

***FUNDAMENTOS DE
DE RFID***

INDICE

- 1. ¿Que es un sistema de RFID?**
- 2. Elementos de un sistema de RID.**
 - 2.1 Transponder, Tag o etiqueta.**
 - 2.2 Lectores.**
- 3. Clasificación de sistemas de RFID.**
- 4. Principios básicos de funcionamiento de un sistema de RFID.**
 - 4.1 Acoplamiento inductivo.**
 - 4.1.1. Transferencia de datos entre transponder y lector.**
 - 4.2 Acoplamiento backscatter (propagación de ondas electromagnéticas).**
 - 4.3 Close coupling**
- 5. Rangos de Frecuencia**
- 6. Sistemas de RFID a 13,56MHz.**
 - 6.1. Principio de operación.**
 - 6.2. Formas.**
- 7. Códigos y modulaciones.**
 - 7.1. Codificación en banda base.**
 - 7.2. Modulaciones digitales**
- 8. Modulaciones que usan subportadora**

1. ¿Qué es un sistema RFID?

Un sistema de RFID (Radio Frequency IDentification) es la tecnología inalámbrica que nos permite, básicamente, la comunicación entre un lector y una etiqueta. Estos sistemas permiten almacenar información en sus etiquetas mediante comunicaciones de radiofrecuencia. Esta información puede ir desde un Bit hasta KBytes, dependiendo principalmente del sistema de almacenamiento que posea el transponder.

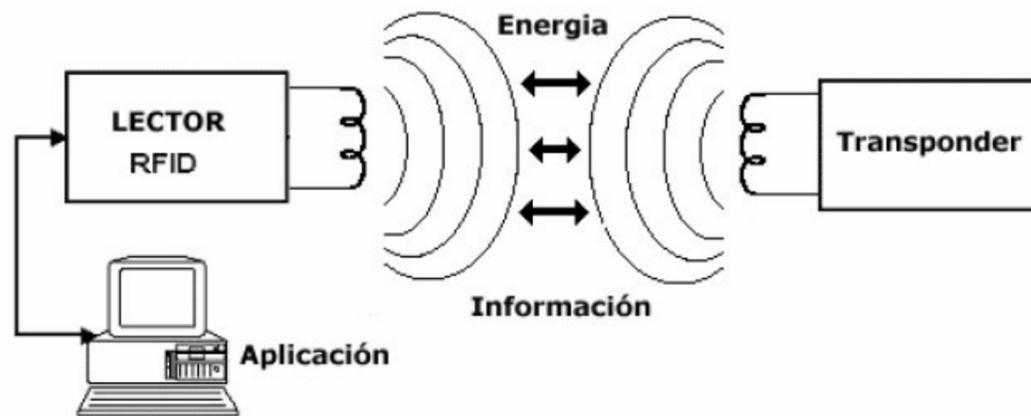


Figura 1. Esquema de un sistema RFID

Un tag, transponder o etiqueta electrónica contiene un microchip y una antena, que puede adherirse a cualquier producto. Incluso se están desarrollando tags que son de un tamaño tan pequeño que pasarían inadvertidas en algunos objetos.

El microchip almacena un número de identificación -una especie de matrícula única de dicho producto. Podemos decir, que cada objeto tendrá un código único que lo diferenciará e identificará no sólo de otros tipos de productos, sino de productos iguales.

El funcionamiento del sistema, es a priori, bastante sencillo, como podemos observar en la Figura 1, el lector envía una serie de ondas de radiofrecuencia al tag, que son captadas por la microantena de éste. Dichas ondas activan el microchip, el cual, a través de la microantena y mediante ondas de radiofrecuencia, transmite al lector la información que tengan en su memoria. Finalmente, el lector recibe la información que tiene el tag y lo envía a una base de datos en la que previamente se han registrado las características del producto o puede procesarlo según convenga a cada aplicación.

La comunicación entre el lector y la etiqueta se realiza mediante señales de radiofrecuencia a una determinada frecuencia que generan las antenas de lector y etiqueta, estas frecuencias pueden ser iguales o pueden ser armónicas. La comunicación entre ellas tiene unas determinadas características de alcance, velocidad y seguridad según el rango de frecuencia, el tipo de antenas utilizadas, el tipo de etiquetas y demás parámetros que se pueden configurar para una aplicación u otra.

En equipos RFID nos podemos encontrar con sistemas anticollisión que permiten leer varias tarjetas al mismo tiempo. En caso de que varias tarjetas estén en el rango de alcance del interrogador y dos o más quieran transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión. El interrogador detecta la colisión y manda parar la transmisión de las tarjetas durante un tiempo. Después irán respondiendo cada una por separado por medio de un algoritmo bastante complejo. Obviamente a mayor capacidad de la etiqueta y el lector, más efectivos serán estos algoritmos.

El funcionamiento de los dispositivos de RFID se realiza entre los 50 KHz y 2.5 GHz. Las unidades que funcionan a bajas frecuencias (50 KHz-14 MHz) son de bajo coste, corto alcance, y resistentes al "ruido" entre otras características. Las unidades que operan a frecuencias más altas (14 MHz-2.5 GHz), son sistemas de mayor coste y tecnología más compleja. La carga electromagnética de una antena lectora de RFID es menos de una quinta parte de la que produce un teléfono móvil, lo que significa que cinco antenas activas situadas cerca de una persona generan menos carga que un teléfono móvil; en la práctica, es muy improbable que una persona se sitúe cerca de una o más antenas activas a la vez, por lo que las emisiones electromagnéticas no son perjudiciales para la salud.

La etiqueta contiene información que puede ser sólo leída o puede permitir la escritura, dependiendo del tipo de memoria que posea el transponder. En algunos casos llevan datos grabados de fábrica y en otros se puede grabar por parte del usuario. El usuario habitualmente recibe esta información en un lector portátil con un display alfanumérico o puede pasar directamente a un ordenador que procese los datos obtenidos.

Para la creación de un sistema RFID hay que tener en cuenta diversos factores de diseño como el rango de alcance donde se puede mantener la comunicación, la cantidad de información que puede almacenar el transponder, la velocidad de flujo de datos que podemos obtener entre lector y etiqueta, el tamaño físico de la etiqueta, la habilidad del lector para mantener la comunicación con varias etiquetas a la vez o la robustez que ofrece la comunicación a posibles interferencias de materiales entre lector y etiqueta. Se debe tener en cuenta también el nivel de emisión para no sobrepasar las regulaciones impuestas en cada país, si existe una batería suplementaria para realizar la comunicación entre etiqueta y lector o la frecuencia portadora RF usada en la comunicación entre lector y transponder.

Los sistemas RFID tienen la ventaja de su total funcionamiento sin visibilidad directa entre lector y etiqueta. En este aspecto es donde claramente supera al código de barras y a otros sistemas ópticos. Pero debido a su coste, que aunque ha ido reduciéndose progresivamente siempre será superior al del código de barras, no se ha implementado en aplicaciones sencillas donde el código de barras sigue dominando el mercado. Pero es en las aplicaciones donde el código de barras y la tecnología óptica es más limitada y no resultan efectivos, donde el crecimiento de la tecnología RFID es más notorio.

Los sistemas de RFID tienen multitud de aplicaciones. Pueden utilizarse como tarjetas identificadoras sin contacto, un uso de este tipo se puede ver por ejemplo en el sistema de pago utilizado en peajes llamado viaT, que permite que el vehículo no tenga que detenerse o en los accesos a edificios oficiales o a empresas privadas. Otra aplicación muy usada, son los inmovilizadores de vehículos, que consisten en un sistema interrogador situado en el vehículo a proteger y en un identificador en la llave. Se pueden usar para identificar envío de cartas o paquetes en agencias de transporte, identificadores de animales, identificadores de equipajes aéreos, gestión de supermercados, inventario automático, distribución automática, localización de documentos, gestión de bibliotecas, etc. Incluso se está hablando de usar la tecnología RFID para la identificación de personas con libertad vigilada, gente con deficiencias mentales o que se puedan considerar peligrosas para la sociedad. También se están realizando proyectos para incluir chips con el historial médico en personas y en billetes de curso legal para evitar posibles robos y localizar en todo momento el dinero.

Está claro que estas aplicaciones pueden aportar muchas ventajas. Por ejemplo, poder conocer el historial médico de una persona inconsciente al instante con un lector que lleve el equipo médico, puede reducir el tiempo de acción y salvarle la vida. No obstante no son pocas las personas e instituciones que se oponen a estas implementaciones en pro a una violación de la intimidad. El uso de un identificador RFID en los billetes de curso legal, provoca que alguien con un lector capaz de detectar estos transponders puede saber al instante el dinero que lleva encima una persona o en una casa.

Se intenta aplicar los sistemas en todos los procesos industriales, teniendo eso sí, un mayor peso en procesos logísticos, creándose así el concepto de trazabilidad. De esta forma podemos conocer como usuario, en el punto final de venta o en cualquier otro intermedio, toda la historia anterior del producto, así como todos los procesos de manufacturación por los que ha pasado.

Frecuencia de trabajo	Aplicaciones usuales
LF : 135 KHz	<ul style="list-style-type: none"> - Control de acceso - Identificación de animales - Control antirrobo en coches
HF : 13.56 Mhz	<ul style="list-style-type: none"> - Control de acceso - Bibliotecas y control de documentación - Pago en medios de transporte - Control de equipaje en aviones
UHF : 860-960 Mhz	<ul style="list-style-type: none"> - Cadenas de suministro - Trazabilidad de objetos de valor - Control anti falsificación - Automatización de las tareas de inventariado - Pago de peajes en autopistas
Microondas : 2.4 Ghz, 5.8 Ghz	<ul style="list-style-type: none"> - Pago de peajes en autopistas - Rastreo de vehículos

2. Elementos de un sistema RFID

Un sistema RFID se compone básicamente de dos elementos principales: un lector (reader) y una etiqueta, tag (transponder).

2.1 Transponder, tag o etiqueta

La palabra transponder deriva de TRANSMitter/resPONDER, lo cual explica su funcionamiento. Los componentes básicos de un transponder los podemos distinguir en:

- Un chip con memoria no volátil donde se almacenan datos, una memoria ROM donde se almacenan instrucciones básicas para el funcionamiento y también puede incorporar memoria RAM para almacenar datos durante la comunicación con el lector.
- La antena por la cual detecta el campo creado por el interrogador, y del que extrae energía para su comunicación con él.

2.2 Lectores

El otro elemento principal de un sistema RFID es el lector o interrogador.

Los lectores (readers) son los encargados de enviar una señal de RF para detectar las posibles etiquetas en un determinado rango de acción. En su fabricación se suelen separar en dos tipos:

- Sistemas con bobina simple, la misma bobina sirve para transmitir la energía y los datos. Son más simples y más baratos, pero tienen menos alcance.

- Sistemas interrogadores con dos bobinas, una para transmitir energía y otra para transmitir datos. Son más caros, pero consiguen mayores prestaciones.

El algoritmo usado por el lector, es ir llamando a los transponders por su número de identificación, indicándole de esta forma el tiempo en el que deben transmitir. Son mecanismos para impedir la colisión de información.

3. Clasificación de sistemas de RFID

A continuación se muestra una clasificación de los distintos sistemas RFID existentes:

- Según su capacidad de programación:
 - De sólo lectura: Las etiquetas se programan durante su fabricación y no pueden ser reprogramadas.
 - De una escritura y múltiples lecturas: Las etiquetas permiten una única reprogramación.
 - De lectura/escritura: Las etiquetas permiten múltiples reprogramaciones.
- Según el modo de alimentación:
 - Activos: si las etiquetas requieren de una batería para transmitir la información.
 - Pasivos: si las etiquetas no necesitan batería.
- Según el rango de frecuencia de trabajo:
 - Baja Frecuencia (LF): se refiere a rangos de frecuencia en el rango de 120kHz- 134kHz
 - Alta Frecuencia (HF): cuando la frecuencia de funcionamiento es de 13.56 MHz.
 - Ultra Alta Frecuencia (UHF): comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 433 MHz, 860 MHz, 928 MHz.
 - Frecuencia de Microondas : comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 2.45 GHz y 5.8 GHz.
- Según el protocolo de comunicación:
 - Dúplex: El transpondedor transmite su información en cuanto recibe la señal del lector y mientras dura ésta. A su vez pueden ser:
 - Half dúplex, cuando transpondedor y lector transmiten en turnos alternativos.
 - Full dúplex, cuando la comunicación es simultánea. En estos casos la transmisión del transpondedor se realiza a una frecuencia distinta que la del lector.
 - Secuencial: El campo del lector se apaga a intervalos regulares, momento que aprovecha el transpondedor para enviar su información. Se utiliza con etiquetas activas, ya que el tag no puede aprovechar toda la potencia que le envía el lector y requiere una batería adicional para transmitir, lo cual incrementaría el coste.
- Según el principio de propagación:
 - Inductivos: Utilizan el campo magnético creado por la antena del lector para alimentar el tag. Opera en el campo cercano y a frecuencias bajas (LF y HF)
 - Propagación de ondas electromagnéticas: utilizan la propagación de la onda electromagnética para alimentar la etiqueta. Opera en el campo lejano y a muy altas frecuencias (UHF y microondas).

4. Principios básicos de funcionamiento de un sistema RFID

Un sistema de comunicación RFID se basa en la comunicación bidireccional entre un lector (interrogador) y una etiqueta (transponder), por medio de ondas de radiofrecuencia.

El sistema de transmisión de información varía según la frecuencia en la que trabaja. Así se puede clasificar un sistema de RFID en sistemas basados en el acoplamiento electromagnético o inductivo, y basados en la propagación de ondas electromagnéticas. Podemos apreciar esta diferenciación en la Figura 2.

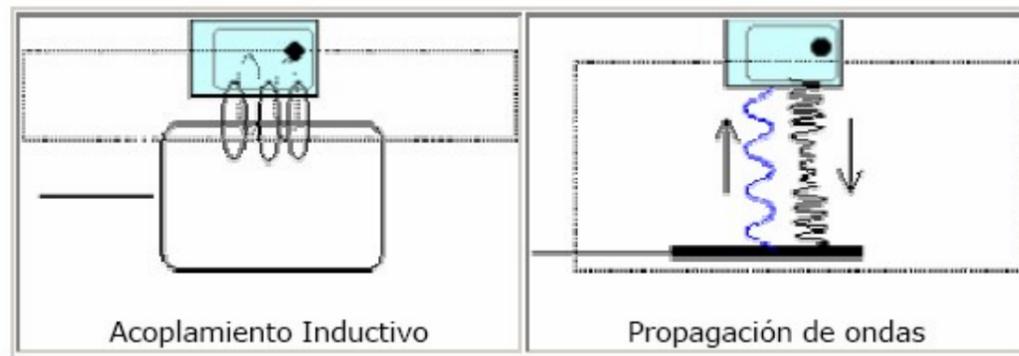


Figura 2. Métodos de propagación de la información en la tecnología RFID

Hay que tener en cuenta que la comunicación se puede realizar en zonas industriales con metales, lo que unido a las características de ruido, interferencia y distorsión de estas comunicaciones vía radio complica la correcta recepción de bits. Además de que esta comunicación es del tipo asíncrona, lo que repercute en una mayor atención en parámetros como la forma en que se comunican los datos, la organización de flujo de bits. Todo esto conlleva el estudio de la denominada codificación de canal, con el fin de mejorar la recepción de información.

Como en toda comunicación vía radio se necesita entre los dos componentes de la comunicación un campo sinusoidal variable u onda portadora. La comunicación se consigue aplicando una variación a ese campo, ya sea en amplitud, fase o frecuencia, en función de los datos a transmitir. Este proceso se conoce como modulación. En RFID suelen ser aplicadas las modulaciones ASK (Amplitude shift keying), FSK (Frequency shift keying) y PSK (Phase shift keying).

Los diferentes métodos de propagación de la información son usados en diferentes frecuencias. De este modo el acoplamiento inductivo funciona a frecuencias más bajas y el sistema de propagación de ondas a frecuencias más elevadas.

Existe también otro tipo de propagación usado en distancias menores a 1cm, que puede trabajar teóricamente en frecuencias bajas hasta 30MHz, son los sistemas "close coupling".

Estos sistemas usan a la vez campos eléctricos y magnéticos para la comunicación. La comunicación entre el lector y el transponder no ocasiona un gasto excesivo de energía, por lo que en estos sistemas se pueden usar microchips que tengan un consumo de energía elevado. Son sistemas usados generalmente en aplicaciones con un rango de alcance mínimo pero con estrictas medidas de seguridad. Se usa en aplicaciones como cerraduras de puertas electrónicas o sistemas de contactless smart card.

4.1 Acoplamiento inductivo

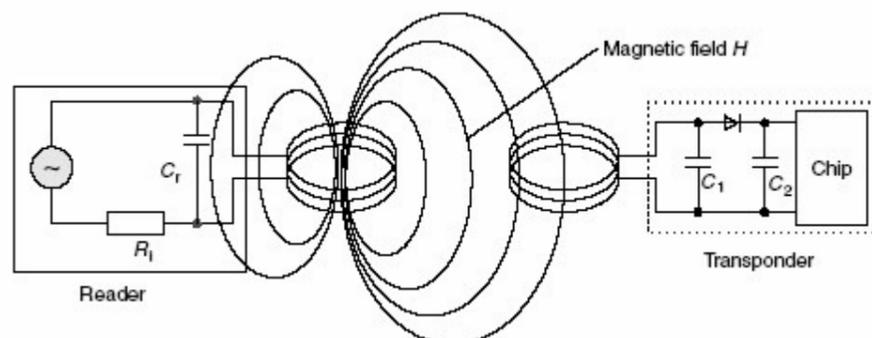


Figura 3. Esquema del acoplamiento inductivo entre lector y transponder.

El acoplamiento inductivo se basa en el mismo funcionamiento de los transformadores. En la Figura 3 podemos observar un esquema del acoplamiento inductivo. En estas frecuencias el campo creado por la antena del interrogador es la energía que aprovecha el transponder para su comunicación. Este campo está cerca de la antena del interrogador, lo que permite alcanzar unas distancias cercanas al diámetro de la antena. A distancias mayores la potencia necesaria es muy elevada. La bobina del lector genera un fuerte campo electromagnético, que penetra en la sección de la antena del transponder y en su zona cercana.

Una parte pequeña del campo emitido penetra en la bobina del transponder. Se genera una tensión en la antena (bobina) por inducción. Este voltaje es rectificado y sirve como alimentación para el microchip del transponder encargado de almacenar la información. Como podemos observar en la Figura 3, un condensador es conectado en paralelo con la antena del lector, el valor de este condensador es seleccionado según la inductancia de la antena que forma un circuito paralelo de resonancia con una frecuencia de resonancia que tiene que coincidir con la frecuencia de transmisión del lector. En la antena del lector se generan grandes corrientes debido a la resonancia del circuito paralelo, lo que permite crear campos intensos necesarios para la comunicación entre lector y transponder.

La antena (bobina) del transponder y el capacitor en paralelo forman el circuito resonante a la misma frecuencia que emite el lector. El voltaje generado en el transponder es máximo debido a la resonancia producida por el circuito del transponder.

La eficiencia de la energía transmitida entre las antenas del lector y del transponder es proporcional a la frecuencia de operación, la relación entre el número de espiras que tienen las bobinas (en los transformadores conocido por el factor n), el área encapsulada por la antena del transponder, el ángulo que forman las bobinas una en relación a la otra y la distancia entre las dos bobinas.

4.1.2. Transferencia de datos entre transponder y lector

En este apartado para trabajar con sistemas de acoplamiento inductivo se suelen usar tres tipos:

- Load modulation
- Load modulation con subportadora
- Subarmónicos

Load modulation

Se fundamenta en el funcionamiento de un transformador, siendo la bobina primaria la del lector y la secundaria la del transponder. Si un transponder en resonancia se encuentra dentro del campo magnético de un lector, coge energía de ese campo magnético.

El resultado del transponder en la antena del lector hace que el voltaje que existe en la antena del lector también varíe. Esto tiene un efecto en la modulación de amplitud del voltaje del lector por culpa del transponder remoto. El tiempo en el que se desconecta y se conecta la resistencia de carga es controlado por los datos, es lo que se usa para enviar los datos del transponder al lector.

Load modulation con subportadora

Debido al acoplamiento débil que se realiza entre lector y transponder, las fluctuaciones que se producen en la tensión en la antena del lector (la información) es varios órdenes de magnitud inferior a la tensión de salida del propio lector

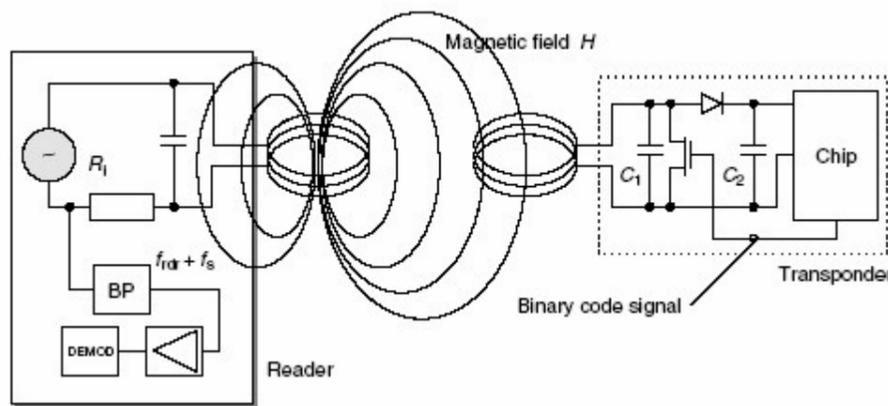


Figura 4. Generación de load modulation conectando y desconectando la resistencia del drain-source del FET del chip. El lector tiene un circuito capaz de detectar la subportadora.

Detectar esta fluctuación requiere una circuitería complicada, como solución se usan las bandas contiguas a la modulación creada. Para ello se incorpora una nueva resistencia de carga en el transponder que se conecta y desconecta a una frecuencia elevada f_s , entonces dos líneas espectrales son creadas a una distancia f_s de la frecuencia de resonancia entre lector y transponder. Uno de los métodos posibles es utilizar un transistor FET e el transponder, como vemos en la Figura 4.

En esas frecuencias conocidas como subportadoras, es más fácil detectar las variaciones de tensión. La información se puede modular en ASK, FSK o PSK con el flujo de datos. Esto significa una modulación de amplitud en la subportadora.

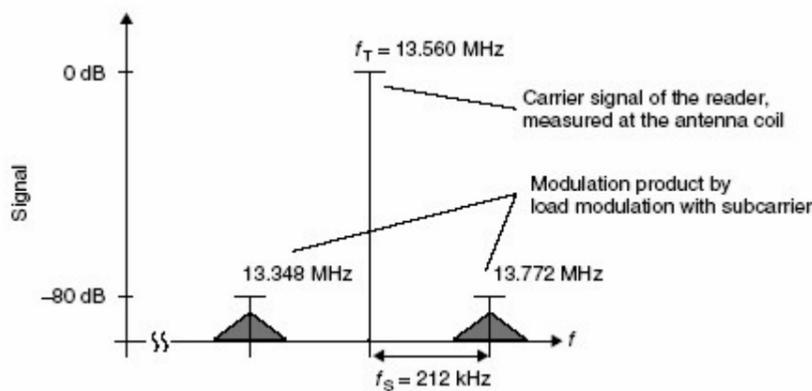


Figura 5. La load modulation crea dos subportadoras a una frecuencia f_s de la frecuencia de transmisión del lector. La información se encuentra en las bandas laterales de las dos subportadoras.

Subarmonicos

Para este tipo de modulación se utilizan Subarmonicos de una frecuencia, es decir de una portadora obtenemos su armónico de la siguiente manera $f = f_{tx}$, $f_1 = f_{tx}/2$, $f_2 = f_{tx}/3$, etc. Para esta modulación se utiliza el primer subarmónico, es decir la mitad de la frecuencia del lector. La señal después del divisor es modulada por el flujo de datos y enviada para el transponder, siendo esta última la frecuencia del transponder.

4.2. Acoplamiento backscatter (propagación de ondas electromagnéticas)

Otro sistema de transferencia de información son los sistemas “long-range”, que como su propio nombre indica son de largo alcance, mayores a 1 m. Estos sistemas se basan en el uso de ondas electromagnéticas en el rango de UHF o microondas. La mayoría de estos sistemas son conocidos como sistemas “backscatters” debido a su principio de operación. Existen otros sistemas de largo alcance que utilizan ondas acústicas de superficie en el rango de microondas.

Todos estos sistemas “long-range” operan en los rangos de UHF, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (USA) y en rango de microondas en 2,5 GHz y 5,8 GHz. La principal ventaja de trabajar a estas frecuencias es tener una longitud de onda corta, lo que permite la construcción de antenas de un tamaño muy pequeño y de gran eficiencia. Los sistemas que usan el principio backscatter tienen unos alcances típicos de 3 m en transponders pasivos (sin baterías) y de unos 15 m en transponders activos. La batería de los transponders activos no proporcionan la energía necesaria para la comunicación entre lector y transponder, únicamente alimentan el microchip en su proceso de almacenamiento y consulta de memoria. La energía para la transmisión entre el transponder y el lector, por tanto, es únicamente la extraída del campo electromagnético generado por el interrogador al realizar la comunicación con el transponder.

La principal diferencia con los sistemas inductivos es de donde proviene la energía que aprovecha el transponder para realizar la comunicación; mientras que los sistemas a una frecuencia más elevada utilizan las ondas electromagnéticas, consiguiendo así un rango de alcance mayor, los sistemas inductivos utilizan la energía que una antena crea a su alrededor.

4.3. Close coupling

Los sistemas close coupling están diseñados para rangos de alcance entre 0.1 cm y un máximo de 1 cm. El transponder cuando se realiza la comunicación suele estar en el centro de un aro que es la bobina del lector, o bien, en el centro de una bobina en forma de “u”. El funcionamiento de las bobinas del transponder y del lector es el mismo que el de un transformador. El lector representa las espiras primarias y el transponder las secundarias del transformador. Podemos verlo en la Figura 6.

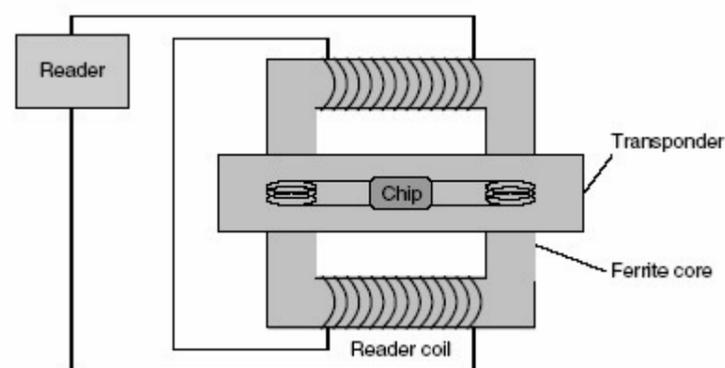


Figura 6. En los sistemas Close Coupling el transponder debe insertarse en el reader para producirse el acoplamiento magnético entre bobinas.

Una corriente alterna de alta frecuencia en las espiras primarias genera un campo magnético de alta frecuencia que se transmite por la bobina del transponder. Esta energía es rectificada y proporciona la alimentación al chip del transponder. Debido a que la tensión inducida es proporcional a la frecuencia de la corriente entrante, la frecuencia seleccionada debe ser lo más elevada posible.

A diferencia con los sistemas de acoplamiento inductivo y microwave, la eficiencia de la energía transmitida del lector al transponder es excelente, por eso suelen ser usados en sistemas que necesitan del uso de chips potentes, que consuman mucha energía, como por ejemplo microprocesadores.

5. Rangos de frecuencia

El hecho de que los sistemas de RFID generen y radien ondas electromagnéticas implica que éstos sean clasificados como sistemas de radio.

El funcionamiento de otros sistemas de radio no debe verse interrumpido o perjudicado, bajo ninguna circunstancia, por las ondas emitidas por un sistema de identificación por radiofrecuencia.

Es particularmente importante asegurarse de que los sistemas RFID no interfieren con la televisión y la radio, los servicios de radio móviles (policía, seguridad, industria), las comunicaciones marinas y aeronáuticas y los teléfonos móviles.

La necesidad de acomodar otros servicios de radio disminuye significativamente la variedad de frecuencias disponibles en las que podemos trabajar a la hora de implementar un sistema de RFID. Por este motivo, normalmente sólo es posible usar rangos de frecuencia que han sido reservados específicamente para aplicaciones industriales, científicas o médicas. Estas son las frecuencias clasificadas mundialmente como rangos ISM (Industrial-Scientific-Medical) o SRD y pueden también ser usadas para aplicaciones de identificación por radiofrecuencia.

En la siguiente tabla 1 vemos algunos rangos de frecuencia usados en sistemas de RFID y sus principales características:

Rangos de frecuencia para sistemas de RFID		
Rango de frecuencia	Observaciones	Intensidad de campo / Potencia de TX.
< 135 kHz	Baja potencia. Acoplamiento inductivo.	72 dB μ A/m
6.765 ... 6.795 MHz	Media frecuencia (ISM), acoplamiento inductivo.	42 dB μ A/m
7.400 ... 8.800 MHz	Media frecuencia, usado sólo para EAS (electronic article surveillance).	9 dB μ A/m
13.553 ... 13.567 MHz	Media frecuencia (13.56 MHz, ISM), acoplamiento inductivo, ISO 14443, MIFARE, LEGIC..., smart labels (ISO 15693, Tag-It, ICode,...) y control de artículos (ISO 18000-3).	42 dB μ A/m
26.957 ... 27.283 MHz	Media frecuencia (ISM), acoplamiento inductivo, sólo aplicaciones especiales.	42 dB μ A/m
433 MHz	UHF (ISM), acoplamiento por backscatter, raramente usado para RFID.	10 ... 100 mW
868 ... 870 MHz	UHF (SRD), acoplamiento por backscatter, nueva frecuencia, sistemas bajo desarrollo.	500 mW, sólo Europa
902 ... 928 MHz	UHF (SRD), acoplamiento por backscatter, varios sistemas.	4 W – espectro ensanchado, sólo USA/Canadá.
2.400 ... 2.483 GHz	SHF (ISM), acoplamiento por backscatter, varios sistemas, (identificación de vehículos: 2.446 .. 2.454 GHz)	4 W – espectro ensanchado, sólo USA/Canadá, 500 mW. Europe
5.725 ... 5.875 GHz	SHF (ISM), acoplamiento por backscatter, raramente usado para RFID.	4 W USA/Canadá, 500 mW Europa

Tabla 1 Rangos de frecuencia para RFID

6. Sistemas RFID a 13.56MHz.

6.1. Principio de Operación

Hoy en día, la mayoría de los sistemas RFID que funcionan a 13.56MHz son pasivos, lo cual implica la no necesidad del uso de baterías. Esto tiene ventajas en cuanto al coste, tiempo de vida de las etiquetas y entorno en que se pueden emplear estos sistemas. El principio básico de operación es la transmisión de energía y datos usando acoplamiento inductivo. Este es el mismo principio que usan los transformadores.

A diferencia de otros sistemas de RFID que trabajan a frecuencias más altas (por ejemplo dentro de la banda UHF o microondas), los sistemas a 13.56MHz (e incluso los que trabajan a <135KHz) tienen la zona de operación en el campo creado junto a la antena del lector, lo que permite alcanzar unas distancias del orden del diámetro de la antena. Hay que tener en cuenta que esto es así siempre que estemos trabajando con sistemas con una sola antena.

Para distancias mayores al equivalente al diámetro de la antena, la intensidad del campo decrece con la tercera potencia de la distancia, lo cual significa que la potencia de transmisión requerida se incrementa con la sexta potencia de la distancia.

La Figura 7 muestra la dependencia de la intensidad del campo, normalizada, en función de la distancia para antena con un diámetro de 0.8m.

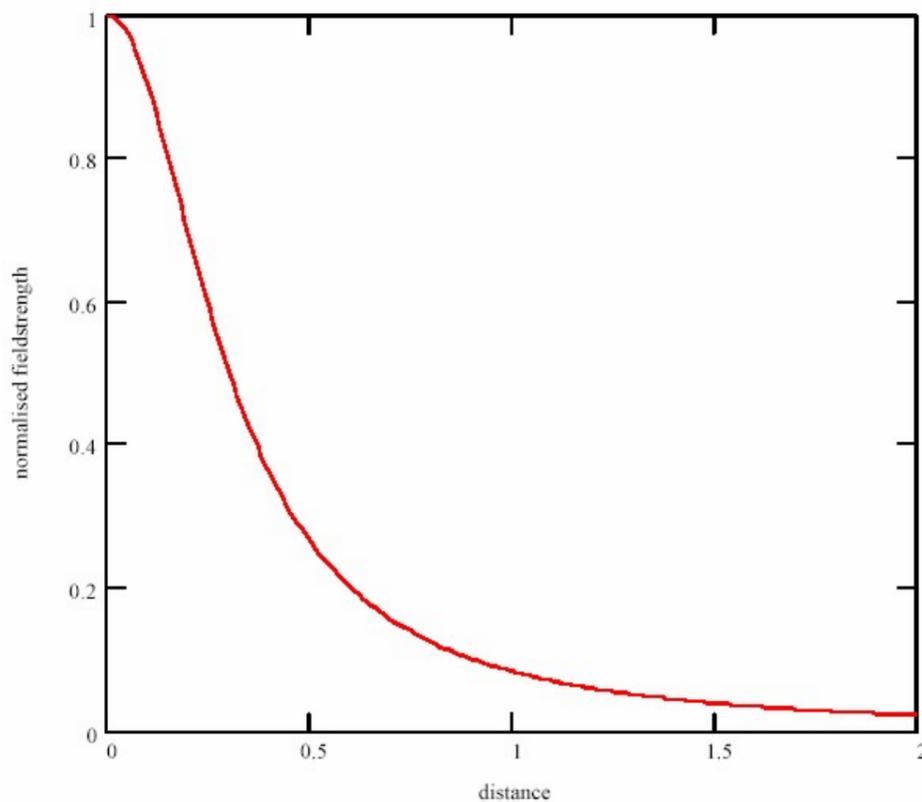


Figura 7. Comportamiento de la intensidad de campo en función de la distancia.

A diferencia que en los sistemas de RFID que usan frecuencias dentro del rango de UHF o microondas, la radiación emitida a 13.56MHz no es absorbida por el agua ni la piel humana, lo que permite que las ondas se propaguen con mayor facilidad puesto que la influencia del agua o las personas en su comportamiento es insignificante.

Debido a los efectos de blindaje o reflexión, los sistemas de RFID son sensibles a los metales dentro del campo de operación. Esto afecta a todos los sistemas de identificación por radiofrecuencia, aunque los motivos físicos son diferentes para cada caso concreto.

El hecho de que el campo magnético sea un campo vectorial implica que la orientación del tag tiene influencia dentro del mismo. Esta influencia de la orientación puede resolverse mediante el uso de antenas de transmisión más complejas (por ejemplo, mediante el uso de campos rotantes). Así es posible trabajar con las etiquetas independientemente de su orientación dentro de la zona de operación.

Debido también a que los sistemas RFID inductivos operan a distancias cortas, la influencia de sistemas adyacentes o ruidos externos es mucho menos que en sistemas que trabajan en la zona UHF o microondas (debido a que la potencia decrece con el cuadrado de la distancia, cuando a 13.56MHz decrece con la sexta potencia de la distancia).

6.2. Formas

Hay tres tipos principales de tags a 13.56MHz:

- Tarjetas ISO:
 - o ISO 14443: son "Tarjetas de identificación- Proximity integrated circuit cards".
 - o ISO15693: son "Tarjetas de identificación- contactless integrated circuit cards", usadas principalmente en los sistemas de control de acceso.
- Tags rígidos industriales para logística
- Etiquetas inteligentes, delgadas y flexibles.

7. Códigos y modulaciones

Cuando el transmisor procesa la señal, lo envía por el canal y se comunica con el receptor, el cual recibe la señal y la procesa. En la modulación se deriva de 3 tipos de modulado:

- AM: modulación de amplitud.
- FM: modulación de frecuencia.
- PM: modulación de fase.

En el diagrama de bloques de la Figura 8 vemos descrito un sistema de comunicación digital. Similarmente, la transferencia de datos entre el lector y la etiqueta en un sistema RFID requiere 3 bloques básicos de funcionamiento.

Desde el lector hacia el tag (dirección de la transferencia de datos) son:

- En el lector (Transmitter): codificación de señal (signal processing) y el modulador (carrier circuit).
- El medio de transmisión (channel).

- En la etiqueta (Receiver): el demodulador (carrier circuit) y el decodificador de canal (signal processing).

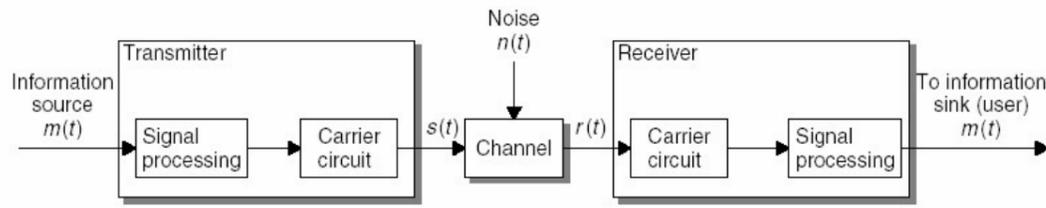


Figura 8. Bloques de funcionamiento de un sistema RFID.

Un sistema codificador de señal toma el mensaje a transmitir y su representación en forma de señal y la adecua óptimamente a las características del canal de transmisión.

Este proceso implica proveer al mensaje con un grado de protección contra interferencias o colisiones y contra modificaciones intencionadas de ciertas características de la señal.

7.1. Codificación en Banda Base.

Los signos binarios “1” y “0” pueden ser representados por varios códigos lineales. Los sistemas de RFID suelen usar una de las siguientes codificaciones: NRZ, Manchester, Unipolar RZ, DBP (“diferencial bi-phase”), Miller o Codificación PulsoPausa (PPC). Ver figura 9.

Código NRZ (No Return to Zero):

Un ‘1’ binario es representado por una señal ‘alta’ y un ‘0’ binario es representado por una señal ‘baja’. La codificación NRZ se usa, al menos, exclusivamente con una modulación FSK o PSK.

Código Manchester:

Un ‘1’ binario es representado por una transición negativa en la mitad del periodo de bit y un ‘0’ binario es representado por una transición positiva. El código Manchester es, por lo tanto, también conocido como codificación de ‘parte-fase’ (splitphase coding). El código Manchester es frecuentemente usado para la transmisión de datos desde el transponder al lector basados en una modulación con sub-portadora.

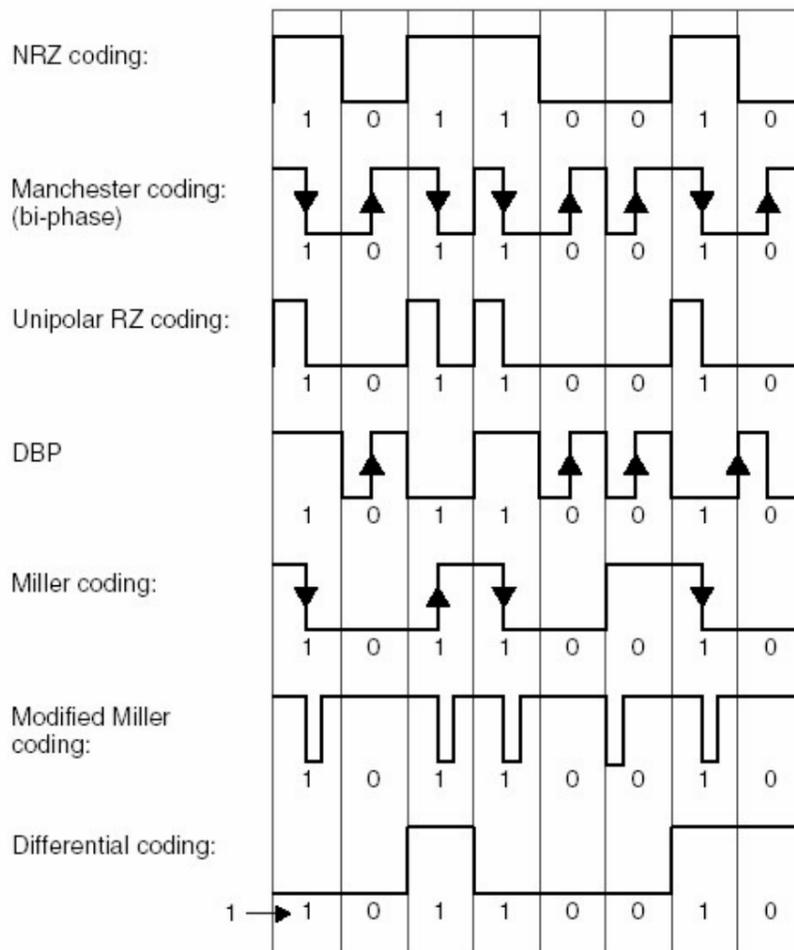


Figura 9. Representación gráfica de las principales codificaciones.

Código Unipolar RZ:

Un ‘1’ binario es representado por una señal ‘alta’ durante la primera mitad del periodo de bit, mientras que un ‘0’ binario es representado por una señal ‘baja’ que dura todo el periodo de bit.

Código DBP:

Un '0' binario es codificado por una transición, de cualquier tipo, en mitad del periodo de bit. Un '1' es codificado con una ausencia de transición. Además, el nivel de señal es invertido a inicio de cada periodo de bit, de modo que el pulso pueda ser más sencillamente reconstruido en el receptor si es necesario.

Código Miller:

Un '1' es representado por una transición de cualquier tipo en la mitad del periodo de bit, mientras que el '0' binario es representado con la continuidad del nivel de la señal hasta el próximo periodo de bit. Una secuencia de ceros crea una transición al principio de cada periodo de bit, de modo que el pulso pueda ser más sencillamente reconstruido en el receptor si es necesario.

Código Miller Modificado:

En esta variante del código Miller, cada transición es reemplazada por un pulso 'negativo'. El código Miller Modificado es altamente recomendable para transmitir del lector al tag en sistemas RFID que usan acoplamiento inductivo.

Debido a la tan corta duración del pulso ($t_{\text{pulso}} \ll T_{\text{bit}}$) es posible asegurar una continua alimentación del transponder debido al campo magnético del lector mientras dura la transferencia de información.

Codificación Diferencial:

En la codificación Diferencial cada '1' binario que se tiene que transmitir causa un cambio en el nivel de la señal, así como para un '0' el nivel permanece invariante.

Codificación Pulso-Pausa:

En la codificación Pulso-Pausa (PPC – Pulse Pause Coding) un '1' binario es representado por una pausa de duración t antes del próximo pulso; un '0' binario es representado por una pausa de duración $2t$ antes del próximo pulso. Este método de codificación es popular para la transmisión de datos del lector a la etiqueta en los sistemas de RFID que usan acoplamiento inductivo.

Debido a la tan corta duración del pulso ($t_{\text{pulso}} \ll T_{\text{bit}}$) es posible asegurar una continua alimentación del transponder debido al campo magnético del lector mientras dura la transferencia de información.

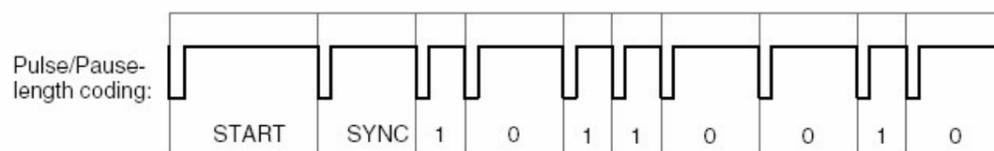


Figura 10. Posible transmisión de una señal usando PPC.

Debe tenerse en cuenta varias importantes consideraciones cuando se selecciona un posible sistema de codificación para un sistema RFID.

La consideración más importante es el espectro de la señal después de la modulación y lo susceptible que pueda ser a los posibles errores. Además, en el caso de tags pasivos (la alimentación de las etiquetas viene dada por el campo magnético que genera el lector), la fuente de alimentación (es decir, la señal que emite el lector) no debe ser interrumpida por una combinación inapropiada los métodos de codificación de señal y modulación.

7.2. Modulaciones Digitales usadas.

La tecnología clásica de radiofrecuencia está fuertemente implicada con los métodos analógicos de modulación. Podemos diferenciar entre modulación de amplitud (AM), modulación de frecuencia (FM) y modulación de fase (PM), siendo éstas las tres principales variables de una onda electromagnética. Todos los demás métodos de modulación son derivados de cualquiera de uno de estos tres tipos.

Las modulaciones usadas en RFID son ASK (amplitude shift keying), FSK (frequency shift keying) y PSK (phase shift keying).

ASK (Amplitude shift keying)

En Amplitude shift keying la amplitud de la oscilación de una portadora es variada entre dos estados por un código de señal binario. Es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora en función de los datos a enviar.

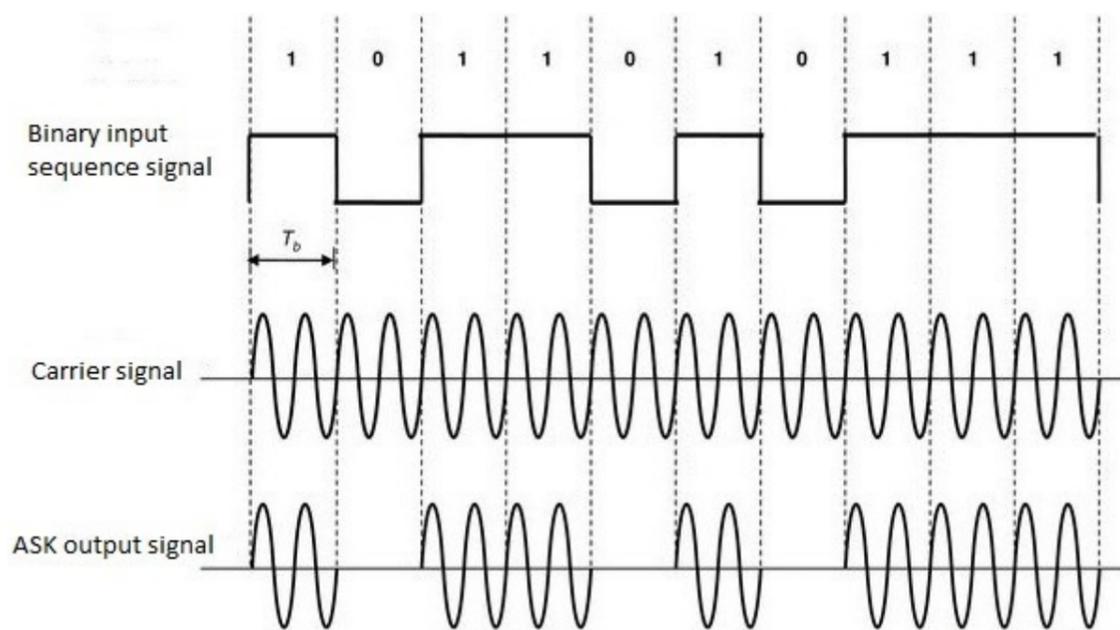


Figura 11. Diagrama del proceso de modulación por ASK

2 FSK (Frequency shift keying)

En la modulación llamada '2 frequency shift keying' la frecuencia de la señal portadora se varía entre dos frecuencias f_1 y f_2 .

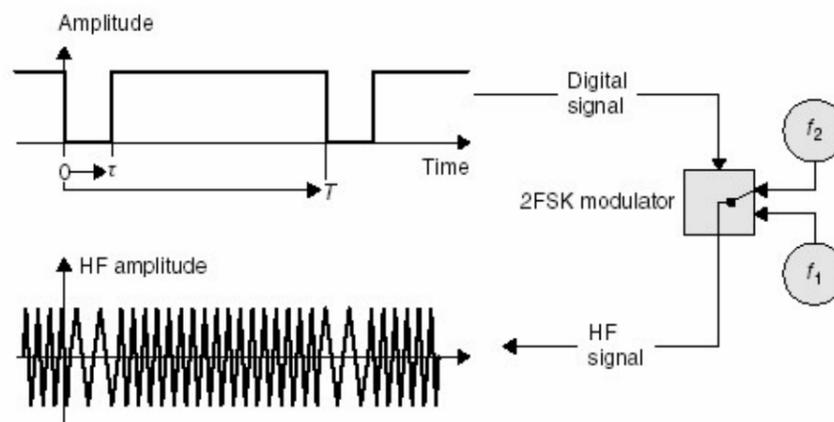


Figura 12. Generación de una 2FSK variando entre dos frecuencias f_1 y f_2 en tiempo, con una señal binaria.

La frecuencia portadora es la media aritmética de las dos frecuencias características f_1 y f_2 . La diferencia entre la frecuencia de la portadora y las frecuencias características es conocida como la desviación de frecuencia Δf_{CR} :

2 PSK (Phase shift keying)

En la modulación PSK los estados binarios '0' y '1' de una señal código se convierten en los respectivos "estados de fase" de la portadora, en relación a una fase de referencia. En el caso que nos ocupa, la 2 PSK, la fase de la señal varía entre los estados de fase de 0° y 180° .

8. Modulaciones que usan subportadora

En los sistemas de RFID, las modulaciones que usan subportadora son básicamente usadas cuando se trabaja con acoplamiento inductivo, normalmente en las frecuencias 6.78MHz, 13.56MHz o 27.125MHz en transferencias de información desde la etiqueta al lector. Para modular la subportadora se puede elegir entre ASK, FSK o PSK.

Una vez tenemos esta primera señal modulada (subportadora modulada), entonces se procede a una segunda modulación de la subportadora con la señal portadora (la que nos dará la frecuencia final a la que transmitiremos nuestra señal).

El resultado de este proceso es una señal modulada con subportadora que transporta la información a una frecuencia 'menor', aunque la señal que lleva a la señal que contiene la información si que va a una frecuencia mayor.

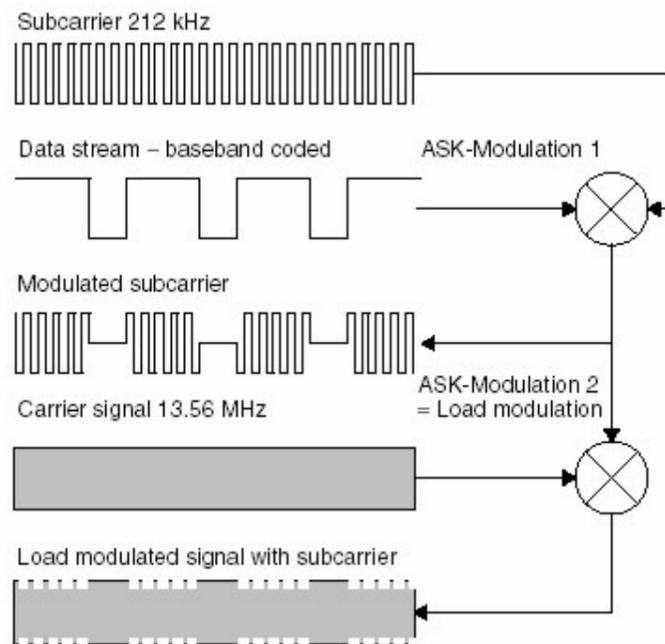


Figura 13. Proceso detallado de una modulación múltiple, con una subportadora modulada en ASK.

La auténtica ventaja de usar una modulación con subportadora sólo se aclara cuando consideramos el espectro de la señal generada. Esta modulación inicialmente genera dos líneas espectrales a una distancia de \pm la frecuencia de la subportadora alrededor de la frecuencia central. La información se transmite, así, en las bandas laterales de las dos líneas subportadoras, dependiendo de la modulación de la subportadora generada a partir del código en banda base. Si la modulación usada es en banda base, las bandas laterales caerán justamente al lado de la señal portadora en la frecuencia central.

En las etiquetas que usan acoplamiento y que tienen unas pérdidas muy elevadas, la diferencia entre la señal portadora del lector f_T y las bandas laterales recibidas de la modulación varían en un rango de entre 80 y 90 dB.

Una de los dos productos de la modulación con subportadora puede ser filtrado y remodulado usando la frecuencia de la modulación de las bandas laterales del flujo de datos. Aquí es irrelevante si se usa la banda 'alta' $f_T + f_s$ o si se usa la banda 'baja' $f_T - f_s$ ya que la información está contenida en ambas (ver figura 5)