canal de propagación.

El canal de propagación es el medio físico que soporta las ondas electromagnéticas que se propagan entre la antena de transmisión y la de recepción. En otras palabras, está formado por cualquier cosa que tenga influencia sobre la propagación entre dos antenas.

Se asume que en entornos de propagación de radio móvil se encontrarán medios, atmósfera generalmente, que serán lineales y bilaterales. Esta hipótesis implica que el canal de propagación de radio móvil es a la vez lineal y reciproco. El canal es además variante con el tiempo debido al movimiento de la estación móvil, lo cual dificulta su caracterización matemática, y provocará el uso de herramientas estadísticas para el modelado del sistema completo.

2. El canal radio.

La antena de transmisión, el canal de propagación y la antena de recepción vistos de forma colectiva constituyen el canal radio. Como el canal de propagación es recíproco, tal propiedad del canal radio depende de las antenas utilizadas.

Se puede demostrar que las antenas exhiben el mismo patrón de recepción y transmisión en el espacio libre si son bilaterales, lineales y pasivas. Bajo estas circunstancias las antenas son recíprocas, y por lo tanto así es el canal radio.

Las no linealidades pueden ocurrir en las antenas debido a la oxidación, hielo, y la estructura del montaje, pero son generalmente pequeñas y asumimos que son despreciables.

3. El canal de modulación.

El canal de modulación abarca desde la salida del modulador a la entrada al demodulador y está compuesto por el front-end del transmisor, el front-end del receptor y el canal de radio. Es particularmente interesante para los diseñadores de sistemas de modulación y sistemas de códigos trellis. Si ambos front-ends son lineales, entonces la respuesta al impulso complejo paso bajo del canal de modulación es

$$h_m(t, \mathbf{t}) = h_T(\mathbf{t}) * h_r(t, \mathbf{t}) * h_R(\mathbf{t})$$

donde $h_T(\mathbf{t}), h_r(t, \mathbf{t}), h_R(\mathbf{t})$ representan la respuesta al impulso compleja paso bajo del transmisor front-end, el canal radio y el front-end de recepción, respectivamente, y $*$ representa al operador convolución. Tanto el transmisor como el receptor al ser considerados invariantes con el tiempo, no están dependiendo de la variable tiempo t , al contrario que sucede con el canal de radio que si es variante con éste.

Si asumimos que el canal de radio es lineal, la linealidad del canal de modulación está determinada por la característica de transferencia de los front-ends del transmisor y receptor. Los sistemas de modulación que utilizan modulación de amplitud multinivel como la modulación de amplitud en cuadratura, requieren un canal de modulación que sea aproximadamente lineal.

Para alcanzar la linealidad, los amplificadores son dispuestos para que operen en sus región lineal, usando además mezcladores de baja distorsión, y filtros de fase lineal. Ya que los filtros de fase lineal (Bessel o Gaussianos) tienen poca atenuación son requeridas más etapas para obtener la selectividad que se obtiene con las familias de filtros de fase no lineal. Los amplificadores lineales son más caros que los no lineales teniendo la misma potencia de salida.

Aunque en un principio el coste de un front-end no puede parecer un problema, en un sistema comercial celular donde existen numerosas estaciones bases y una enorme cantidad de equipos móviles este aspecto adquiere mayor consideración, estableciendo el carácter económico de los equipos utilizados el tipo de modulación que probablemente se emplee.

La eficiencia de potencia es un problema adicional. Los amplificadores de potencia que operan en la región lineal (clase A) son ineficientes, comparados con los amplificadores no lineales (por ejemplo clase C). En el mundo de los móviles la eficiencia de potencia es un aspecto de suprema importancia. El tamaño y peso de un equipo portátil está fuertemente determinado por las baterías que use, y esta podrán verse reducidas en tanto en cuanto el consumo del equipo pueda asegurar una autonomía razonable, factor éste fuertemente ligado al consumo de la estación móvil en activo.

Los diseñadores de sistemas evitan usar front-ends lineales sino esta justificado por la necesidad de tasas altas de transmisión en entornos de microcélulas donde los niveles de potencia radiada pueden ser relativamente bajos.

El canal de modulación no es recíproco, ya que los amplificadores y otros componentes del front-end no son recíprocos. Este no suele ser un problema, porque el transmisor usa front-ends separados para las operaciones de transmisión y recepción. Las dos secciones de radio están conectadas a la antena mediante un duplexor. Por lo tanto, en los sistemas de radio celular, el canal de modulación desde la estación base a la estación móvil es diferente del de la estación móvil a la estación base.

4. El canal digital.

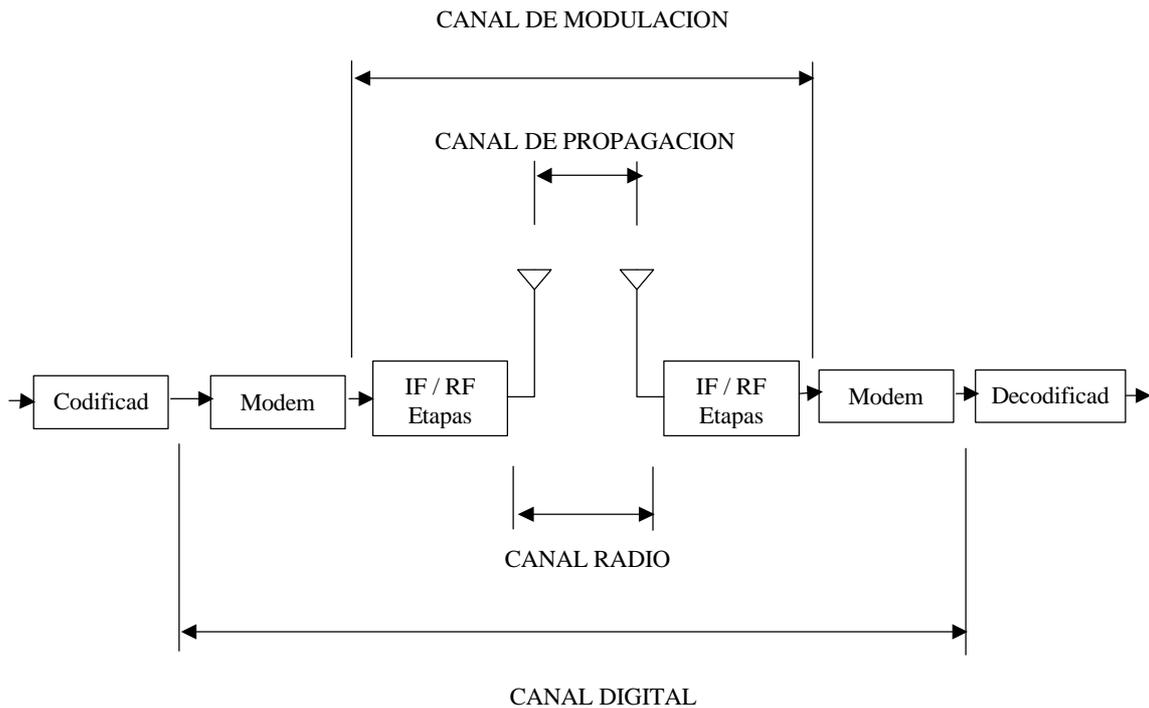
Otro canal ha sido propuesto para el caso de las transmisiones digitales. Es el llamado canal digital, y esta formado por el canal de modulación más los componentes que tratan la secuencia digital para convertirla en señal analógica. El canal digital es de gran valor para ingenieros que desarrollen codificación de fuente y de canal trabajando en banda base. El conocimiento del canal digital permitirá diseñar modelos de codificación sin que el diseñador tenga la necesidad de conocer la complejidad del canal de propagación.

El canal digital es no lineal porque la salida solo puede tomar algunos valores determinados. Por otro lado también es no recíproco ya que los módems no son recíprocos.

El canal digital esta caracterizado por patrones de errores de bits.

Como hemos mencionado anteriormente la señal en su viaje sufre una serie de fenómenos, que caracterizan los procedimientos que se han de utilizar en la recepción para el mejor aprovechamiento de la señal captada por la antena de recepción.

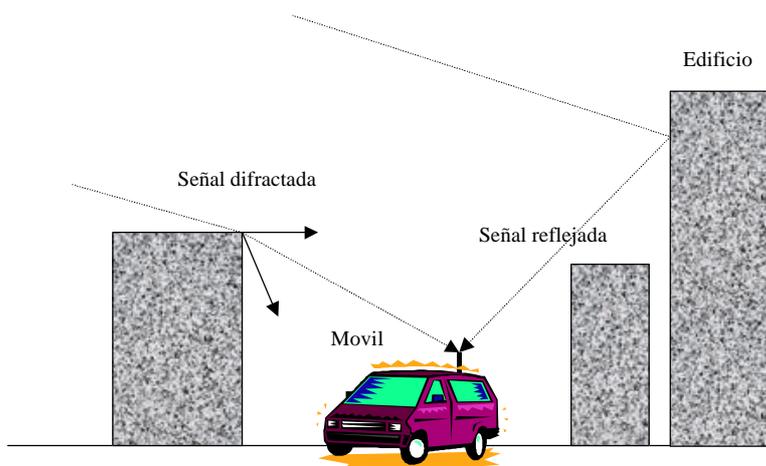
Es esta última definición de canal y su utilidad en el desarrollo de sistemas de tratamiento de la información que viaja por un canal de comunicaciones móviles, es aquello que dota a esta memoria de contenido. Tiene como finalidad dotar a los ingenieros que trabajan en el desarrollo de estos sistemas de una caracterización del canal útil que de forma estadística establezca el comportamiento del sistema que queremos desarrollar.



Por otra parte y dado que este trabajo se basa en analizar un sistema de comunicaciones particular y modelarlo de acuerdo a modelos estadísticos, se presentaran las generalidades del canal de propagación, las cuales posteriormente se analizarán.

1. Atenuación.

La atenuación es el fenómeno que sufre la señal cuando cae su potencia al ser transmitida de un punto a otro. Ésta puede ser causada por la longitud del camino de transmisión, obstrucción en el camino de la señal, y efectos multicamino. En la figura podemos ver estos fenómenos.



Cualquier objeto que obstruya la línea de vista de la señal del transmisor al receptor, puede causar atenuación.

El ensombrecimiento de la señal puede ocurrir cada vez que hay una obstrucción entre el transmisor y el receptor. Es generalmente causado por edificios y colinas, y es

el factor más importante de atenuación. Este es más severo en zonas densamente pobladas, debido a los edificios. Sin embargo, las montañas pueden provocar grandes problemas debido a la gran sombra que producen. La señal de radio se difracta en los límites de las obstrucciones, evitando de esta forma la sombra total que provocaría edificios y montañas. Sin embargo, la cantidad de difracción depende de la frecuencia radio usada; con bajas frecuencias la difracción es más efectiva que con altas frecuencias. De esta forma las señales de alta frecuencia, especialmente las frecuencias que pertenecen a UHF, y señales de microondas requieren líneas de vista para proporcionar un nivel de señal suficiente. Para evitar estos problemas los transmisores se colocan tan altos como sea posible para encontrar el menor número de obstáculos en el camino de transmisión.

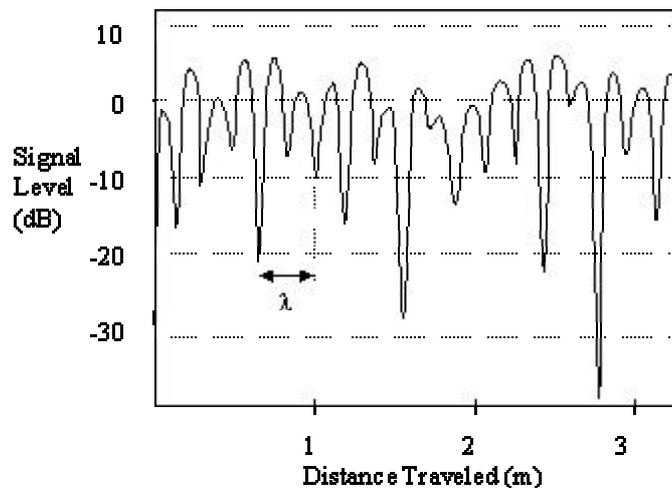
Cantidades típicas de variación en la atenuación debida a obstáculos se muestran en la siguiente tabla.

<u>Descripción</u>	<u>Típica atenuación debida a ensombrecimiento</u>
Centros urbanos densamente poblados	variaciones de 20 dB de calle a calle
Area sub-urbana	10dB más que en zonas urbanas muy pobladas
Áreas rurales abiertas	20dB mayor que en áreas sub-urbanas
Terrenos irregulares y zonas arboladas	variaciones de 3-12dB en la señal

Las áreas pueden ser grandes, por lo que el cambio de la potencia de la señal debido a este fenómeno es lento. Por esta razón, a todos estos fenómenos que reducen el nivel de señal se le denomina desvanecimiento lento, o ensombrecimiento log-normal.

2. Efectos multicamino.

Además de los fenómenos debidos a obstáculos nos encontramos con que al receptor no solamente le llega una componente de la señal transmitida sino diferentes componentes desplazadas en el tiempo debido a que al recorrer diferentes caminos de propagación han empleado diferentes tiempos en hacerlo. Estas señales reflejadas pueden interferir en el receptor de forma constructiva o destructiva en función de la relación que guarden sus fases en el receptor. Esto se experimenta sobre distancias muy cortas (del orden de media longitud de onda) y las variaciones de señal pueden ser grandes teniendo caídas en el nivel de señal de 0-30dB en distancias cortas.



La distribución Rayleigh es normalmente usada para describir las variaciones en el tiempo de la potencia de la señal recibida. Describe la probabilidad de recepción de

un nivel de señal debido a un desvanecimiento. La siguiente tabla muestra la probabilidad del nivel de señal para la distribución Rayleigh.

Nivel de señal (dB sobre la media)	% probabilidad de que el nivel de señal sea menor que el valor dado
10	99
0	50
-10	5
-20	0.5
-30	0.05

En cualquier transmisión de radio, la respuesta espectral del canal no es plana. Tiene pendiente o desvanecimientos en la respuesta debidos a reflexiones que causan la cancelación de ciertas frecuencias en el receptor. Las reflexiones de objetos cercanos puede provocar señales multicamino de potencia similar a la señal directa. Esto puede provocar caídas profundas en la potencia de la señal recibida debido a interferencia de carácter destructiva.

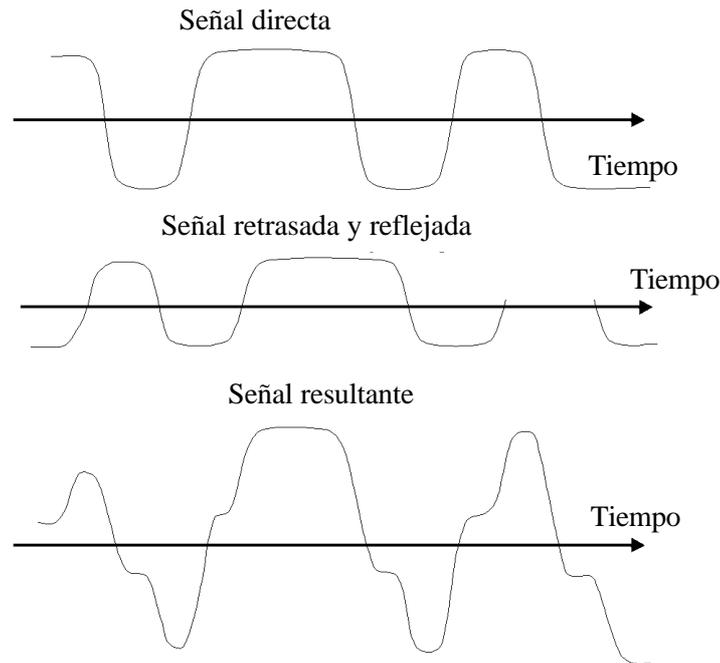
Para transmisiones con ancho de banda estrecho si el nulo en la respuesta frecuencial ocurre en la frecuencia de transmisión la señal entera puede desaparecer.

Transmitiendo una señal de banda ancha o de espectro ensanchado como CDMA, cualquier pendiente en el espectro solo provoca una pequeña pérdida de potencia en la señal, antes que una pérdida total. Otra opción es repartir la transmisión en portadoras de ancho de banda pequeño, tal como hace COFDM/OFDM. La señal original es ensanchada en un amplio ancho de banda; de esta forma cualquier nulo en el espectro es improbable que ocurra para todas las frecuencias de las portadoras. De esta forma solo algunas de las portadoras se perderán. La información en las portadoras perdidas puede ser recuperada dotando a la transmisión de suficiente capacidad para corregir errores.

3. Dispersión temporal.

La señal radio recibida desde el transmisor esta compuesta por una señal directa, más las reflexiones de objetos tales como edificios, montañas, y otras estructuras. Las señales reflejadas llegan con un retraso respecto a la señal principal por un exceso de camino extra, elevándose en diferentes instantes del pulso transmitido, dispersando la energía recibida. "Delay spread" es el tiempo que se extiende entre la llegada de la primera y ultima señal multicamino vistas en el receptor con un determinado nivel de señal.

En sistemas digitales, la dispersión temporal puede llevar a la interferencia inter-símbolo. Esto es debido al solape con los símbolos siguientes que sufren las diferentes señales multicamino cada una con un retraso característico. Esto puede causar errores significativos en sistemas de alta tasa de bits, especialmente cuando estamos usando sistemas de TDMA. La figura muestra el efecto de la interferencia intersímbolo debida a la dispersión temporal en la señal recibida. Cuando la tasa de bits es aumentada la cantidad de interferencia inter-símbolo aumenta. El efecto empieza a ser significativo cuando la dispersión es mayor que el 50% del tiempo de bit.



La tabla muestra retrasos típicos que pueden ocurrir en diferentes entornos. La máxima dispersión temporal se produce en un entorno outdoor y es de aproximadamente $20\mu\text{s}$, con lo cual puede ocurrir interferencia inter-símbolo a tasas bajas de hasta 25kbps.

Entorno o causa	Dispersión temporal	Diferencia entre la máxima longitud de camino
Indoor (habitación)	$40\text{ns} - 200\text{ns}$	12 m-60 m
Outdoor	$1\mu\text{s} - 20\mu\text{s}$	300 m-6 km

La interferencia inter-símbolo puede ser reducida de varias maneras. Un método es reducir la tasa de transmisión de símbolos en cada canal (dividiendo el ancho de banda en más canales usando multiplexación por división de frecuencia). Otra forma es usar esquema de codificación que sean tolerantes con la interferencia inter-símbolo tal como CDMA.

4. Desplazamiento Doppler.

Cuando una fuente emisora de ondas y un receptor están en movimiento relativo el uno con respecto al otro, la frecuencia de la señal recibida no es la misma que la de la fuente. Cuando se están en movimiento acercándose transmisor y receptor la frecuencia recibida es mayor que la que es emitida por el transmisor, y cuando se están alejando la frecuencia disminuye. Esto es conocido como efecto Doppler. Un ejemplo de esto es el cambio que experimentamos en el tono en la bocina de un coche cuando se acerca y se aleja. El fenómeno adquiere importancia en sistemas de radio móvil.

El cambio que experimenta la frecuencia debida al efecto Doppler depende del movimiento relativo entre fuente y receptor y en la velocidad de propagación de la onda. El desplazamiento Doppler puede ser expresado como:

$$\Delta f \approx \pm f_0 \frac{v}{c}$$

Donde Δf es el cambio de frecuencia de la fuente vista en el receptor, f_0 es la frecuencia de la fuente, v es la diferencia de velocidad entre la fuente y el receptor, y c es la velocidad de la luz.

Por ejemplo: Si tenemos $f_0 = 1GHz$, y $v = 60km/h$ ($16.7m/s$) entonces el desplazamiento Doppler será:

$$\Delta f \approx 10^9 \cdot \frac{16.7}{3 \cdot 10^8} = 111.3Hz$$

Este desplazamiento de 111.3 Hz en la portadora no tendrá efecto en la transmisión. Sin embargo, el efecto Doppler puede causar problemas significativos si la técnica de transmisión es sensible a offsets en la frecuencia de la portadora (COFDM) o la velocidad relativa es alta (tal como ocurre con los satélites de órbita baja).