Dpto. De Automatización y Control Industrial

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

AREA DE AUTOMATIZACION E INSTRUMENTACION INDUSTRIALES

INTERFACES DE COMUNICACION INDUSTRIAL

Instructor:

Dr. Luis Corrales

Quito, Octubre del 2007

1 OBJETIVOS

- Explicar los orígenes, fundamentos y funciones de dispositivos y sistemas tales como: Transmisores 4-20, Modulación, RTUs, SCADA, DCS, Sistemas Multiplexados.

- Explicar la arquitectura, diferencias y sus aplicaciones en sistemas de control de las redes de campo: CanBUS, ControlNET, HART, MODBUS, FIELDBUS, PROFIBUS, entre otros.

2 ALCANCE

El siguiente trabajo explicación en forma resumida pero precisa acerca de las redes de campo: redes de dispositivos y de proceso, como parte de los sistemas SCADA, DCS y de los sistemas multiplexores.

Se presenta además, conceptos de transmisión de datos tanto en forma análoga como digital, tal como se las usa en aplicaciones en el campo de la automatización y telecontrol.

Se revisan y comparan los protocolos CSMA/CD, Token Passing con los de tipo industrial como: Pooling, Master / Slave.

Se explican las capas de las redes de proceso (FIELDBUS, MODBUS y PROFIBUS) y su relación con el modelo OSI.

1. DEFINICIONES

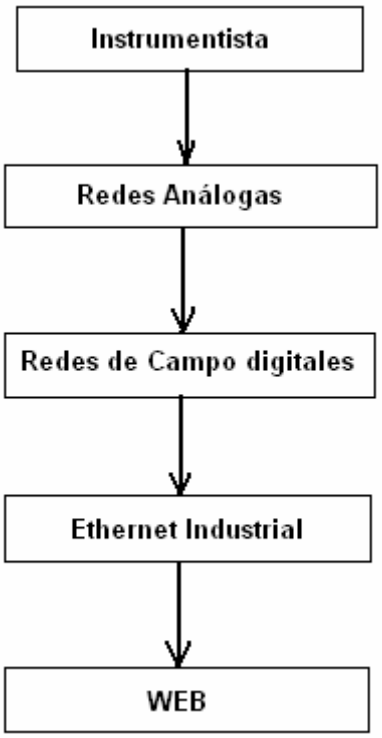
Con el nombre de redes de campo industriales se quiere identificar a aquellas que permiten recopilar (adquisición de datos) y / o supervisar y / o controlar, generalmente desde un mismo sitio (panel / cuarto de control), las variables de una planta o proceso industrial.

Los valores acerca de temperatura, humedad, estado (abierto / cerrado) de válvulas, velocidad de giro de un motor, etc., son enviados al centro de control por dispositivos tales como transductores y / o, principalmente, transmisores en donde se despliegan, registran o procesan.

Con esta información se toman decisiones, sea en forma supervisada o automática, para comandar los actuadores que lograrán activar / desactivar dispositivos de campo que procuran mantener trabajando al proceso dentro de valores definidos por el usuario.

Para llegar al estado actual de la tecnología, se empezó por buscar cómo reemplazar al instrumentista, quien en forma manual, y de allí su falta de confiabilidad, recolectaba los valores de las variables de campo del proceso.

El resultado se dio en la forma de redes industriales basadas sobre todo en la invención y consecuente empleo de los transmisores de corriente continua. Estos posibilitaron el envío (de allí el nombre de transmisor) de los datos de las variables de un proceso a las distancias que se necesitan en una planta industrial.



Para cubrir distancias mayores, se recurrió a técnicas de transmisión que fueron desarrolladas para la radio difusión. Siempre dentro del mundo análogo.

El avance de los sistemas y tecnologías digitales ha posibilitado que se creen aplicaciones y servicios que no se pueden hacer en el mundo análogo. La telefonía digital es un buen ejemplo de lo expresado. Los cambios en ese campo no han sido “cosméticos” solamente. Servicios tales como: telefonía móvil, SMS, roaming internacional, constituyen ejemplos que corroboran la influencia favorable de la tecnología digital en ese ámbito tecnológico.

En el campo de la comunicación de datos, las redes digitales de comunicaciones son parte imprescindible hoy en día de toda organización. Sea como herramienta indispensable para el manejo de procesos críticos o simplemente para entretenimiento, las redes digitales se han ganado un puesto de mucha importancia en la estructura administrativa de cualquier organización. Más todavía, tecnologías como ETHERNET y protocolos como TCP/IP han posibilitado el desarrollo y el acceso al INTERNET, fuente

inagotable de información y “puente” alterno o principal de muchas empresas o instituciones.

Se ha adoptado el nombre de redes de campo industriales para diferenciarlas de las típicas redes de computadoras administrativo - financieras que, como ya se mencionó, ahora son parte vital de toda organización.

Las redes de campo constituyen ahora la infraestructura de los sistemas SCADA y DCS, que poco a poco han ganando aceptación como una herramienta confiable y útil en la administración técnico administrativa de una planta industrial.

Hasta hace poco, las redes de campo industriales y las administrativo – financieras eran prácticamente dos sistemas de comunicaciones que operaban separadamente. De hecho, si bien en principio cumplen igual papel: permitir la transmisión rápida, segura y confiable de información, se diferencian por el tipo de protocolos y datos que manejan. Pero, se ha visto que cierta información que se genera a nivel de campo puede y debería ser de interés del personal administrativo o gerencial. Para organizaciones de cierto tipo, generalmente dedicadas a la producción industrial, se ha vuelto imprescindible unir de alguna forma las dos redes, en particular por las ventajas de llegar al INTERNET y la posibilidad de hacer TELECONTROL o TELESUPERVISION por este medio.

A continuación se explica sobre las características, ventajas y desventajas de las redes de campo industriales y como han ido evolucionando para lograr esta beneficiosa fusión.

1.1. LAS REDES ANÁLOGAS

No es reciente el interés por centralizar el control y supervisón de un proceso o planta industrial. Desde hace tiempo ya se detectó que la centralización era una

alternativa más confiable y eficiente para manejar una planta industrial. Tener a un instrumentista en caminatas periódicas por toda una planta leyendo los valores de los instrumentos era una actividad tediosa y propensa a omisiones y / o errores humanos.

La solución para lograr la centralización empezó buscando vías para llevar de alguna manera la información desde los sensores y transductores hasta el cuarto de control, donde indicadores y registradores darían al operador una vista global del estado de la planta.

Para llevar la información se creó el transmisor, un dispositivo de campo que tiene como tarea convertir la señal captada por un transductor [1] en una señal apta para ser transportada a una distancia considerable.

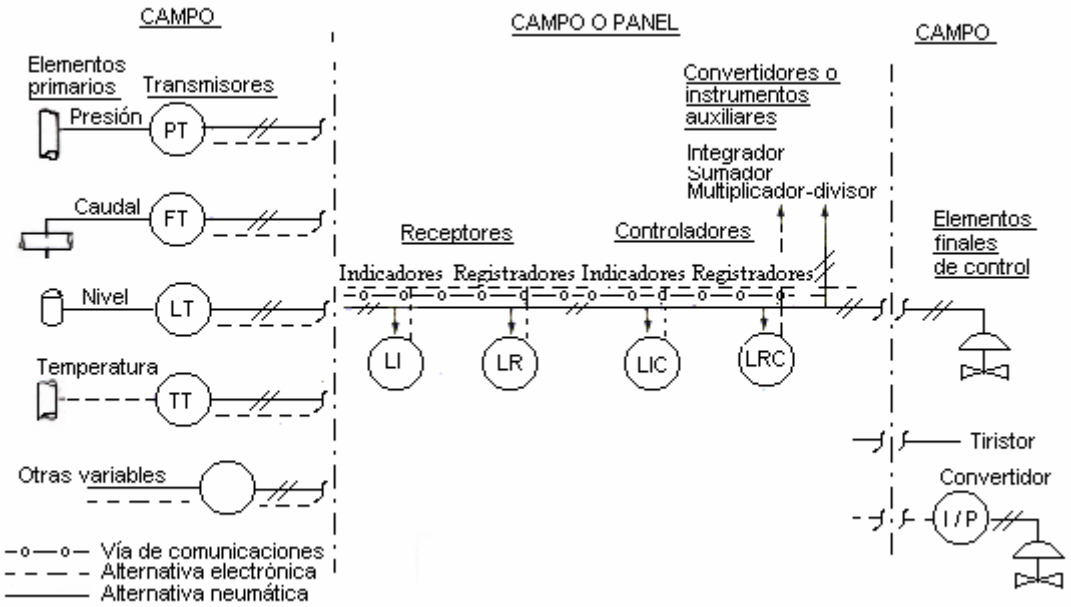


Figura 1.1. Centralización del control y la supervisión por medio de transmisores.

En el caso de los transmisores eléctricos (también existen transmisores neumáticos), el problema a resolverse era cómo enviar una señal eléctrica desde un punto a otro, de tal forma que esta llegue en forma correcta. La solución obvia que se tenía a la mano era emplear cables, los que, como se verá, presentan ciertas dificultades que debían solucionarse.

Una longitud infinitesimal de un par de hilos de cobre puede representarse como un conjunto compuesto de una resistencia (la del cable), una capacitancia (formada entre los dos hilos) y una inductancia (debido al campo magnético que se genera al circular una corriente eléctrica). Cada sección infinitesimal se acopla a sus vecinas

[1] Se define como transductor al sensor que en respuesta a un estímulo físico entrega una señal eléctrica proporcional al mismo.

adyacentes dando como resultado el equivalente eléctrico que se muestra a continuación en la Figura 1.2:

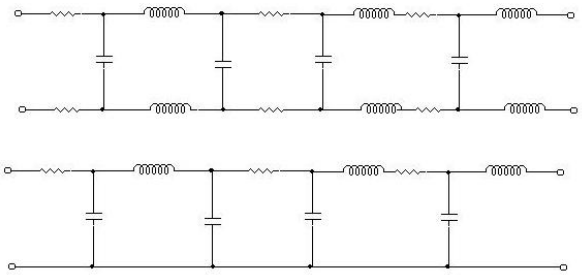


Figura 1.2. Circuito electrónico equivalente de un par de hilos y de un cable coaxial.

Es cierto que para una corriente continua puede minimizarse el efecto capacitivo e inductivo del cable, pero, para una señal alterna estos efectos entran en escena y, consecuentemente, para una cierta frecuencia el cable tiene una impedancia característica.

Dos condiciones deben cumplirse para que la señal que viaja por el par de hilos lo haga sin sufrir muchas pérdidas:

1. La Impedancia de salida de una sección debe ser igual a la impedancia de entrada de la siguiente, y
2. Los extremos del cable deben ser terminados en una impedancia igual a la del cable.

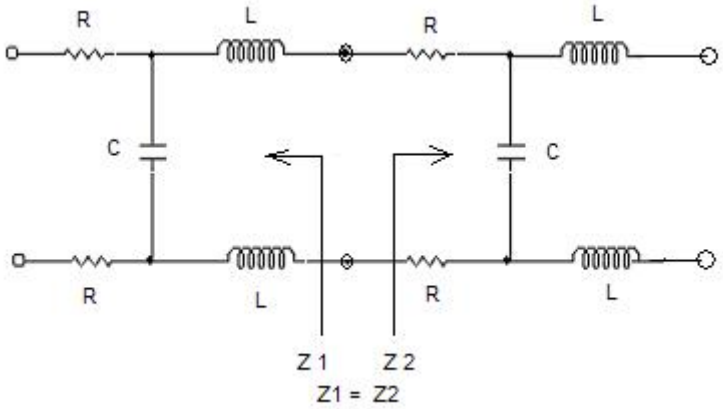


Figura 1.3. Acoplamiento de impedancias en cable de dos hilos.

Si esta condición no se cumple; es decir, hay un desacoplamiento de impedancias, igualmente se producen dos efectos muy importantes:

1. Pérdidas en la señal, y
2. Se genera una onda reflejada.

La onda reflejada no solo que reduce aún más la señal que está viajando por el par de hilos, más importante, provoca un fenómeno conocido como dispersión de fase (jittering) que en el mundo análogo produce en la recepción señales fantasmas, y en

el mundo digital obliga a los dispositivos en dialogo a reducir su velocidad de transmisión al dificultar al receptor sincronizarse con el transmisor.

Otro problema que se tiene cuando se transmite por medio de un cable y no se toman las precauciones del caso, es que si la longitud del cable es igual a la mitad de la longitud de onda de una cierta frecuencia, el cable se convierte en una suerte de antena. El cable entonces capta esa frecuencia dando lugar a la aparición de un ruido por interferencia.

Para evitar el problema del desacoplamiento de impedancias se debe recurrir a comprar cable de buena calidad, tal que garantice una uniformidad de sus características físicas y de allí uniformidad de sus características eléctricas. Se debe evitar estropear el cable durante su manejo y, por otro lado, se debe terminar adecuadamente el mismo en sus extremos.

Para evitar que el cable se convierta en una antena, se puede optar por instalar el cable dentro de tuberías o canaletas metálicas o emplear cable coaxial.

En ambos casos la solución es cara y / o difícil de lograr y de mantener y por lo mismo se optó por la alternativa que se explica a continuación.

En el diseño de los transmisores industriales se encontró que lo mejor es emplear una corriente continua como medio de transmisión. La corriente continua ofrece las siguientes ventajas:

1. Elimina el efecto inductivo pues no hay el factor movimiento, indispensable para que se produzca la inducción, y
2. La capacidad parásita distribuida a lo largo del cable pierde su efecto.

Solo restaba resolver el problema de la atenuación producida por la resistencia finita del cable, particularmente si la longitud de una corrida es muy larga.

Note que la caída de tensión producida por la resistencia del cable introduce un error, en particular si el voltaje que se está transmitiendo representa el valor de alguna variable de un proceso. Note también que el error, si bien podría ser compensado, no es la solución apropiada. Empezando con que deberían hacerse cientos de compensaciones, una para cada corrida, se requeriría de equipo de calibración adecuado para cumplir con las normas industriales en cuanto a precisión. Note que, aún si se contara con el equipo de calibración correcto, los valores dependerían de que la corrida se mantenga igual; un cambio en la longitud del cable implicaría un nuevo proceso de calibración, un aspecto que tendría consecuencias negativas en cuanto a tiempo y dinero para la empresa.

La solución resultó emplear una fuente de corriente constante para generar la corriente de transmisión. Teóricamente, con una fuente de corriente constante, esta debe mantener su valor independientemente de la carga que se ponga a la fuente, incluyendo en esa carga la longitud del cable de comunicación.

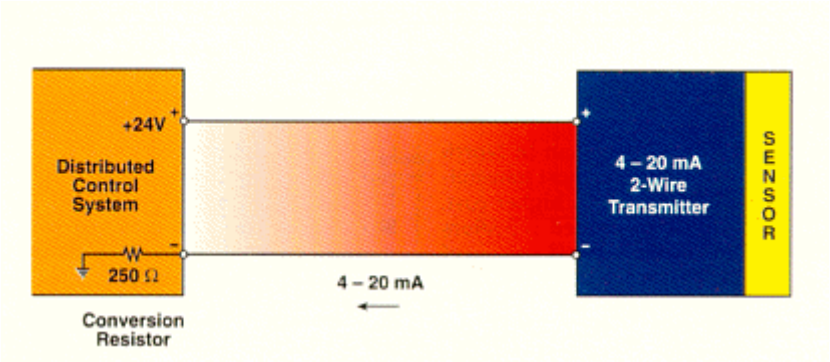


Figura 1.4. Transmisor de corriente.

En la Figura 1.4 se muestra la representación de un transmisor de dos hilos (two-wire transmitter). La corriente que por norma deben generar es de 4 a 20 mA DC.

El transmisor ha probado por años ser una alternativa de comunicación adecuada y de allí su empleo extendido en la industria formando las redes análogas. Análogas pues el valor de la corriente varía continuamente en el tiempo dependiendo del valor de la variable física que capte el sensor.

El transmisor de corriente ha sido y sigue siendo una excelente alternativa de comunicación, pero, tiene un inconveniente que ha impulsado que se busquen alternativas para su reemplazo. Este inconveniente tiene que ver con que se requiere una conexión para cada transmisor. Si un proceso o planta industrial tiene que monitorear muchas variables físicas y / o controlar muchos actuadores, el cableado aumenta notablemente en costo y en mantenimiento. Es cierto que es posible conectar hasta cuatro dispositivos en una misma acometida, tal como se muestra en la Figura 1.5.

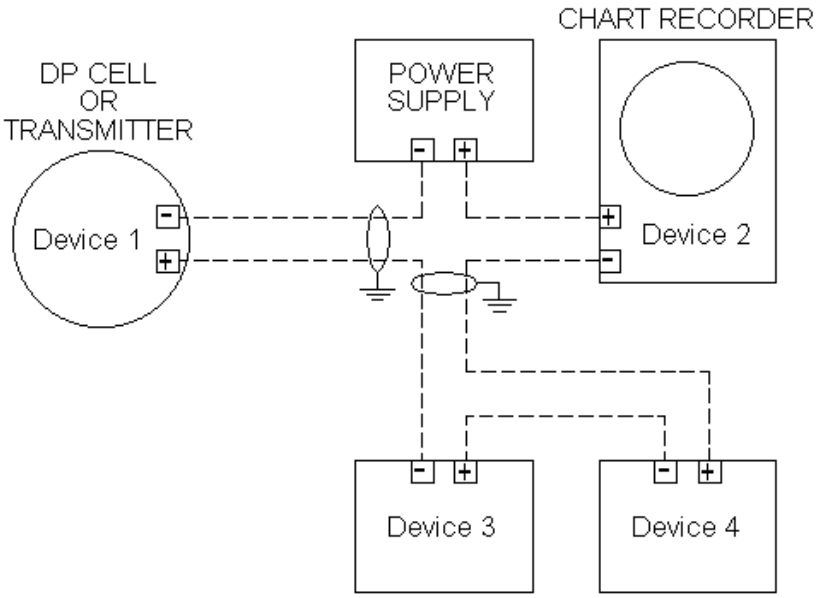


Figura 1.5. Hasta 4 dispositivos se pueden conectar en un lazo de 4 – 20 mA.

Pero debe entenderse que los cuatro dispositivos están relacionados a una misma variable física y, por lo mismo, se sigue necesitando tantos enlaces análogos como

variables físicas se deseen procesar, dando como resultado una red con muchos cables corriendo entre los dispositivos de campo y el cuarto de control, tal como se trata de ilustrar en la Figura 1.6 a continuación.

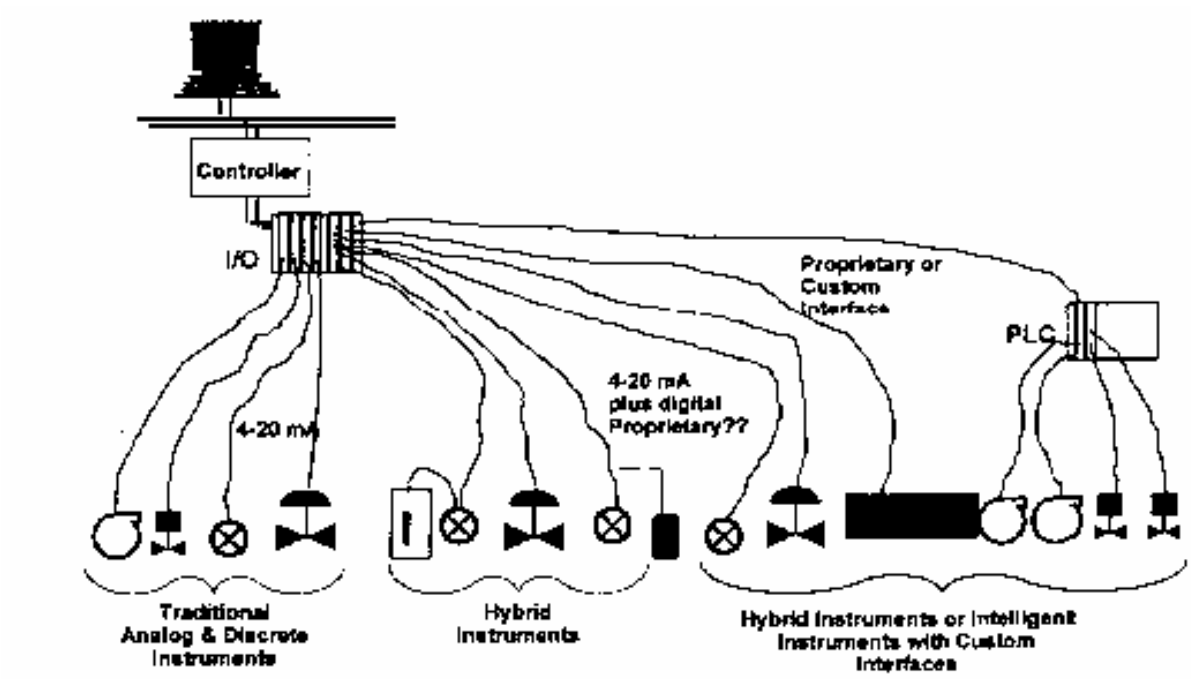


Figura 1.6. Ejemplo de red análoga con muchas corridas.

Este es uno de los problemas que se resuelven con las redes digitales, tanto administrativo – financieras como de campo, que se estudian más adelante.

1.2. PRINCIPIOS DE TRANSMISIÓN INALAMBRICA

El problema del gran número de hilos de comunicación en una planta industrial se resolvió en ciertos casos con el empleo de la transmisión inalámbrica.

Por otro lado, los transmisores análogos de corriente pueden cubrir distancias grandes, pero, enlaces largos no significa solamente un cable más largo. Canales, tuberías, obra civil, permisos de paso, complican y encarecen el tendido de una corrida. Es por esto que en muchas ocasiones resulta mejor recurrir a un enlace inalámbrico.

Aproximadamente, se considera que para distancias mayores a 20 Km es más conveniente recurrir a la transmisión inalámbrica.

La transmisión inalámbrica por su parte implica el conocimiento y manejo de Las técnicas para la transmisión por medio de energía Electromagnética y la modulación que se explica a continuación.

1.2.1. Modulación

En la transmisión inalámbrica se emplea un rango de frecuencias que va desde las decenas de KHz hasta decenas de GHz. A esto se conoce como el **Espectro Electromagnético.** Las frecuencias más bajas se emplean en sistemas especiales de comunicación. En submarinos, por ejemplo, se emplean frecuencias alrededor de los 10 KHz debido a que estas frecuencias bajas, de grandes longitudes de onda, pueden penetrar cientos de metros de agua.

La Audio Frecuencia (AF) que va desde 20 Hz a 20 KHz, si bien puede ser propagada en su forma original desde un punto a otro, resulta impráctico emplearla como una alternativa de comunicación generalizada. Se puede imaginar lo que ocurriría si todas las emisoras de radio transmitieran el audio como tal. Igual sucedería si en una planta industrial se empleara igual técnica para trasmitir todas las variables físicas en su forma original. Habría una suerte de ruido que llegaría a los sistemas de medida, creando gran confusión y molestia al operador. Pero, si se sube la frecuencia de transmisión, en primer lugar el oído humano no puede escucharla, y luego se puede ubicar cada canal de comunicación en un lugar del espectro diferente a otro y así evitar que se mezclen y se interfieran. A esta tecnología de transmisión se denomina División por División de recuencia (Frequency Domain Multiplxing, FDM). Con este propósito se emplea la modulación.

Básicamente, la modulación consiste en utilizar una señal de alta frecuencia como medio de “transporte (carrier)” de la información o datos que se desean enviar de un lugar a otro; estos últimos generalmente de una frecuencia más baja.

La modulación consiste entonces en mezclar dos señales: una de alta frecuencia (conocida como portadora o modulada, F_P) y otra de baja frecuencia (denominada envolvente o modulante, F_E).

Modulación de Amplitud (AM)

Una de las técnicas de modulación es la de Amplitud Modulada (AM). En amplitud modulada, el modulador, al combinar las dos señales, produce una señal que varía su amplitud en proporción al valor de la señal modulante. En la Figura 1.17 se muestra el resultado de la modulación de amplitud (AM).

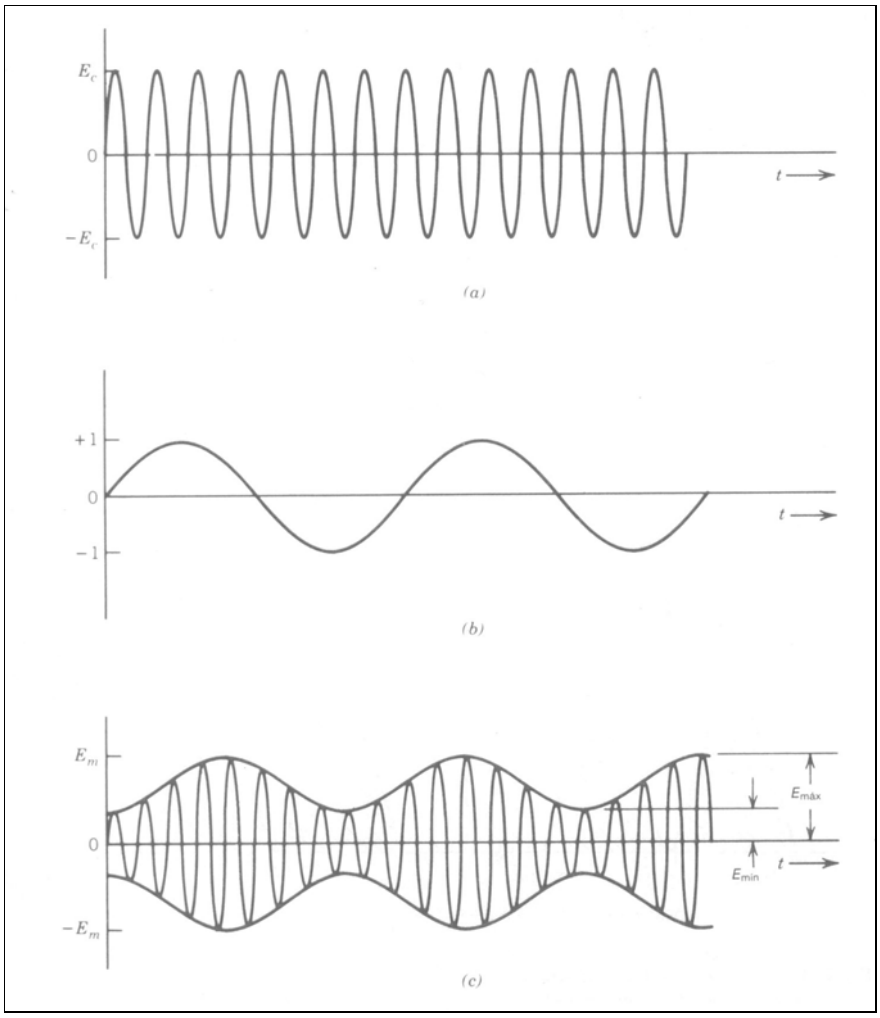


Figura 1.17. Ejemplo de modulación de amplitud

Otro efecto que también se produce cuando se modula es que al mezclarse, por ejemplo, dos señales de frecuencias F_P y F_E, siendo $F_P >> F_E$, se generan señales de salida de frecuencias: F_P, $F_P + F_E$ y $F_P – F_E$. Cuando estas señales se transmiten ocupan, en el dominio de la frecuencia, un espacio en el espectro electromagnético alrededor de la frecuencia portadora. Por ejemplo, si la frecuencia portadora es F_P = 100 KHz y la Frecuencia que se desea transmitir es F_E = 1 KHz, entonces ocuparán en el espectro electromagnético las frecuencias 100 KHz, 101 Khz y 99 KHz. Si otra frecuencia portadora es de 110 KHz y la información es de 2 KHz, entonces las frecuencias ocupadas en el espectro serán: 110 KHz, 112 KHz y 108 KHz. Puesto que cada portadora ocupa un espacio del espectro diferente, no se llegan a "interferir" y pueden coexistir aún en el mismo espacio físico. Esto es lo que se denomina Multiplexión en el Dominio de la Frecuencia (Frequency Domain Multiplexing, FDM) conocida también como Multiplexión por División de Frecuencia.

La expresión que regula la mezcla de las señales en el proceso de la modulación por amplitud es como sigue:

Sea la frecuencia portadora $v_P = V_P \text{ sen } 2\pi f_P t$, y

Sea la frecuencia de la información $v_E = V_E$ sen 2 π f_Et.

Luego de la modulación de amplitud se tiene:

$$v = V_P \, sen 2\pi \, f_P \, t + \frac{m}{2} V_P \cos 2\pi (f_P + f_E) \, t - \frac{m}{2} V_P \cos 2\pi (f_P - f_E) t$$

Donde:

$m = \frac{V_E}{V_P}$ es el denominado índice de modulación.

El índice de modulación determina la "profundidad" con la que la información modula a la frecuencia portadora, tal cmo se muestra en la Figura 1.18 siguiente:

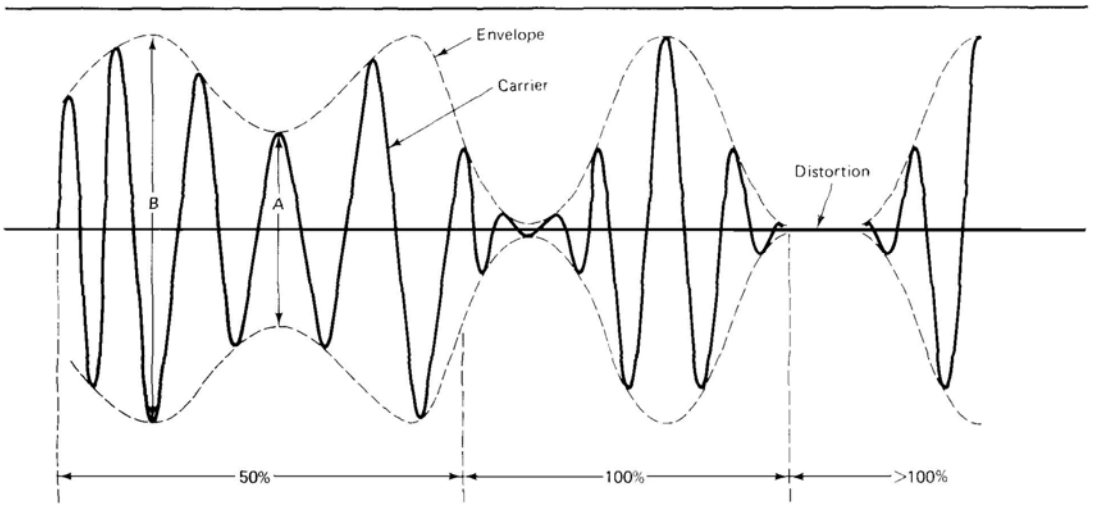


Figura 1.18. Efecto del índice de modulación en AM.

En el ejemplo que se está analizando, si en lugar de una sola frecuencia F_E se tiene un grupo de frecuencias, a mayor número de frecuencias a transmitirse la modulación producirá un grupo de frecuencias que ocupará todo un ancho de banda.

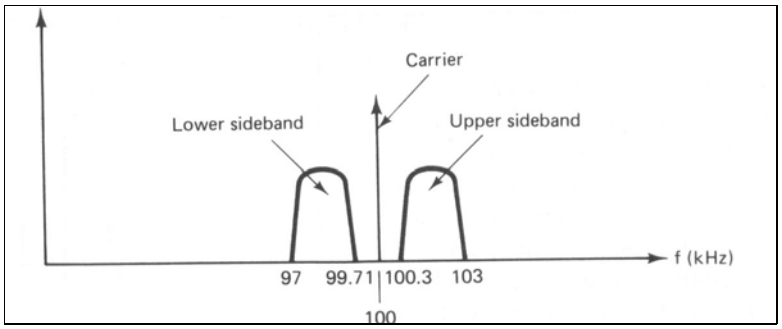


Figura 1.19. Espectro de frecuencia cuando se modula

En la Figura 1.19 se muestra un ancho de banda (compuesto de bandas laterales), producto de mezclar una señal portadora de 100 KHz con una señal modulante que ve de 300 a 3.000 Hz.

Este tipo de modulación se emplea con las emisoras de AM, pero, tiene una desventaja, es muy susceptible a contaminación por ruido. El ruido (RFI / EMI) y estática afecta la amplitud de la señal transmitida y, puesto que la información está contenida en la amplitud de la señal portadora, consecuentemente altera su contenido. Para transmisión de voz, esto no siempre es muy crítico; la distorsión de la voz no es mucho problema si todavía el mensaje es entendible. Pero para la transmisión de datos, un error en la información puede provocar errores graves o, si se trata de una planta industrial, podría por ejemplo provocar que una bomba se apague cuando no debe hacerlo. Es por esto que se buscaron otras técnicas de modulación.

Pero, porqué es de interés el ancho de banda análogo. Según el teorema de Nyquist, para muestrear una señal y recuperarla sin pérdidas se debe cumplir que la frecuencia de muestreo debe ser mayor a dos veces la frecuencia de la señal a muestrearse. Por ejemplo, se dice que una línea telefónica tiene un ancho de banda análogo de alrededor de 4 KHz. Aplicando Nyquist, entonces la mínima velocidad de muestreo sería de 8 Kmuestras/s. Si se emplea para la conversión A/D una resolución de 8 bits, el par telefónico podría transportar datos a una velocidad de 64 Kbps. Si el MODEM telefónico generalmente trabaja a 64 Kbps o 56 Kbps (cuando se emplea una resolución de 7 bits) el límite es impuesto por hilo teléfonico y no porque no se puedan fabricar un MODEM más rápido.

El cálculo arriba asume un ambiente ideal. En la práctica hay mucho factores que limitan la velocidad de transferencia de datos o ancho de banda digital. Shannon encontró una relación entre los dos anchos de banda:

$$AB_{DIGITAL} = AB_{ANÁLOGO} \log_2 \left(1 + \frac{Potencia\ de\ la\ señal,\ S}{Potencia\ del\ ruido,\ N} \right)$$

Suponga un canal de comunicaciones con una potencia de transmisión de 10 W, contaminado con ruido de 1W. El canal tiene un ancho de banda de 1000 Hz.

$$AB_D = 1000 \log_2 \left(1 + \frac{10}{1} \right) = 1000 \log_2 (11) = 3471\, bits$$

Si se aumentará el ancho de banda análogo unas 100 veces más, hasta 100 KHz, la velocidad aumentaría hasta 347.100 bits/s (hay una relación lineal); mientras que si se aumentara unas 100 veces las relación S/N, la velocidad apenas aumentaría a 10.000 bits/s (debido a la relación logarítmica). Consiguientemente, es mejor aumentar el ancho de banda análogo del canal antes que mejorar la relación señal/ruido. Por supuesto, esto no significa descuidar el problema del ruido.

Modulación de Frecuencia (FM)

En la modulación de frecuencia, el modulador produce una señal que varía su frecuencia en proporción a la amplitud de la modulante, En la Figura 1.20 se muestra el efecto de la modulación de frecuencia.

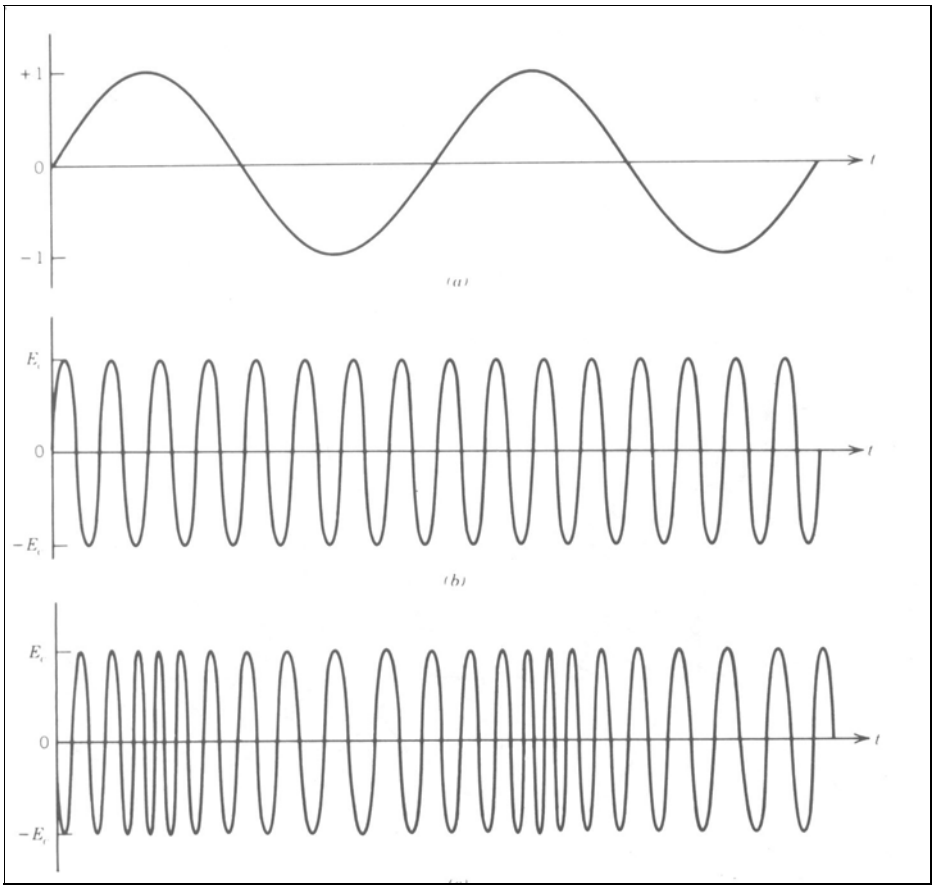


Figura 1.20. Ejemplo de modulación de frecuencia

En una transmisión de FM, el ruido puede afectar la amplitud de la señal pero muy difícilmente su frecuencia, de allí que la información tiende a contaminarse menos, aumentado la fidelidad de este tipo de transmisión.

1.2.2. Distribución del Espectro Electromagnético

Se mencionó que una gran ventaja de emplear técnicas de modulación para la transmisión de la información es que se puede transmitir simultáneamente desde varias fuentes por el mismo medio de transmisión sin que ocurra interferencia, y de allí corrupción de los datos. Esta es la razón por la que las emisoras pueden trasmitir por el mismo medio (el espacio) sin interferirse. Esto se conoce como FDM (Multiplexión por división de frecuencia o Multiplexión en el dominio de la frecuencia / "Frecuency Division Multiplexing o Frecuency Domain Multiplexing). Asignando a cada estación emisora (o canal de comunicación) una frecuencia portadora distinta y suficientemente separada de las demás, evitando que las bandas laterales se sobrepongan, se puede transmitir por un mismo medio, sin que haya confusión por superposición, de los datos correspondientes a varias fuentes. Esto explica porque en la televisión por cable es posible transmitir alrededor de 80 canales de televisión por un único cable coaxial sin que se produzca interferencia.

Las emisoras de AM trabajan con portadoras en el rango de frecuencias conocidas como MF (Frecuencias medias), mientras las de FM en las de UHF (Frecuencias

Ultra Altas) (Ver Tabla 1.1, de la Clasificación de las Frecuencias). Mientras que a las emisoras de AM se les tuvo que restringir el ancho de banda (10 KHZ) debido al poco espacio disponible en MF, a las emisoras de FM se les asigna alrededor de 150 KHz, con una separación entre portadoras de 200 KHz. Es por esto que las emisoras de FM no solo que pueden trasmitir toda la gama de audio, sino que pueden transmitir en estéreo (es decir, dos canales). Esta es otra de las ventajas de trabajar con frecuencias portadoras más elevadas, se cuenta con anchos de banda mayores. Existe un problema, trabajar con frecuencias elevadas es técnicamente más difícil y más caro.

Tabla 1.1. Distribución de los Rangos de frecuencias.

RANGO DE FRECUENCIA	NOMBRE
30 KHz – 300 KHz	LF
300 KHz – 3 MHz	MF
3 MHZ – 30 MHz	HF
30 MHz – 300 MHz	VHF
300 MHz – 3 GHz	UHF
3 GHz – 30 GHz	SHF
30 GHz – 300 GHz	EHF
300 GHz – >	Microondas

Utilizando entonces las técnicas de modulación se implementa enlaces inalámbricos de comunicación de datos, en aquellas aplicaciones donde los enlaces mediante cobre o fibra resultaban muy inseguros o muy caros, por la longitud del enlace.

Para los enlaces inalámbricos se recurre a diferentes **Modos de Propagación**, siendo el de Onda Espacial (Space Waves) el preferido al modo de Onda Superficial (Ground o Surface Waves) por ser este último muy afectado por el terreno y solo tiene un alcance muy reducido.

- El medio de transmisión para los enlaces de radio está compuesto por el conjunto superficie terrestre - atmósfera.
- La influencia de la superficie terrestre se hace sentir de varias formas en la propagación de ondas entre las cuales están: Obstrucción, Difracción, Reflexión y otras
- En cuanto a la atmósfera, esta se puede subdividir en tres capas: troposfera, estratosfera y ionosfera.

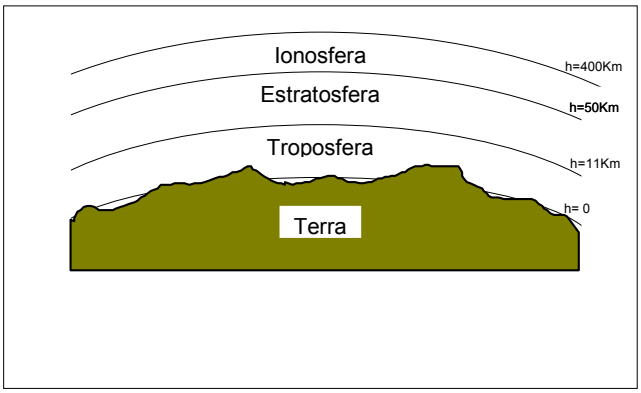


Figura 12

Debido a que la tierra es un conductor imperfecto, las ondas de radio penetran en algo su superficie; su intensidad de campo disminuye rápidamente con la profundidad y se propagan más lentamente que en el aire. Esto origina un “arrastre” o efecto de onda superficial, que provoca que, justo por encima de la superficie, la onda siga la curvatura de la tierra. Este modo es de utilidad solo para frecuencias de transmisión relativamente bajas y para distancias relativamente cortas (200 Km para MF y 2000 Km para LF).

La troposfera es una capa que se encuentra dominada por tres parámetros: Presión, Temperatura y Humedad. En esta capa se encuentra varios tipos de gases: Oxígeno,. Nitrógeno y dióxido de carbono, también vapor de agua y precipitaciones como lluvia y nieve

Para explicar el fenómeno arriba mencionado, se tiene que tomar en cuenta la **refracción,** que ocurre debido a que las ondas de radio viajan a diferentes velocidades a través de un medio que tiene densidades variables debido a la presencia de moléculas de vapor de agua.

Así, parte del haz viaja a velocidades mayores de aquellos que viajan en capas atmosféricas más densas. Esto resulta en que el haz forma una curva, generalmente para abajo, siguiendo la curvatura de la tierra.

La Estratosfera no es utilizada en propagación

La Ionosfera es utilizada para aprovechar las reflexiones y refracciones ionosféricas, dado que las diferentes capas tienen diferente grado de ionización

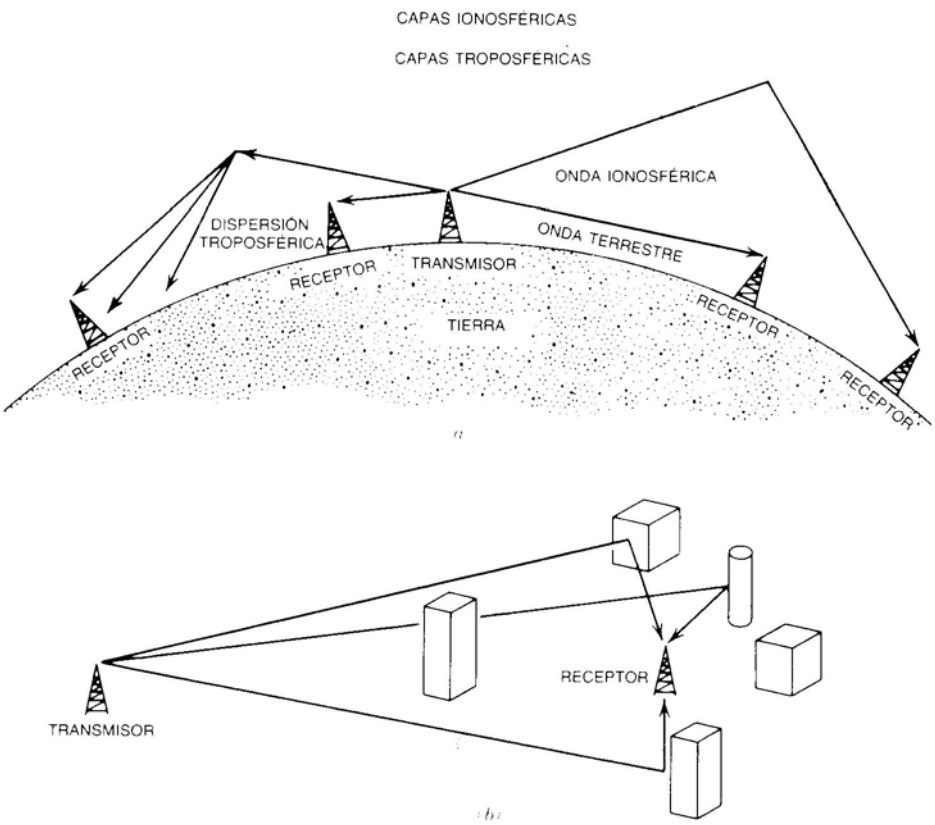


Figura 1.21. Modos de propagación: a) propagación atmosférica y terrestre, b) propagación por dispersión local.

Las ondas espaciales por el contrario viajan en línea recta y su alcance depende de la altura de la antena transmisora y de la receptora puesto que la curvatura de la tierra limita la línea de vista necesaria para que las dos antenas se comuniquen.

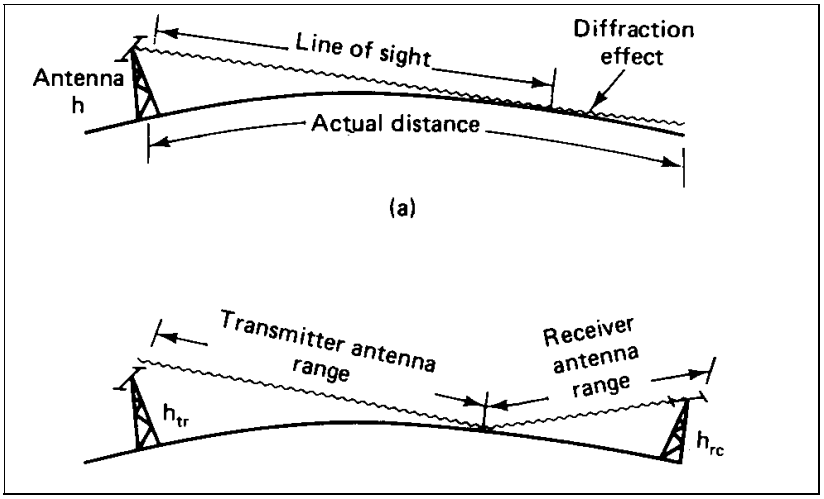


Figura 1.22. Propagación de la onda espacial.

En la práctica, la distancia que una onda espacial puede alcanzar llega a ser hasta 4/3 del valor que se obtendría haciendo un análisis geométrico simple, esto debido a la difracción de la onda, tal como se muestra en Figura 1.22.

En zonas muy montañosas se recurre al empleo de torres de transmisión que se ubican buscando que exista línea de vista entre las mismas, desde el origen de los datos hasta el destino final de los mismos. Esta solución suele ser muy costosa y solo puede ser implementada por empresas de gran poder económico y que definitivamente requieren del enlace para el normal trabajo de su proceso industrial. Es también posible contratar este servicio desde algún proveedor, en vez de implementar una solución propietaria.

En cualquiera de los dos casos, se debe tomar en cuenta que la transmisión inalámbrica puede requerir el pago del uso de la frecuencia portadora al Estado. En nuestro País, el permiso de operación se tramita en la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Con las ondas espaciales es posible también llegar más lejos, gracias a la reflexión de la onda viajera que produce la ionosfera, o, de requerirse, se puede hacer un enlace satelital enviando una señal de microondas a un satélite geoestacionario, el cual envía de vuelta la señal hacia antenas satelitales situadas de preferencia en los predios de la empresa que requiere el servicio.

En los enlaces con línea de vista, la Tierra y la atmósfera a menudo propician la recepción por trayectoria múltiple.

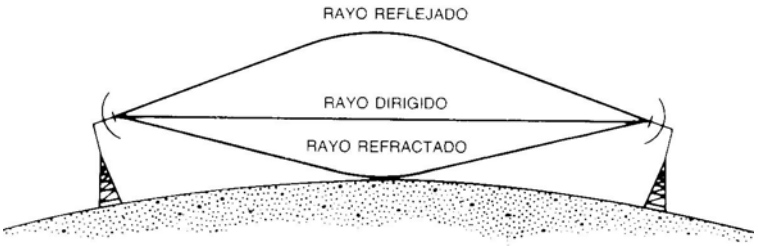


Figura 1.23. Propagación por trayectoria múltiple en enlaces con línea de vista.

Dado que las ondas dirigidas y reflejadas van por trayectorias distintas, bien puede ocurrir que sus fases no coincidan y llegue a producirse un efecto de cancelación parcial o total. Por consiguiente, existe para cada enlace una altura óptima de la antena receptora que depende de la geometría trasmisor-tierra-receptor y del desfasamiento en la reflexión. Esto quiere decir que no necesariamente la máxima altura de antena es la mejor, y puede verse torres en donde las antenas están ubicadas en un lugar intermedio en vez del punto máximo de la torre.

Organismos y regulaciones internacionales no solo que han definido los rangos del espectro Electromagnético, sino que también determinan el uso que se darán a los mismos, incluyendo sus subdivisiones. Por ejemplo, en la Figura 1.24 se muestra la cuidadosa distribución de frecuencias de VHF para diferentes usos, incluyendo el científico.

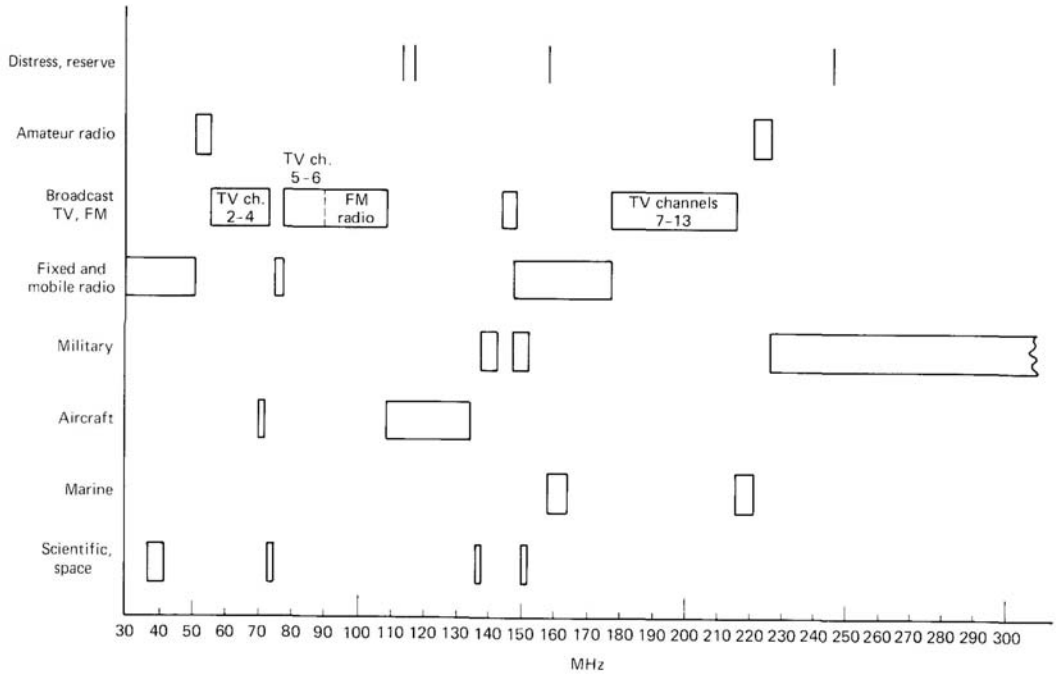


Figura 1.24. Distribución de las frecuencias en VHF.

En la Tabla 1.2 se muestran los rangos asignados para ICM, donde una aplicación ICM (Industrial, Científica, y Médica) es definida como la aplicación de equipos o de instalaciones destinados a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos, médicos, domésticos o similares.

Tabla 1.2. Frecuencias para aplicaciones ICM que requieren autorización.

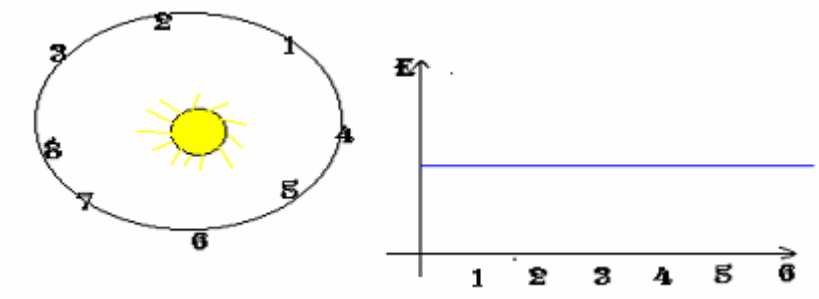
Banda de Frecuencias	Frecuencia Central
6765 – 6795 KHz	6780 KHz
13553 – 13567 KHz	13560 KHz
26957 – 27283 KHz	27120 KHz
40,66 – 40,70 MHz	40,68 MHz
433.05 – 434.79 MHz	433,92 MHz
902 – 928 MHz	915 MHz
2400 MHz – 2500 MHz	2450 MHz
5725 – 5875 MHz	5800 MHz
24 – 24,25 GHz	24,125 GHz
61 – 61,5 GHz	61,25 GHz
122 – 123 GHz	122,5 GHz
244 – 246 GHz	245 GHz

También se controla y limita la potencia de la energía radiada. Para potencias pequeñas (por ejemplo, la que se emplea en los teléfonos inalámbricos caseros) no se requiere de permiso. Para comunicaciones de pequeño alcance, que sería el caso de comunicaciones inalámbricas dentro de una planta industrial, debe buscarse una frecuencia de trabajo para la que se requiere de permiso. No hay que olvidar que con cierta potencia se pueden interferir a otros equipos o canales de comunicación funcionando en lugares cercanos. Otro aspecto que se regula es que

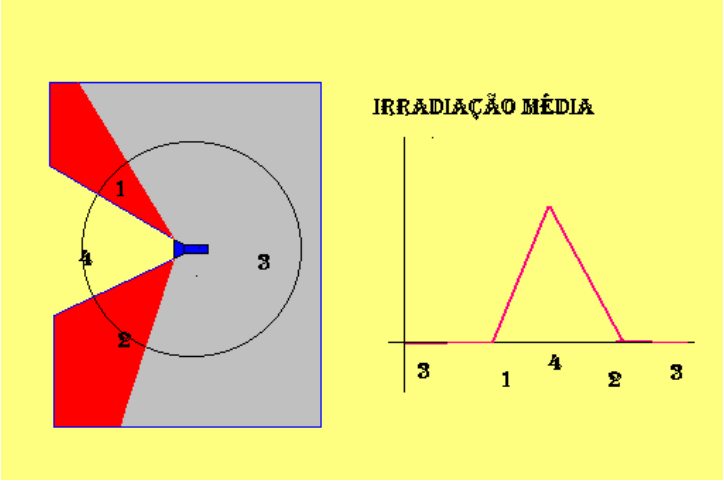
el equipo no solo que no debe interferir a otros sino que además debe ser capaz de soportar interferencias desde otros equipos.

1.2.3. Antenas

Una antena es un dispositivo que permite transmitir o recibir las ondas de energía electromagnética. Existen sistemas de energía que irradian energía en todas las direcciones (ej. El sol).

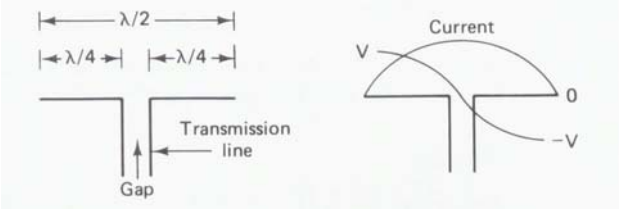


También existen elementos que pueden irradiar energía en una sola dirección, con la ventaja de que se incrementa la cantidad de energía en esa trayectoria. Un claro ejemplo es una linterna



Antenas con las mismas características del sol son hipotéticas y se conocen como **isotrópicas,** mientras que el resto son antenas típicas que se caracterizan por el diagrama de radiación de la antena.

En su forma más básica una antena no es más que un alambre cuya longitud total es igual a la mitad de la longitud de onda de la frecuencia que debe recibir o transmitir. Para hacer la antena se divide al alambre en dos partes, para excitarla con RF o recuperar la señal de RF captada, formando así un dipolo. Cada brazo de la antena tiene una longitud de un cuarto de longitud de onda tal como se muestra en la Figura 1.25.



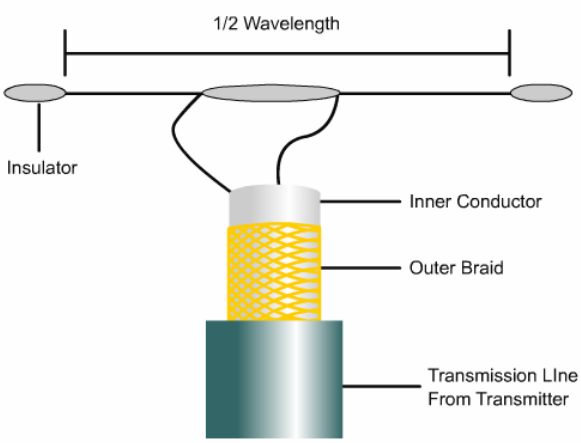


Figura 1.25. Antena dipolo básica.

Las antenas se caracterizan por su patrón o lóbulo de radiación que muestra en qué dirección una antena transmite o captura una señal. Para la antena dipolo, su patrón de radiación tiene la forma de un “Ocho” cuando se ve la antena desde arriba, tal como se muestra en la Figura 1.26.

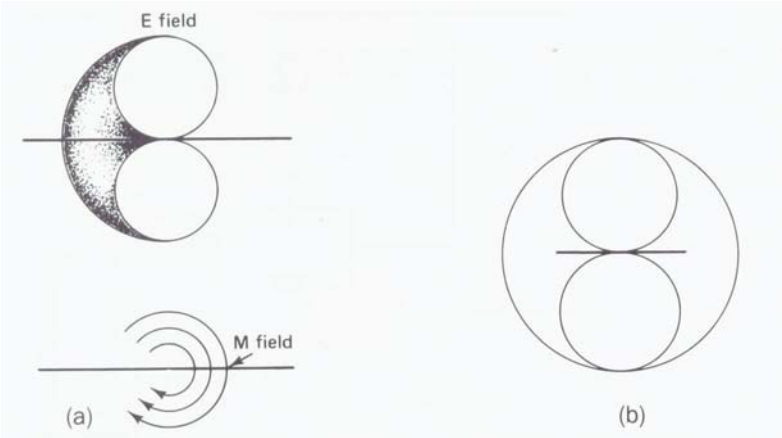


Figura 1.26. Patrón de radiación de un dipolo.

En ciertas circunstancias se requiere que una antena tenga igual ganancia, sea de transmisión o recepción, en todas direcciones, como es el caso de las antenas para radio difusión, donde se busca llegar al mayor público posible. Una antena omnidireccional típica es la Marconi que se muestra en la Figura 1.27.

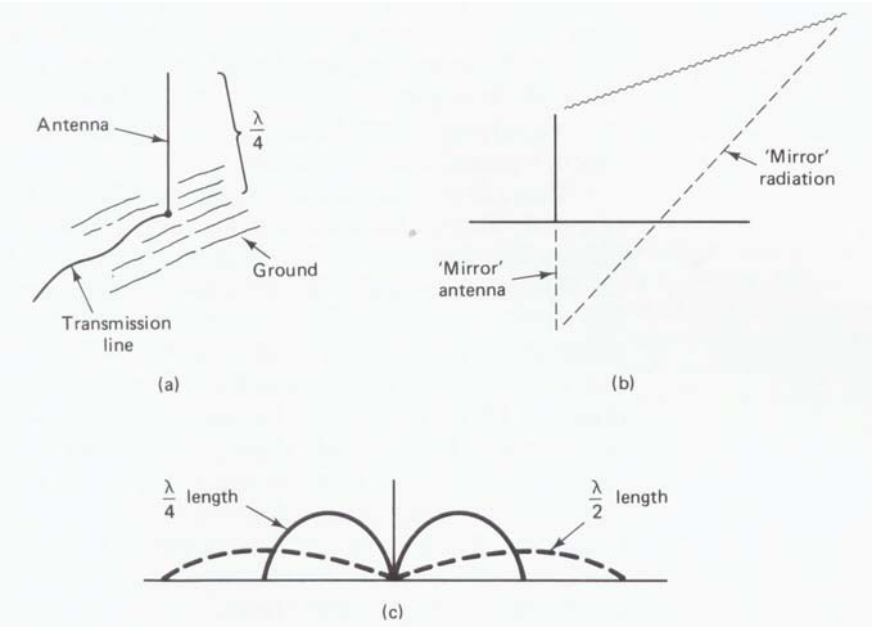


Figura 1.27. Diseño y patrón de radiación de una antena Marconi.

Pero, para otro tipo de aplicaciones, se requiere que las antenas tengan una mejor respuesta en una cierta dirección, por ejemplo para realizar enlaces de comunicaciones entre dos puntos.

La directividad de una antena se define como la relación entre la energía irradiada en la dirección del máximo del diagrama de radiación de esa antena considerada sin pérdidas, y la energía irradiada por una antena isotrópica ideal, en una dirección cualquiera , suponiendo que las dos irradian la misma potencia.

D = Densidad irradiada en una dirección/ Densidad irradiada isotropicamente

- La **ganancia** se considera como la Directividad multiplicada por un factor de eficiencia de la antena: G = ne . D
- Por lo tanto, a la ganancia se le puede dar la misma interpretación que directividad, pero considerando las pérdidas en la antena. La palabra ganancia no debe ser erróneamente interpretada como una amplificación, sino como la capacidad de concentrar energía en una dirección

La ganancia de una antena se puede dar en dBi o en dBd sea que se compare con una antena isotrópica o una dipolo, respectivamente. Para convertir dBd a dBi, simplemente hay que añadir 2.14 a los dBd.

Una antena direccional típica es la Yagui que usa el concepto del “reflector” y “director” para modificar el lóbulo tal como se muestra en la Figura 1.28.

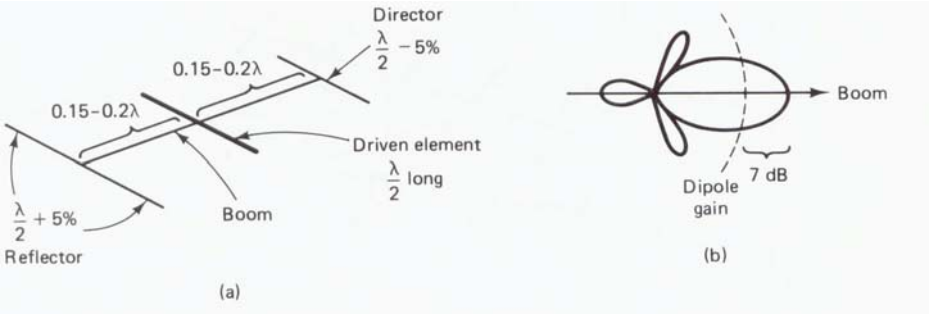


Figura 1.28. Antena Yagui direccional.

Con este mismo propósito se han diseñado muchos tipos de antenas, de entre ellas destaca por su alta ganancia y direccional la antena parabólica (dish) que se muestra en la Figura 1.29.

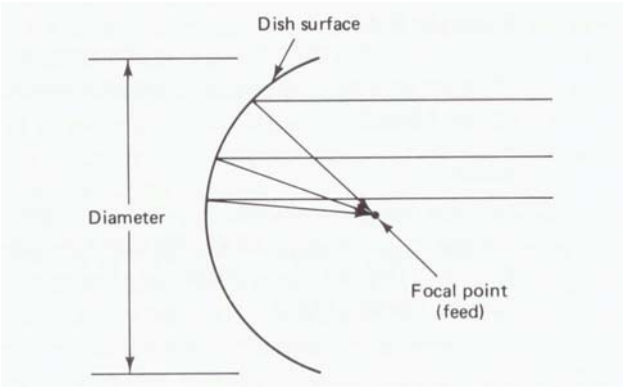
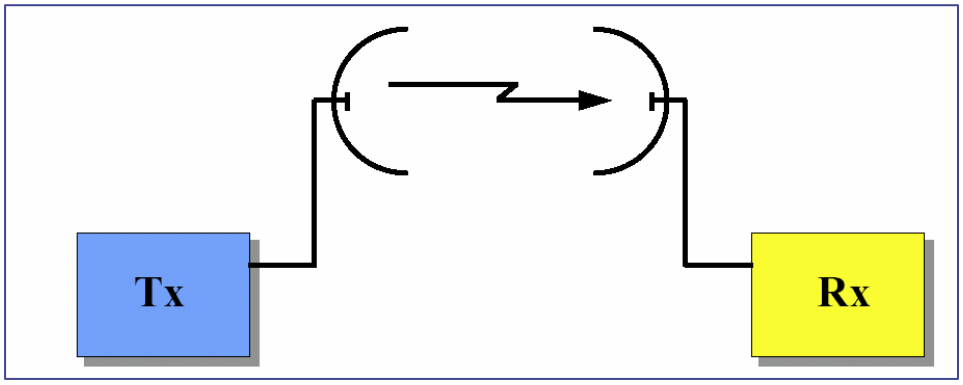


Figura 1.29. Antena parabólica

La antena parabólica se basa en el principio de la reflexión de la energía electromagnética. Su diseño concentra la energía recibida en el foco de la parábola, que es donde se ubica el elemento transmisor o receptor. Se emplea mucho en enlaces con línea de vista y en enlaces satelitales.

Empleando las técnicas de transmisión inalámbrica se crearon muchos enlaces de RF o Microondas para transmitir los datos industriales, siguiendo las mismas técnicas aprendidas de la Radio Difusión Comercial de Voz. Se levantaron torres para sujetar las antenas, generalmente en sitios altos, buscando cumplir con la condición de “línea de vista”, y así nacieron los primeros sistemas SCADA que empleaban únicamente técnicas análogas.

El diagrama muestra los elementos básicos de un radio enlace punto-a-punto. En estos los factores más relevantes a considerarse son:



TRANSMISOR: **Frecuencia, Potencia de Tx, Capacidad (bit/s, canal telf.....).**

ANTENAS: **Rango de frecuencias, ganancia.**

SALTO DE RADIO: **Longitud del salto.**

RECEPCIÓN: **Frecuencia, Umbral de Rx (relacionado a calidad de Rx de la señal)**

Se puede demostrar que transformando en Unidades Logarítmicas, la Potencia en el lado del Receptor es igual a:

$$P_R[dBm] = P_T[dBm] + G_T[dB] + G_R[dB] - 92.44 - 20 \text{ Log } (F[GHz]) - 20 \text{ Log}(L[km])$$

Donde:

PR = Potencia en el receptor

PT = Potencia del transmisor

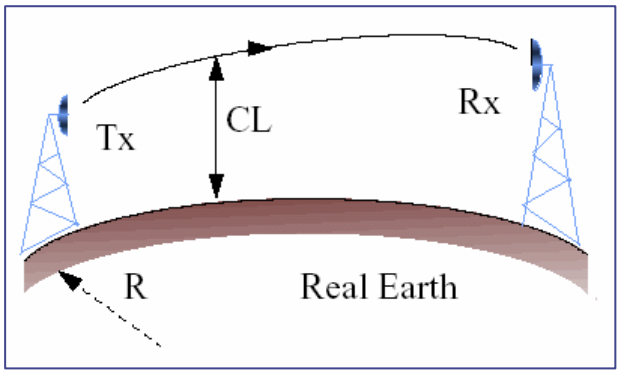
GT = Ganancia de la antena transmisora

GR = Ganancia de la antena receptora

F = Frecuencia de la portadora

L = Distancia entre antenas

Hasta casi 1 Km de altura, el índice de refracción usualmente se decrementa con la altura en forma constante. Esto implica que la Gradiente de Refracción (índice de variación) es también constante. Como resultado, la trayectoria del rayo irradiado desde la antena de Tx hasta la de Rx se curva en cierta medida. La curvatura del rayo es proporcional a la Gradiente de Refracción: lo que la hace dependiente de los parámetros atmosféricos que pueden haber en un momento dado.



Para comprobar si hay línea de vista entre las antenas de Tx y Rx, se debe considerar el efecto combinado entre el **Radio de curvatura del rayo irradiado**, la **curvatura de la tierra** y el **perfil del terreno**.

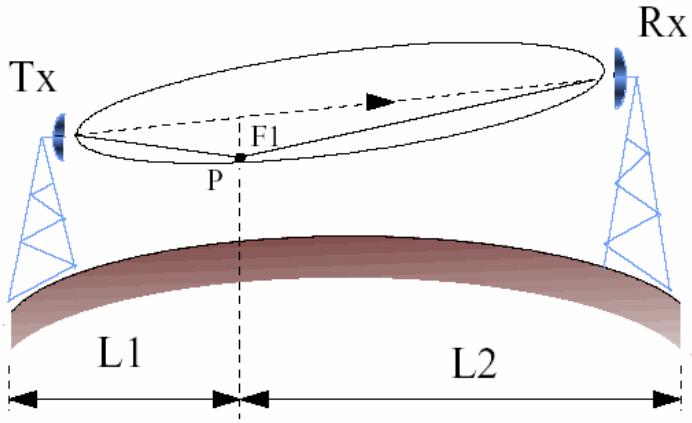
El espacio libre CL se define como la distancia que hay entre el rayo irradiado y la tierra. Un espacio libre negativo indica que una obstrucción de la tierra es más alta que el rayo.

Un enlace con línea de vista implica dejar libre también la denominada: primera zona de Fresnel.

The Fresnel ellipsoid gives an estimate of the **space volume involved in the propagation** phenomena from Tx to Rx. The points on the Fresnel ellipsoid satisfy the relation : **TxP + PRx = TxRx + λ/2**

A radio wave through the path Tx-P-Rx arrives at the receiver with **180 deg phase shift** with respect to the direct path Tx-Rx.

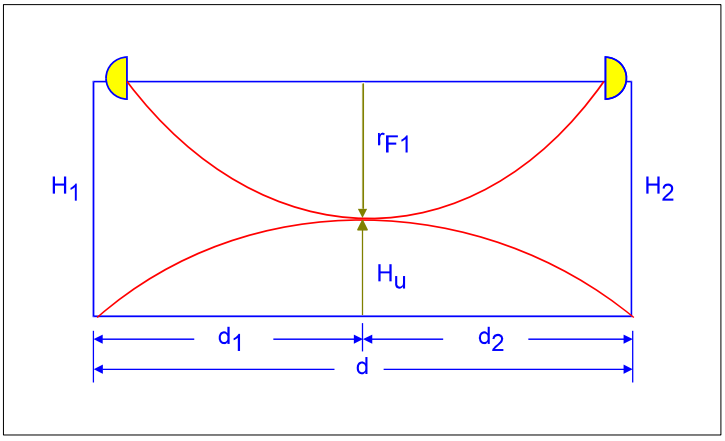
About half of the Rx signal energy travels through the Fresnel ellipsoid. So, any **obstruction within the Fresnel ellipsoid** has some **impact on the Rx power.**



F1 is the Fresnel Ellipsoid Radius, depending on distance L1 from the hop terminal.

Para calcular la zona de Fresnel se puede aproximar con:

$$r_{F_1} = 17{,}4 \cdot \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{d \cdot f}} \qquad n = \left(\frac{r_{F_n}}{r_{F_1}}\right)^2 \qquad H_u = \frac{d_1 \cdot d_2}{12{,}7 \cdot K}$$



La línea de vista se obtiene de un MAP survey que ayuda a identificar sobre un mapa los posibles puntos que darían un enlace libre de obstáculos. Esto no es suficiente y se complementa con un SITE survey que permite analizar de cerca el sitio donde se instalaría la antena con su torre. Aproximadamente se estipula que un área de 10 m2 es indispensable para albergar la torre y el equipo de soporte.

Una vez identificados los sitios de ubicación de las antenas, toca decidir si en estos irán enlaces activos o pasivos. Obviamente, enlaces activos implican que exista fácil acceso a la energía eléctrica, aspectos todos que deben ser tomados en cuenta para aceptar un sitio como adecuado.

Existen otros detalles más involucrados en el cálculo de los enlaces, pero estos requieren de un estadio más especializado, que queda fuera del alcance de este curso.

1.3. Digitalización y Transmisión Digital

La transmisión digital se ha popularizado y desarrollado mucho en la actualidad. Consiste en digitalizar la señal análoga que se desea enviar y transmitirla utilizando técnicas digitales. Una de las ventajas que tiene la digitalización es su mayor resistencia a la contaminación por ruido durante la transmisión. Cuando un ruido afecta a una señal digital generalmente cambiará su amplitud, pero, como la información no depende de la amplitud de la señal digital sino que está representada por la combinación de los dígitos binarios, es más difícil que la modifique, siempre y cuando el ruido tenga niveles manejables.

Luego de la digitalización los unos y ceros lógicos son representados por niveles de voltaje que obedecen a normas, por ejemplo, en la lógica TTL, un “uno” lógico es representado por un voltaje comprendido entre 0 y 0.8 voltios y un “cero” lógico por un voltaje comprendido entre 3,8 y 5 voltios.

Si se desea transmitir una señal digital empleando el concepto de la modulación se recurre a las técnicas de modulación que se muestran en la Figura 1.18.

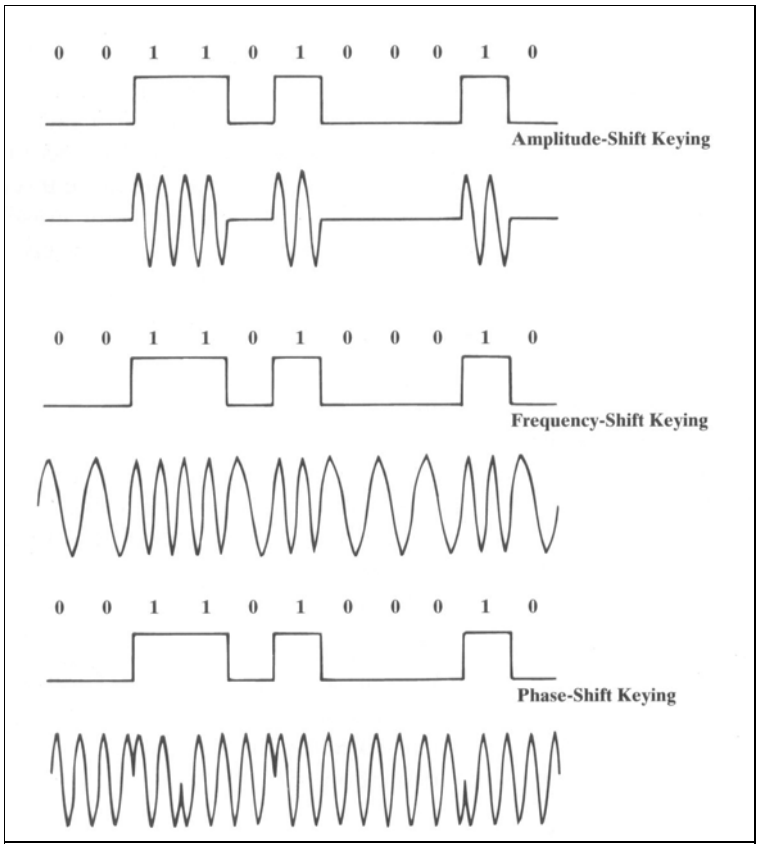


Figura 1.18. Modulación de una señal de RF análoga con datos digitales

Como se observa, la señal portadora análoga es modulada por la señal digital en una de las tres características siguientes: amplitud, frecuencia o fase.

En modulación de amplitud (Amplitude-Shift Keying, ASK), los dos estados binarios de la señal digital se representan con dos amplitudes de la señal portadora, en algunos casos uno de estos estados puede significar una amplitud de cero. ASK se considera una técnica no muy eficiente y susceptible a cambios repentinos de ganancia. Sobre líneas de voz se transmite hasta una velocidad de 1200 bps.

En modulación de frecuencia (Frecuency-Shift Keying, FSK), los dos valores binarios se representan con dos frecuencias. Esta técnica es menos susceptible a ruidos que la ASK. Sobre líneas de voz se trasmite hasta 1200 bps pero se la puede emplear también para transmisión por radio a alta frecuencia (HF, 3 a 30 MHz).

En modulación de fase (Phase-Shift Keying, PSK) la fase de la portadora cambia para representar la señal digital. En el ejemplo, un 0 se representa por una ráfaga con igual fase que la anterior, mientras que un 1 obliga un cambio de fase. Esta técnica es más resistente al ruido que la FSK, sobre líneas de voz puede transmitirse hasta 9600 bps.

Los tres métodos, al emplear una señal análoga para la transmisión, se clasifican dentro de lo que se conoce como transmisión de banda ancha (Broad-Band Transmission).

Es posible también transmitir los pulsos directamente. A esta técnica de transmisión se denomina transmisión en banda base (Base-Band Transmission). Muchas redes de datos locales (LANs) utilizan esta técnica que puede, bajo ciertas circunstancias, ser más barata y menos cara.

Para la transmisión no se emplea los niveles asociados con la lógica TTL (0 o 5 V), pues se tiene una componente continua que es difícil de manejar. Por otro lado se tiene el problema de la sincronización entre transmisor y receptor durante la transmisión. Para resolver estos problemas se emplean técnicas especiales de codificación: NRZ y bifásicas.

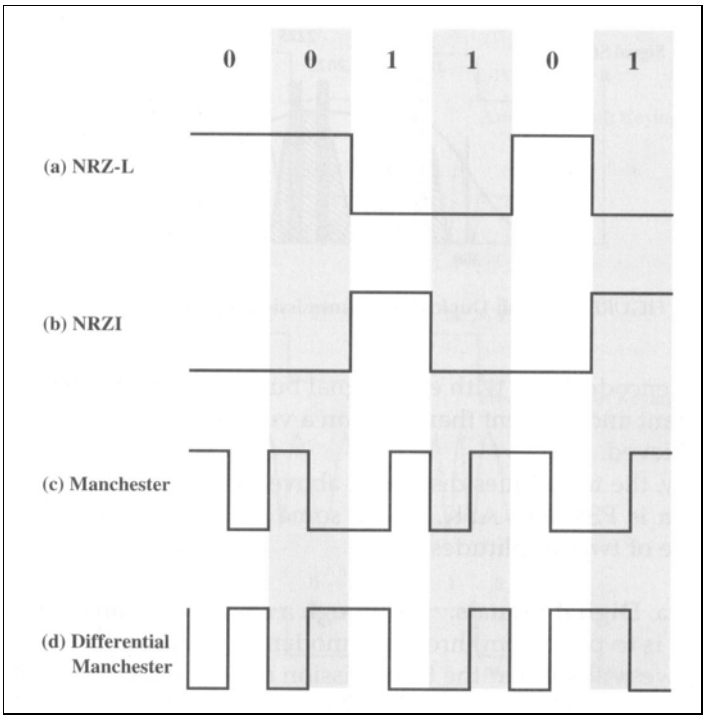


Figura 1.19. Codificación de señales digitales

La codificación NRZ (Nonreturn-to-zero) implica que la señal digital nunca se hace cero sino que se emplea dos voltajes, uno positivo y otro negativo, para representar los dos dígitos binarios. En la técnica NRZ-L (NRZ level) un voltaje negativo representa el dígito binario 1 y un voltaje positivo el digito binario 0. Puesto que la señal tendrá entonces valores positivos y negativos, se consigue de esta manera reducir el efecto de la componente de continua, aunque no totalmente. Se emplea para conexiones cortas como entre un terminal y un módem o entre un terminal y una computadora cercana.

NRZ-I es una variante de la anterior y representa un ejemplo de una codificación diferencial en la que la señal es codificada comparando con la polaridad de los elementos adyacentes. Esta técnica es más confiable para detectar una transición en la presencia de ruido.

La desventaja de la transmisión NRZ es que es difícil determinar cuando termina un bit y cuando empieza otro. Si se transmite una sucesión de ceros o unos, cualquier corrimiento en el tiempo entre transmisor y receptor resultaría en una perdida de sincronización. También está el problema de la componente de continua.

Para resolver este problema se usan las técnicas bifásicas como la Manchester y Manchester Diferencial. En ambos casos por cada bit hay una transición obligatoria que no permite la aparición de la componente de continua y facilita la sincronización del receptor. La ausencia de una transición que se esperaba puede servir para detección de errores. El ruido debería producir una inversión antes y después de una transición esperada para que un error pase sin detectarse.

Una vez que se digitalizó la señal, inicialmente se diseñaron ciertas técnicas para trasmitir los datos binarios. Estas primeras técnicas, todavía vigentes, se explican a continuación.

1.3.1. LA INTERFAZ SERIAL RS-232

Esta fue una de las primeras técnicas para trasmitir datos digitales sobre un medio físico.

Hay dos tipos de comunicaciones digitales seriales: síncronas y asíncronas. En una transmisión síncrona los datos son enviados un bit a continuación de otro por una línea que une la salida del transmisor, TXD, del un lado con la línea de recepción, RXD del otro lado). El transmisor y el receptor son sincronizados con una línea extra que trasmite pulsos de reloj que indican cuando un pulso es válido. La duración del bit está determinada por la duración de los pulsos de sincronismo). Como se puede entender, el uso de esta técnica implica la existencia de un cable extra para llevar la señal de reloj, lo cual resulta en un costo extra. Esta técnica no se usa para las aplicaciones que aquí se analizan.

En la transmisión asíncrona no se emplea una señal de reloj, más bien se utiliza una técnica que recurre a “encapsular” los datos con un bit de inicio y uno o dos bits de parada, y así no es necesaria la línea extra de sincronismo.

Pero encapsular con un bit de inicio y otro de parada los datos no es suficiente, hay otras reglas de transmisión sobre las que se deben poner de acuerdo el transmisor y receptor. Por ejemplo, mientras el estado de la línea está en alto, el receptor deberá interpretar como que no existe transmisión y, por lo mismo, el canal está en modo de espera (idle). Cuando la línea de comunicación cambia de estado (se recibe el bit de inicio), el receptor debe interpretar ese cambio como el comienzo de la transmisión. Pero, ¿que sucede si ese cambio de estado fue producido por un transitorio? En situaciones así, el algoritmo de comunicación debe instruir al receptor esperar cierto tiempo para volver a leer la línea y así asegurarse que el cambio de estado corresponde efectivamente al bit de inicio. Pero, volver a leer la línea ¿después de qué tiempo? Igualmente, ¿cada qué tiempo el receptor debe leer la línea para leer un bit de la trama? En ambas situaciones se comprenderá que se necesita saber el tiempo de duración de un bit. Por todo lo indicado, antes de iniciar cualquier comunicación con el puerto RS-232 se debe determinar el protocolo a seguir. Esto debe ser hecho por el usuario quien debe decidir sobre:

El Protocolo serial: esto es, el numero bits de datos, la paridad, el número de bits de parada)

La velocidad de transmisión.

El protocolo de control de flujo (RTS/CTS o XON/XOFF).

Con RS232C se puede transmitir los datos en grupos de 5, 6, 7, u 8 bits aunque los más usados son 7 y 8 bits.

La velocidad de transmisión (normalmente 9600 bits por segundo para aplicaciones industriales) debe ser constante durante la transmisión de una trama para garantizar que los bits lleguen uno tras de otro en el momento correcto. Cualquier retardo provocaría una lectura incorrecta.

Los bits de datos son enviados al receptor después del bit de inicio, el bit menos significativo es transmitido primero. Dependiendo de la configuración de la transmisión, un bit de paridad es enviado después de los bits de datos. El propósito de cada unos de estos bits especiales se indica a continuación:

i. **Bit de inicio.-** cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y es a partir de entonces que debe leer las señales de la línea a intervalos concretos de tiempo, en función de la velocidad de transmisión.
ii. **Bit de paridad.-** con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, por ejemplo, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de bits 1 enviados sea par.
iii. **Bit de parada.-** indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 y 2 bits de parada.

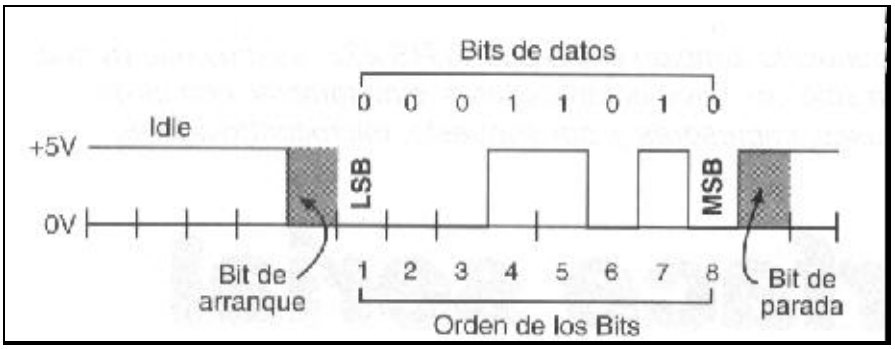


Figura 1.20. Trama TTL.

En la Figura 1.20 se muestra la trama con los voltajes correspondientes a la lógica TTL, la cual no se emplea en la norma RS-232.

Un concepto muy importante que debe entenderse es el del **throughtput** (rendimiento) de la transmisión de datos.

Si bien el encapsulamiento es esencial para la trasmisión asíncrona, por otro lado, tiene el defecto de añadir bits a los datos propiamente dichos (la trama de datos) disminuyendo consecuentemente la velocidad efectiva de la transmisión. Note que si se transmiten 8 bits y se añade un bit de inicio y un bit de parada, independientemente de la velocidad de transmisión, el rendimiento de la transmisión se reduce en un 20%. Esto es, el throughtput apenas llega al 80%. Más tarde se verá que para protocolos más complejos, el encapsulamiento (que es referido también como **overhead**) es mayor y por lo mismo afecta más al throughtput.

El RS-232C es un estándar que constituye la tercera revisión de la antigua norma RS-232, propuesta por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas), realizándose posteriormente un versión internacional por el CCITT, conocida como V.24. Las diferencias entre ambas son mínimas, por lo que a veces se habla indistintamente de V.24 y de RS-232C (incluso sin el sufijo "C"), refiriéndose siempre al mismo estándar.

El estándar RS-232 establece que un 1 lógico se represente con un voltaje entre -3V y -15V, mientras que un 0 lógico se represente con un voltaje entre +3V y +15V.

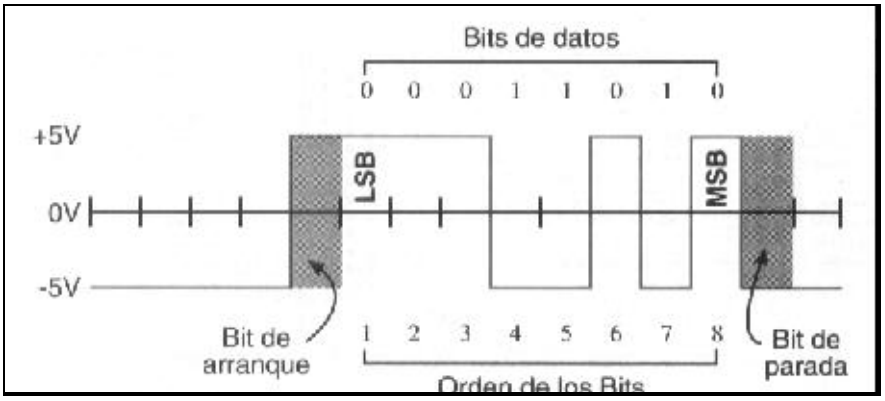


Figura 1.21. Trama RS-232 típica.

Los voltajes más usados son +12V y -12V. El estado de reposo (idle) se representa con un 1 lógico; es decir, -12V. Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros. En la Figura 1.19 se muestran los voltajes RS-232 para voltajes de +/- 5V.

Para compensar los efectos de la atenuación de voltaje en la línea y los efectos del ruido, se han establecido diferentes niveles de voltaje tanto para el lado del transmisor como del receptor, tal como se muestra en la Figura 1.22 a continuación.

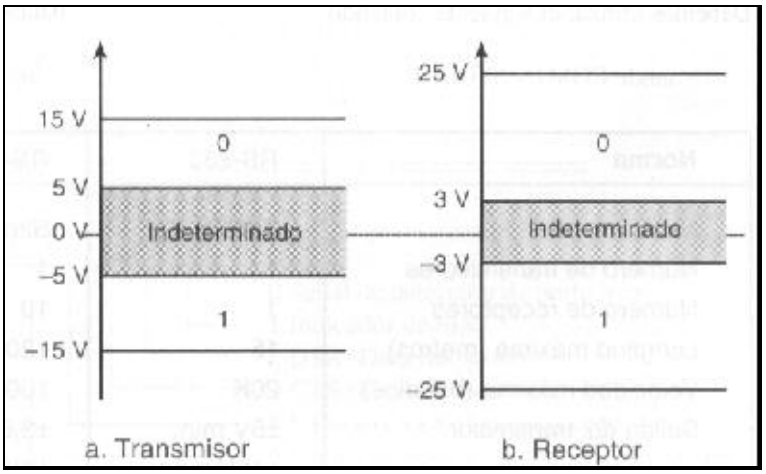


Figura 1.22. Niveles de voltaje en el Tx y en el Rx.

1.3.2. El puerto serial de una PC.

El puerto serial de una PC se rige por el estándar RS-232C. Este estándar fue empleado en los 60s para comunicar un equipo terminal de datos, DTE (Data Terminal Equipment, el PC en este caso) y un equipo de comunicación de datos, DCE (Data Communication Equipment, habitualmente un modem).

Para conseguir los niveles de voltaje correctos hay circuitos que dan soporte para convertir los niveles de voltaje TTL a RS-232 y viceversa. En el ejemplo de la Figura 1.23 se muestran los circuitos que se emplean en una computadora para manejar la interfaz serial RS-232 de la misma.

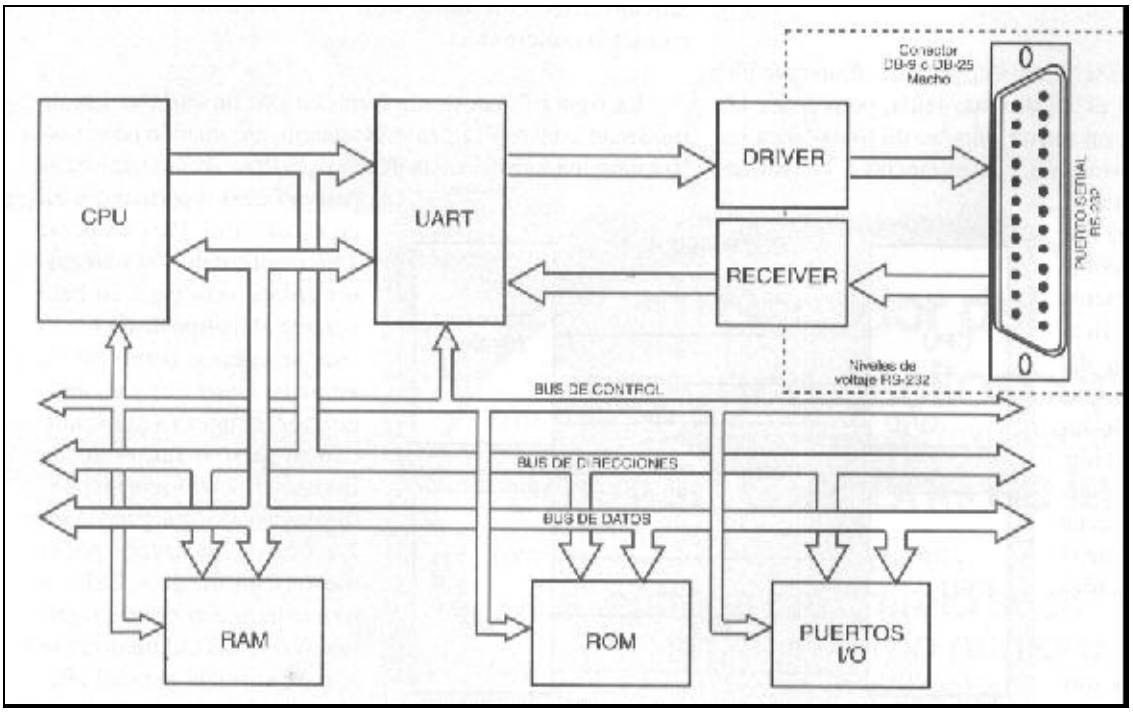


Figura 1.23. Trabajo del UART.

El driver convierte de TTL a RS-232 para la transmisión y el receptor (receiver) de RS-232 a TTL.

El estándar especifica un conector DB-25 de 25 pines y que el conector DTE debe ser macho y el conector DCE hembra. Muchos de los 25 pines no son necesarios y solo se emplean las siguientes:

i. **Línea de transmisión de datos (TxD).-** línea por la que el DTE (PC) envía los datos.
ii. **Línea de recepción de datos (RxD).-** línea por la que el DTE (PC) recibe los datos.
iii. **DTE preparado (DTR).-** línea por la que el DTE (PC) indica al DCE (módem) que está activo para comunicarse con el módem.
iv. **DCE preparado (DSR).-** línea por la que el DCE (módem) indica al DTE (PC) que está activo para establecer la comunicación.
v. **Petición de envío (RTS).-** con esta línea, el DTE (PC) indica al DCE (módem) que está preparado para transmitir datos.
vi. **Preparado para enviar (CTS).-** tras un RTS, el DCE (módem) pone esta línea en 1 lógico, tan pronto como está preparado para recibir datos.
vii. **Tierra.-** necesaria para que tenga lugar la transmisión.

Por esta razón en muchas PC modernas se utiliza el conector DB-9 macho.

En la Tabla 1.3 a continuación se listan los pines con su respectiva numeración:

Tabla 1.3. Descripción de pines en RS-232.

Conector 25 pines	Conector 9 pines	Nombre	Descripcion
1	1	-	Masa chasis
2	3	TxD	Transmit Data
3	2	RxD	Receive Data
4	7	RTS	Request to send
5	8	CTS	Clear to send
6	6	DSR	Data Set Ready
7	5	SG	Signal Ground
8	1	DCD	Data Carrier Detect
15	-	TxC	Transmit Clock
17	-	RxC	Receive Clock
20	4	DTR	Data Terminal Ready
22	9	RI	Ring Indicator
24	-	RTxC	Transmin/Receive Clock

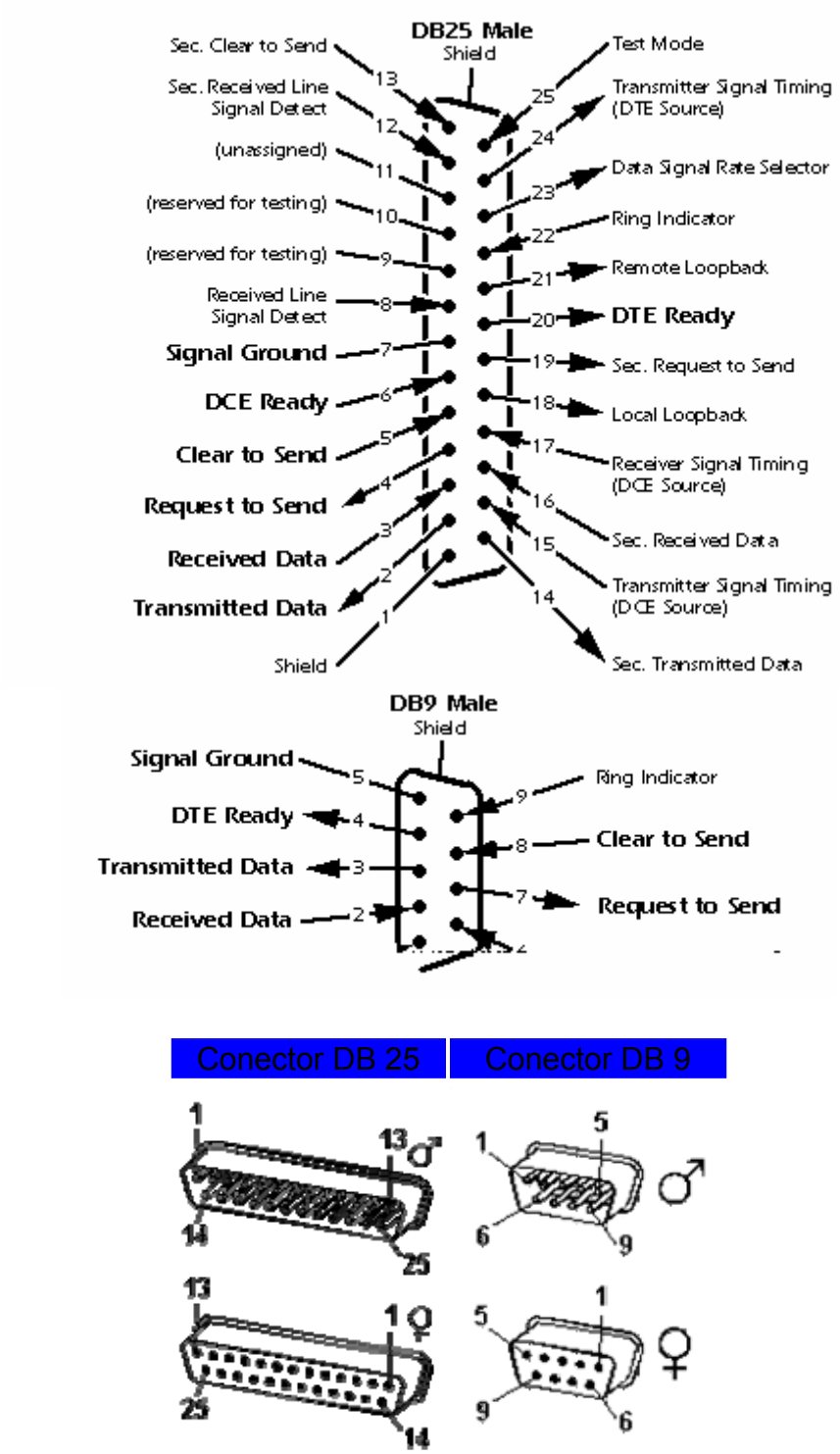


Figura 1.24. Formato y distribución de pines en RS-232.

1.3.4. Conexión de las líneas.

Para hacer posible la comunicación entre dos equipos PC se interconectan los pines de la siguiente manera:

(PC1) RxD <========== TxD (PC2)
(PC1) TxD ==========> RxD (PC2)
(PC1) DTR ==========> DSR (PC2)
(PC1) DSR <========== DTR (PC2)
(PC1) RTS ==========> CTS (PC2)
(PC1) CTS <========== RTS (PC2)
(PC1) TIERRA ========== TIERRA (PC2)

Los pines que portan los datos son RxD y TxD, los demás se encargan de otros trabajos tal como se indica más arriba.

Para controlar el puerto serie, la computadora usa direcciones de E/S e interrupciones (IRQ): para COM1 la dirección 3F8h y el IRQ4 y para COM2 la 2F8h e IRQ3. Luego el estándar añadió nuevos puertos serie siendo las direcciones de E/S, 3E8 para COM3 y 2E8 para COM4, sin especificar las IRQ, debiendo el usuario definirlas en función de las que tenga libres o el uso que vaya a hacer de los puertos serie. Se puede tener en diferentes puertos las mismas IRQ siempre que no se utilicen los dos al mismo tiempo.

1.3.4. LA INTERFAZ RS-485

El alcance de la RS-232 es apenas de 15 m, un valor muy reducido para aplicaciones industriales reales. Es por esto que se creó el estándar RS-485.

El estándar RS-485 fue desarrollado en conjunto por dos asociaciones: la Electronic Industries Association (EIA) y la Telecommunications Industry Association (TIA). La EIA es la que etiquetaba sus estándares con el prefijo "RS" (Recommended Standard). Aunque se continua usando esta designación, la EIA/TIA ha reemplazado oficialmente "RS" con "EIA/TIA" para ayudar a identificar el origen de sus estándares.

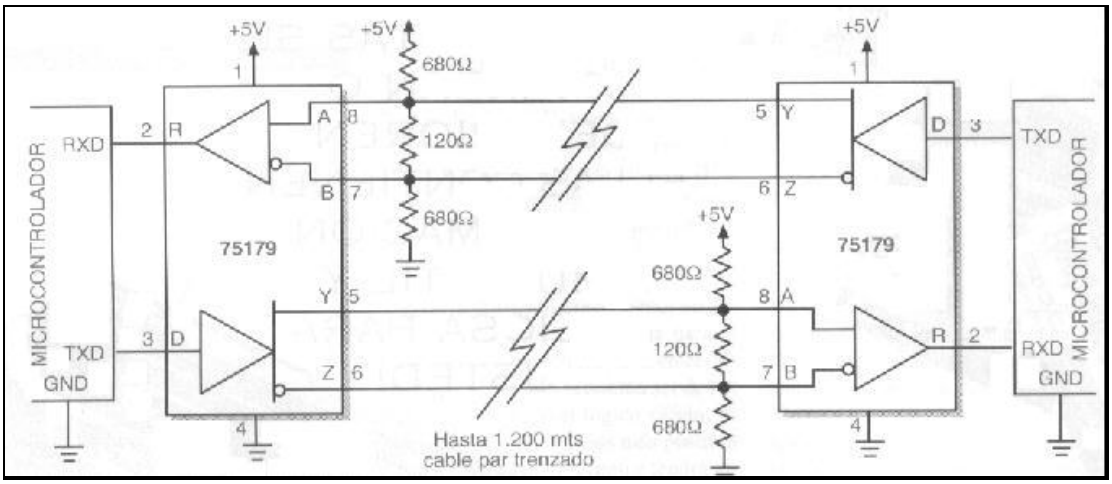


Figura 1.25. RS-485 y su modo diferencial.

La característica más relevante de la RS-485 es que puede trabajar en modo diferencial tal como se muestra en la Figura 1.23.

Los estándares RS-485 y RS-422 tienen mucho en común, y por tal razón a menudo se los confunde. La tabla más abajo los compara. RS-485 se especifica como bidireccional, half-duplex y es el único estándar EIA/TIA que permite receptores múltiples y drivers en configuraciones tipo "bus". La EIA/TIA-422, por otro lado, especifica un driver único, unidireccional con receptores múltiples. Los componentes de RS-485 son compatibles hacia atrás e intercambiables con los de la RS-422, pero, los drivers RS-422 no deben ser empleados con la RS-485 porque no pueden proveer control del bus.

Tabla 1.4. RS-485 and RS-422 Standards

	RS-422	RS-485
Modo de operación	Diferencial	Diferencial
No. permitido de Tx y Rx	1 Tx, 10 Rx	32 Tx 32 Rx
Máxima longitud del cable	4000ft	4000ft
Máxima taza de datos	10Mbps	10Mbps
Mínimo rango salida driver	±2V	±1.5V
Máximo rango salida driver	±5V	±5V
Máxima corriente corto-circuito driver	150mA	250mA
Impedancia de carga Tx	100	54
Sensibilidad entrada Rx	±200mV	±200mV
Máxima resistencia ent. Rx	4k	12k
Rango volt. Entrada Rx	±7V	-7V to +12V
Uno lógico Rx	>200mV	>200mV
Cero lógico Rx	<200mV	<200mV

Es bastante simple convertir una RS-232 a RS-485 o viceversa. En la Figura 1.26 se ve uno de estos circuitos de conversión basado en el MAX-232.

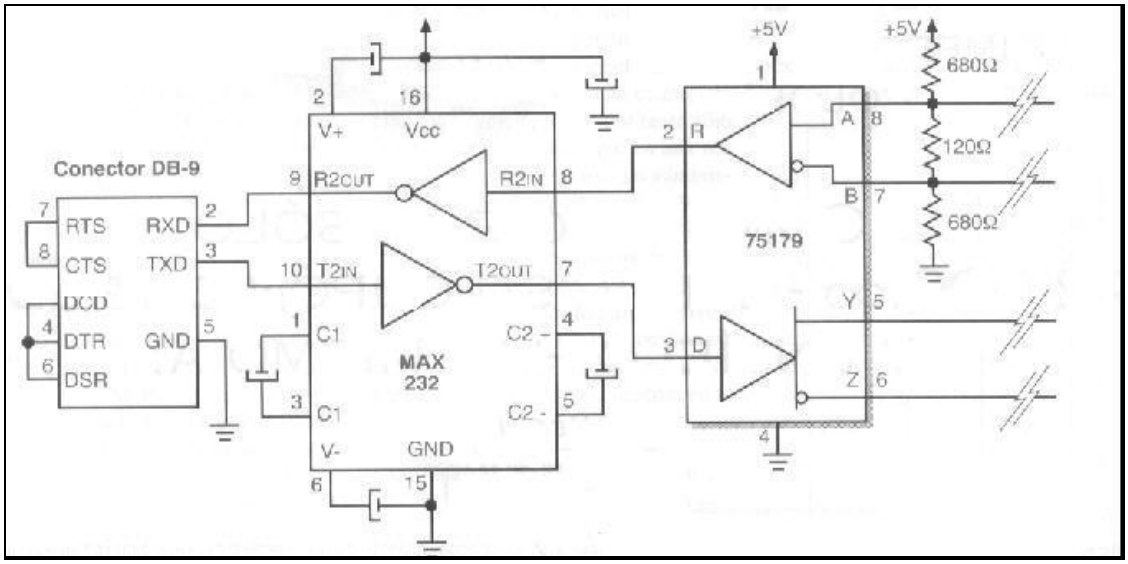


Figura 1.26. Conversión RS-232 a RS-485.

En la Figura 1.27 se muestra un circuito típico que permite enlazar una PC con un microcontrolador empleando RS-485.

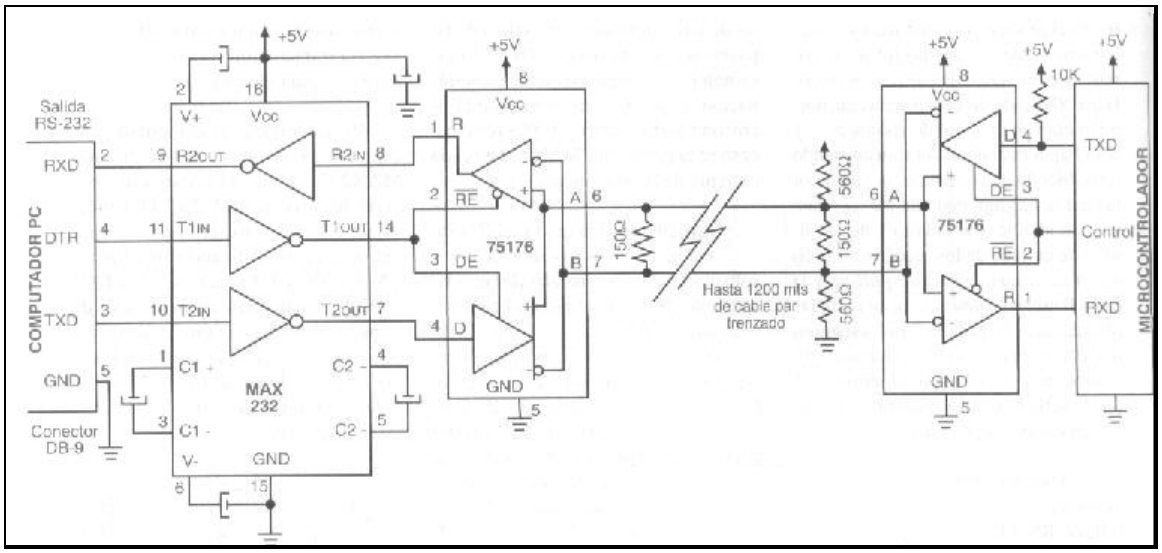


Figura 1.27. Enlace entre una PC y un microcontrolador.

Protección ESD

Los enlaces diferenciales de las interfaces RS-485 y RS-422 proporcionan una transmisión confiable ante la presencia de ruido, y las entradas diferenciales de los receptores pueden rechazar voltajes en modo-común elevados.

Consecuencias de tazas altas de transmisión de datos

Con velocidades de transmisión altas se comienza a tener problemas con las reflexiones. Para contrarrestar éstas, se instalan resistencias de terminación con un valor igual al de la impedancia del cable. Para cables RS-485 comunes (pares trenzados de 24AWG), esto significa resistencias de 120 en los dos terminales.

Se puede afirmar que la RS-485 fue el primer intento por evitar un enlace físico de datos para cada sensor o transmisor. Es útil cuando no se deben monitorear o controlar muchas variables. Sin embargo, se tiene todavía un problema: no se puede conectar todos los dispositivos a un solo pórtico RS-485, para lograr una mejor flexibilidad y eficiencia que es lo que actualmente demanda la industria moderna.

En la Tabla 1.5 a continuación se hace una comparación de todos los estándares relacionados con la transmisión serial.

Norma	RS-232	RS-423	R-422	RS-485
Modo	Simple	Simple	Diferencial	Diferencial
Número de transmisores	1	1	1	32
Número de receptores	1	10	10	32
Longitud máxima (metros)	15	1200	1200	1200
Velocidad máxima (baudios)	20K	100K	10M	10M
Salida del transmisor	±5V mín. ±15V máx	±3,6V mín. ±6V máx.	±2V mín.	±1,5V