

# Pruebas simples, flexibles y precisas para etiquetas pasivas UHF de RFID

Por Pasquale Dottorato



www.agilent.com

Pasquale Dottorato  
(Director de I+D)  
pasqualed@lab-id.com

En el siglo XXI, la identificación por radiofrecuencias (RFID) despertó de su etapa de hibernación y comenzó a tener un enorme impacto en muchas áreas de nuestras vidas. La capacidad de la RFID para recibir, modificar y transmitir información y almacenar grandes cantidades de datos sobre cualquier objeto con un transpondedor integrado ofrece una dimensión totalmente nueva para diversas aplicaciones, entre ellas, sistemas de seguridad, vehículos, control de acceso de personal, seguimiento de activos, control de producción e incluso deportes.

Recientemente, la atención se ha centrado sobre las etiquetas pasivas UHF (13,56 MHz), más establecida. El rango de 860 a 960 MHz de la UHF ha atraído la mayor parte de las inversiones de I+D. Ello se debe probablemente a que Wal-Mart ha ordenado a sus proveedores utilizar la banda UHF de RFID para el seguimiento de la cadena de suministros tanto a nivel de cajas como de plataformas de carga. RFID es una tecnología que ofrece muchos más beneficios que otras tecnologías de identificación como el código de barras o la banda magnética.

## Breve historia de la RFID

RFID no es más que un término más reciente para referirse a la familia de tecnologías de detección que han existido durante por lo menos los últimos 50 años. Utilizada por primera vez durante la Segunda Guerra Mundial para identificar y autenticar los aviones de los aliados, esta tecnología deriva de lo que se conoce con el nombre de identificación amigo/enemigo (IFF). La RFID aún se utiliza en la actualidad con los mismos fines [1,2].

En las décadas de los años 60 y 70, diversos laboratorios del gobierno desarrollaron la tecnología de identificación, en un esfuerzo por realizar un seguimiento del personal y de los equipos militares de forma segura. A

fin de la década de los 70, se fundaron dos empresas del Laboratorio Nacional de Los Álamos con el fin de comercializar dicha tecnología [3].

## Clasificación de los sistemas de RFID

Las etiquetas se pueden clasificar en tres categorías principales según las distintas maneras en las que generan la señal de identificación (a través de la propia etiqueta o mediante la modificación de la señal recibida del lector), el protocolo de transmisión (independiente o activado a través del lector) y las distancias típicas que cubre el enlace. La tabla 1 resume dicha clasificación [3].

TIPO DE ETIQUETA	ALIMENTACION	ENLACE	DISTANCIAS DE COMUNICACION
Activa	En la etiqueta (lector independiente)	Sin entrada a través del lector	Kilómetros
Semi-pasiva	En la etiqueta (lector independiente)	Con entrada a través del lector únicamente	Aproximadamente 10 metros
Pasiva	Señal RF producida por el lector	Con entrada a través del lector únicamente	Menos de 10 metros

## Bandas de frecuencia de RFID

Los sistemas de RFID utilizan frecuencias que varían en un factor de 20.000 o mayor, desde alrededor de 100 kHz a más de 5 GHz (Figura 1). Las bandas de frecuencia que se encuentran más habitualmente son las de 125/134 kHz, 13,56 MHz, 860–960 MHz y 2,4–2,45 GHz. Los sistemas de 125/134 kHz operan dentro de la banda de baja frecuencia (LF) y normalmente se los denomina etiquetas y lectores LF. Los lectores de 13,56 MHz operan en una banda de alta frecuencia y por lo tanto se los caracteriza de forma similar como sistemas de HF.

Tabla 1. Tipos de transpondedores y sus características básicas

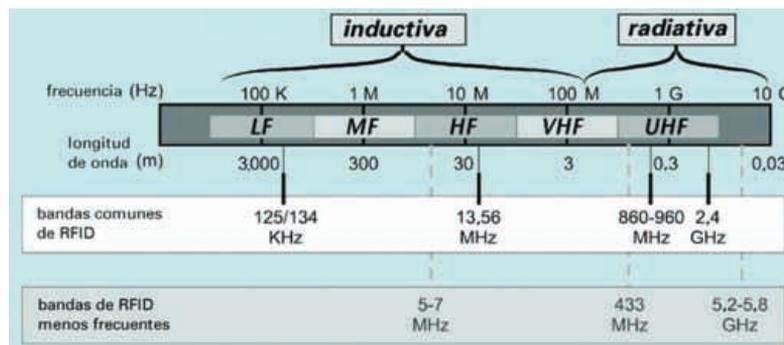


Figura 1. Banda de RFID en el mundo.

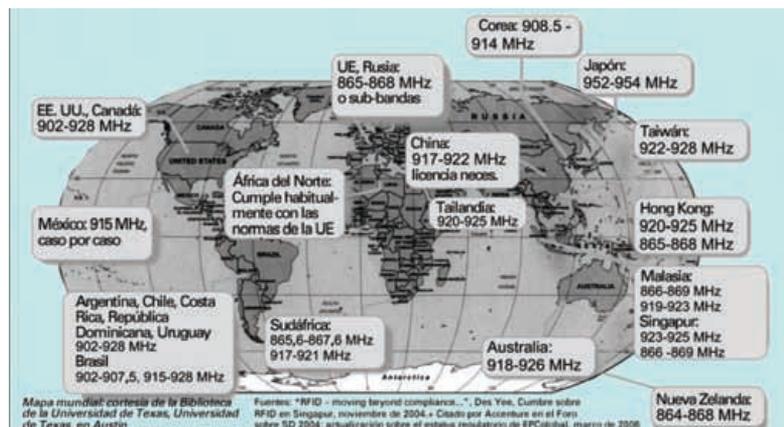


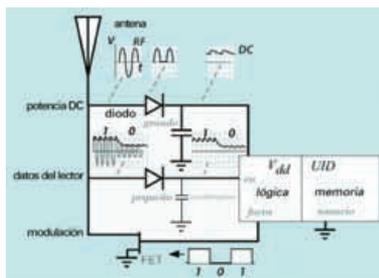
Figura 2 Entorno regulatorio global en la franja de 860 a 960 MHz

Tanto los lectores y las etiquetas que operan en la franja de 900 MHz como los de 2,4 GHz se encuentran dentro de la banda de frecuencia ultraalta (UHF), que llega formalmente hasta 3 GHz, pero para distinguir entre estos dos valores, los lectores y las etiquetas de 900 MHz se denominan normalmente dispositivos UHF, mientras que los sistemas de 2,4 GHz se conocen con el nombre de lectores de microondas (Fig. 1).

El entorno regulatorio global en la franja de 860 a 960 MHz [3, 6, 7] es muy complejo, puesto que la RFID a estas frecuencias compite directamente con la telefonía móvil y otras aplicaciones importantes y populares (Figura 2). Los distintos países han tomado diversas decisiones con respecto a qué aplicaciones pueden operar en cada lugar. El propósito de la estandarización es definir la plataforma más eficiente en la que una industria puede operar y progresar. Existen diversas organizaciones dedicadas a la redacción de normas que regulan la tecnología RFID.

Entre ellas destacan ISO y EPC Global, que han presentado muchas iniciativas relacionadas con las normas sobre la RFID. Las tablas 2 y 3 [2,6] indican el estado de estandarización en la industria de RFID centrándose en las normas ISO y EPC:

### Funcionamiento de las etiquetas pasivas



En la figura 3 se puede observar una etiqueta pasiva con más detalle. Una estructura de antena interactúa con campos electromagnéticos incidentes, lo que genera una tensión de alta frecuencia (RF). La tensión es rectificadora mediante un diodo (un dispositivo que hace que la corriente fluya en una sola dirección) y la señal resultante se suaviza a través de un condensador de almacenaje para crear una tensión más o menos constante que luego se utiliza

Norma ISO	Título	Estado
ISO 11784	RFID de animales – Estructura del código	Norma publicada en 1996
ISO 11785	RFID de animales – Documentación técnica	Norma publicada en 1996
ISO/IEC 14443	Tarjetas de identificación – Tarjetas de proximidad	Norma publicada en 2000
ISO/IEC 15693	Tarjetas de identificación – Tarjetas de vecindad	Norma publicada en 2000
ISO/IEC 18001	Tecnología de la información – Técnicas de identificación automática y captura de datos (AIDC) – RFID para gestión de artículos	Norma publicada en 2004
ISO/IEC 18000-1	Parámetro genérico para las comunicaciones de interfaz aérea para frecuencias globales	Norma publicada en 2004
ISO/IEC 18000-2	Parámetro para las comunicaciones de interfaz aérea por debajo de 135 KHz	Norma publicada en 2004
ISO/IEC 18000-3	Parámetro para las comunicaciones de interfaz aérea a 13,56 MHz	Norma publicada en 2004
ISO/IEC 18000-4	Parámetro para las comunicaciones de interfaz aérea a 2,4 GHz	Versión final de la norma
ISO/IEC 18000-6	Parámetro para las comunicaciones de interfaz aérea a 860-930 MHz	Norma publicada en 2004
ISO/IEC 15961	RFID para gestión de artículos – Protocolo de datos: interfaz de aplicación	Norma publicada en 2004
ISO/IEC 15962	RFID para gestión de artículos – Reglas de codificación del protocolo y funciones de memoria lógica	Norma publicada en 2004
ISO/IEC 15963	RFID para gestión de artículos – Identificación única de etiquetas RF	Versión final de la norma

Tabla 2. Normas ISO comunes para RFID pasiva

Normas EPC sobre datos de etiquetas	Planes de codificación específica para una versión serializada del Número Mundial de Artículo Comercial (GTIN) EAN.UCC, el Código Seriado de Unidad de Envío (SSCC) EAN.UCC, el Código Seriado de Localización Mundial (GLN) EAN.UCC, el Identificador Mundial de Bienes Retornables (GRAI) EAN.UCC, el Identificador Mundial de Bienes Individuales (GIAI) EAN.UCC y un Identificador General (GID)
Especificaciones UHF Clase 0	Protocolo e interfaz de comunicaciones para 900 MHz
Especificaciones UHF Clase 1	Protocolo e interfaz de comunicaciones para 860-930 MHz
Especificación UHF Clase 1, Gen. 2	Protocolo e interfaz de comunicaciones para 860-930 MHz, elaborados sobre la base de la Clase 1
Especificaciones HF Clase 1	Protocolo e interfaz de comunicaciones para 13,56 MHz
Protocolo del lector	Protocolo y sistema de mensajería de comunicaciones entre las aplicaciones de software que cumplen con las normas EPC sobre lectores de etiquetas
Especificación de Savant	Especificaciones para el rendimiento del servicio Savant para una solicitud de aplicación dentro de la red mundial de EPC
Especificación del Servicio de Nomenclatura de Objeto (ONS)	Especificaciones sobre la utilización del ONS para recuperar información relacionada con un EPC
Especificación básica del Lenguaje de Marcado Físico	Especificaciones para elaborar un listado de vocabulario común para utilizarlo dentro de la red mundial de EPC, con el fin de proporcionar un formato estandarizado capturado por los lectores

Tabla 3. Especificaciones de EPC Global.

para suministrar energía al circuito lógico y al acceso de memoria de la etiqueta. El circuito de memoria de la etiqueta pasiva es siempre no volátil, puesto que la alimentación de la etiqueta está normalmente apagada. Para demodular la información desde el lector, se utiliza un circuito de rectificación similar, con un valor de capacitancia más pequeño para permitir que la tensión varíe en la escala de tiempo de los datos del lector.

Esta técnica se conoce como detección de envoltorio. Por último, para transmitir información nuevamente hacia el lector, la etiqueta modifica las características eléctricas de la estructura de la antena para modificar la señal que se refleja desde ella, algo parecido a inclinar un espejo. Aquí hemos mostrado un transistor de efecto de campo (FET) utilizado como conmutador. Cuando se enciende el FET, la antena se conecta a tierra y permite que fluya una gran cantidad de corriente, y cuando se apaga, la antena flota y permite una corriente de antena muy pequeña. Las etiquetas reales son un poco más complejas pero utilizan un mecanismo muy similar para la

modulación. Para todas las bandas de frecuencia se utiliza el mismo esquema conceptual, si bien los detalles de aplicación difieren según se trate de etiquetas LF, HF o UHF. La enorme ventaja de la etiqueta pasiva reside en su sencillez y en el bajo coste que ello implica. Las etiquetas pasivas no poseen baterías, referencia de frecuencia de cristal de cuarzo, sintetizador para crear una señal de alta frecuencia, amplificador de potencia para amplificar la señal del sintetizador ni amplificador de bajo ruido para capturar la señal del lector [8,9]. Estas funciones son relativamente costosas en comparación con el circuito lógico y en algunos casos (por ej. un cristal) necesitarían que se coloque un componente separado en la etiqueta. La eliminación de dichas funciones reduce notablemente el coste de fabricación de la etiqueta. Asimismo, puesto que no poseen baterías, las etiquetas pasivas no necesitan mantenimiento y su vida útil depende únicamente de la duración de los materiales de los cuales están hechas.

El proceso de diseño de una etiqueta pasiva consta de dos etapas [4,5]:

Figura 3. Estructura interna del chip de RFID.

**Pruebas de I+D**

- Pruebas y medidas de impedancia, ganancia, etc., de la antena; estas pruebas se utilizan para comparar los resultados obtenidos con los modelos y los datos de simulación con el fin de realizar modificaciones en el diseño de la antena, de ser necesario.
- Medida del rango de lectura; conocerlo ayuda a comprender las características de la etiqueta respecto a la profundidad de penetración en el campo.
- Prueba de potencia de encendido; la medición de la potencia de encendido de la etiqueta proporciona valiosa información sobre el diseño de la antena, su comportamiento si se la coloca en un espacio limitado con una alta densidad de etiquetas, su frecuencia de resonancia real, etc.
- Pruebas y medidas del parámetro de enlace; control de los parámetros característicos de la señal de RFID que interroga a la etiqueta, generada por un generador de señales MXG.

**Prueba de producción [2, 4, 5]:**

- Pruebas de aceptación/fallo con lector/antena, modificando la posición de la antena y la potencia de salida del lector;
- Pruebas estadísticas más precisas de todos los parámetros funcionales con NA/fuente.

Si desea alcanzar un alto nivel de producción, es necesario configurar el módulo de prueba de forma correcta. Existen varias diferencias en la configuración de la prueba según se trate de tecnología UHF o HF, puesto que existen problemas específicos de cada tecnología.

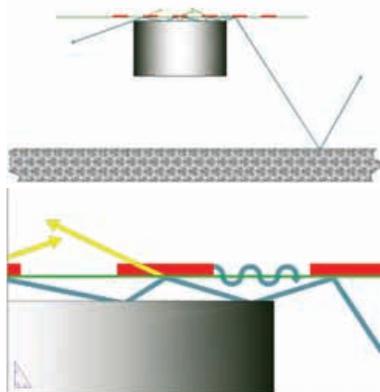


Fig. 4(a) Representación gráfica de reflexiones múltiples dentro del módulo de prueba  
Fig. 4(b) Representación gráfica de reflexiones múltiples y ondas de la superficie en el nivel PET.

El área de trabajo podría ser una fuente de ruido. En las imágenes que se muestran en la figura 4a y 4b se pueden observar dichos fenómenos.

Tabla 4. Configuración de la medición.

Si el ruido no se controla, se pueden producir lecturas múltiples o errores de lectura.

Estos problemas provocarán errores estadísticos en el informe de calidad de la serie y, por lo tanto, la calidad final resultará afectada.

Existen diversas soluciones para resolver estos problemas. Una de ellas consiste en la utilización de una antena ranurada (Fig. 5).

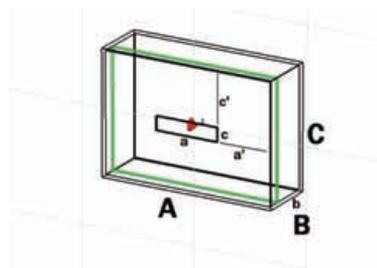


Figura 5. Antena ranurada típica

La antena ranurada ofrece una directividad óptima para este tipo de aplicación. La distancia entre la antena ranurada y la etiqueta sometida a prueba (TUT) se debe calcular correctamente. Sin embargo, estos dos elementos no son suficientes.

Las conexiones desde y hacia el lector se deben comprobar necesariamente, porque podrían resultar una fuente de ruido y causar lecturas múltiples.

Otra solución posible para el problema del ruido consiste en utilizar una antena integrada en el lector o colocar el lector fuera del área de prueba y utilizar un cable RF con un alto grado de aislamiento (100 dB) para conectar el lector y la antena.

**Medición de parámetros de etiquetas UHF con instrumentos de Agilent**

En la tabla 4 que aparece a continuación se presenta la configuración de los instrumentos de medición [12,13]

Fabricante	Modelo	Descripción
Agilent Technology Inc.	N5182A MXG	Generador vectorial de señales
Agilent Technology Inc.	N9010A EXA	Analizador vectorial de señales
Pasternak	RG-217	2 cables RF (6 m de longitud)
Kathrein	25-277 865-928 MHz	Antena LHCP de RFID
Kathrein	25-277 865-928 MHz	Antena LHCP de RFID
LAB-ID	UHF RFID Test Station (URTS)	Estación de medida
LAB-ID	TUT	Etiqueta bajo prueba

**Descripción de la estación de prueba de RFID UHF (URTS)**

La estación de prueba de RFID UHF consta [4] de:

- La estructura de posicionamiento de la TUT (Fig. 6) está compuesta de:

- Un plano horizontal con un soporte móvil para la TUT en la dirección y;

- Un plano vertical perpendicular al anterior donde se instalan las antenas RX y TX;

Los instrumentos y accesorios de medición que se muestran en la tabla 4.

- El generador de señales Agilent Vector MXG se conecta a la antena TX, en forma perpendicular al suelo, y su centro de fase se coloca a 1,425 m del suelo, con el fin de reducir al mínimo los fenómenos de reflexión del suelo causados por los lóbulos secundarios del patrón de la antena TX [14].

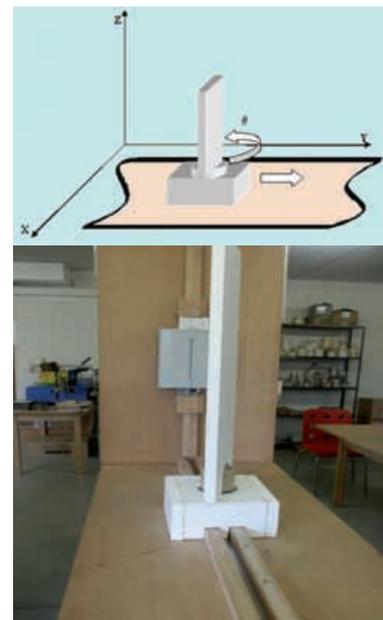


Figura 6. Estructura de posicionamiento de la TUT utilizada durante las pruebas

El centro de fase de la antena receptora se encuentra a una distancia de  $2\lambda$  de la antena transmisora y tiene un ángulo de inclinación de

41,83 grados, para reducir la interferencia con la antena transmisora. A continuación, la antena receptora se conecta al analizador de espectro [14].

La TUT, sujeta a un soporte de goma espuma, se encuentra a 60 cm de la antena TX. Se la puede rotar alrededor de su eje vertical en un ángulo  $\theta$  y desplazar en la dirección y tal como se muestra en la Fig. 6, sobre una guía de madera en el plano horizontal de la URTS.

Ello [8,4] nos permite tomar medidas según el ángulo de rotación  $\theta$  y la distancia  $d$ . El rango de  $\theta$  es  $[-90,90]$  grados;  $\theta=0$  define la dirección de máxima radiación de la antena TX.

La medición según el ángulo de rotación permite definir, como parámetro de calidad de la etiqueta, el sector angular para el cual la potencia de dispersión de retorno es mayor que el umbral establecido para la potencia de encendido fijada [4]. Dichas mediciones resultan fundamentales, puesto que permiten definir la calidad de la etiqueta, el campo angular, dependiendo del grado de rotación, donde la potencia de dispersión de retorno es mayor que el valor del umbral para la potencia de encendido fijada.

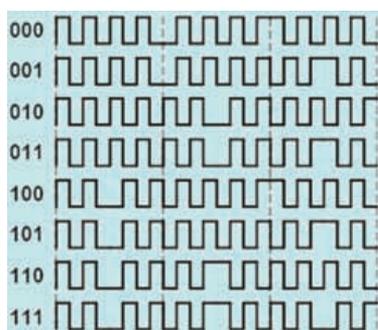
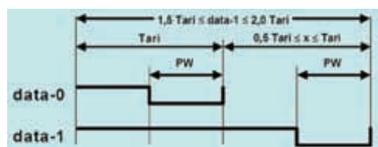
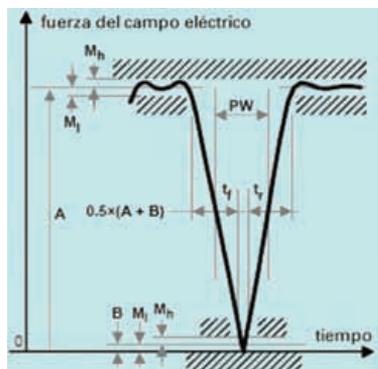
### Señal de RFID en N5182A\_MXG y N9010A\_EXA

La señal que genera el N5182A\_MXG [12] cumple con [4,5] la norma de comunicación UHF Clase 1, Gen. 2 de EPC Global. Se trata de una señal modulada en la que la portadora depende de frecuencias establecidas por el protocolo y escritas en el § 4 [4]. En este sistema, sólo se considera el canal AWGN.

### Comunicaciones desde el generador vectorial de señales N5182A (MXG Series) a la etiqueta

La señal de modulación es una PR-ASK, cuyos parámetros y tipo de codificación se indican en las tablas 5 y 6 [4,5]

Parámetro	Valor	Unidades
Codificación de la subportadora Miller	4	
Tari	20	$\mu$ s
PIE	2,0:1	$\mu$ s
Anchura de Pulso	0,5	$\mu$ s
Frecuencia del enlace	320	KHz

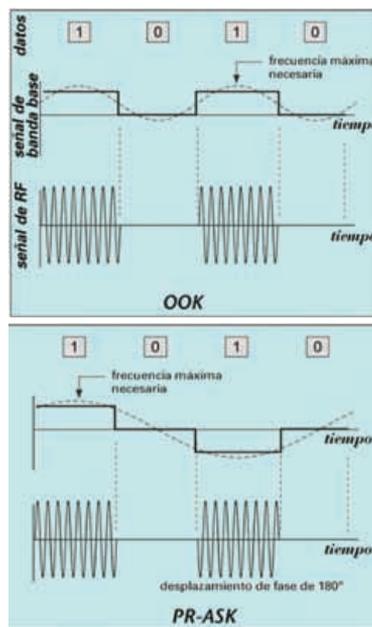


Las figuras 7(a), 7(b) y 7(c) muestran, respectivamente, el interrogador para el envoltorio de RF de la etiqueta, el símbolo PIE y las secuencias de la subportadora Miller.

Este enfoque se conoce como [8,11] modulación por desplazamiento de amplitud e inversión de fase (PR-ASK), que también se puede considerar una variante de la codificación binaria dúo. Para aplicar la PR-ASK para un flujo de datos binario simple, sólo debemos invertir la fase para cada binario 1 sucesivo (Fig. 8). El flujo de datos de modulación activada/desactivada (OOK) con la frecuencia más alta consiste en una serie de 1-0-1-0... alternados. Cuando dicho flujo se transmite utilizando una modulación activada/desactivada, incluso con un perfecto suavizado, debemos tener por lo menos una onda sinusoidal de frecuencia equivalente a la mitad de la velocidad de transferencia de datos para poder preservar la información de la señal. Esto aparece marcado con una línea de puntos en la figura 8. Cuando esta señal de banda base se utiliza para modular a la portadora, el espectro de señal modulada resultante tendrá

una energía de por lo menos la mitad de la velocidad de transferencia de datos por encima y por debajo de la frecuencia de la portadora. Con la utilización de la PR-ASK, la envoltorio de la señal de RF es idéntica, pero la esencia de la señal de la banda base se puede describir utilizando una onda sinusoidal de frecuencia equivalente a un cuarto de la velocidad de transferencia de datos. La señal modulada posee la mitad del ancho de la OOK.

Utilizando la codificación PIE, cada símbolo debe finalizar con un periodo breve en el que la potencia transmitida sea baja o igual a cero. Con la modulación PR-ASK, obtenemos [9,10] este resultado si simplemente invertimos la fase de todos los símbolos en lugar de sólo invertir cada 1 binario, puesto que la señal de la banda base debe pasar a través de cero cada vez que cambia de signo. Se debe tener en cuenta que en el caso de la codificación PIE, la frecuencia más alta se obtiene a partir de una sucesión de 0 binarios en lugar de símbolos alternados.



### Codificación de datos

El generador utiliza la codificación mediante intervalos de pulsos (PIE). La longitud de Data\_0 es 1 Tari, donde Tari es la unidad de referencia de tiempo de la señalización y asume los valores dados por:

$$6.25\mu s \leq Tari \leq 25\mu s \quad (1)$$

Figura 7. (a) Envoltorio de RF. (b) Símbolo PIE. (c) Subportadora Miller.

Figura 8. PR-ASK para una aplicación de flujo de datos binario y simple.

Tabla 5. Parámetro general de modulación.

La longitud de Data\_1 puede variar entre 1,5 y 2 Tari, y la Fig. 7(b) muestra los símbolos utilizados en la codificación PIE.

### Comunicaciones desde la etiqueta al analizador de señales de espectros N9010A (Serie EXA)

#### Codificación de datos

La etiqueta se comunica con el generador a través de la codificación de la subportadora Miller. Las funciones base de estos dos métodos de codificación son las mismas y, por consiguiente, el rendimiento de la tasa de error de bit (BER) es igual. Por otra parte, el código Miller se puede propagar para reducir la velocidad, multiplicando el símbolo codificado por la secuencia. Estas secuencias pueden incluir 2, 4 u 8 ciclos por símbolo codificado.

#### Código Miller

El código Miller puede utilizar algunas secuencias denominadas secuencias subportadoras Miller, lo cual reduce la velocidad de transmisión, de forma tal que un bit pueda contener 2, 4 u 8 ciclos (Fig. 7(c)). La velocidad de transmisión (LF) varía en función del parámetro enviado desde el generador a la etiqueta y del tipo de codificación utilizado. El rango de LF es el siguiente:

$$5\text{kbps} \leq LF \leq 640\text{kbps} \quad (2)$$

La velocidad de transferencia de datos (DR) y el TRcal vienen determinados por:

$$\text{VelocidadTransferenciaDatos} = LF = \frac{DR}{TRcal \times M} \quad (3)$$

$$1.1 \times RTcal \leq TRcal \leq 3 \times RTcal \quad (4)$$

respectivamente.

#### Modulación por dispersión de retorno

El principio de funcionamiento de la modulación por dispersión de retorno es el siguiente: el generador transmite una onda continua (CW), esta onda continua es rectificadora en la etiqueta y utilizada como fuente de alimentación. Como consecuencia, la

etiqueta se enciende. En EPC Gen. 2, el tipo PR-ASK y PSK. Las tablas 5 y 6 enumeran los parámetros de modulación. La señal recibida con dispersión de retorno desde la etiqueta se mezcla con la onda continua utilizada en el transmisor. La salida del mezclador es filtrada con un filtro de paso bajo para eliminar el componente de alta frecuencia. La señal resultante es posteriormente descodificada según el código utilizado en el transmisor de la etiqueta.

#### Rendimiento BER del código Miller

En los métodos de codificación utilizados en UL (desde la etiqueta a EXA), a saber, FM0 y codificación Miller, se utilizan las mismas funciones base. El rendimiento BER será el mismo si aplicamos un sistema de detección símbolo por símbolo. La regla de decisión en el receptor viene determinada por:

$$\begin{cases} \text{Elegir } H_1, \text{ si } \left( \int_0^{T/2} \tilde{r}(t) dt \bullet \int_{T/2}^T \tilde{r}(t) dt \right) \geq 0 \\ \text{Elegir } H_0, \text{ caso contrario} \end{cases} \quad (5)$$

donde Data\_1 está representada por  $H_1$  y Data\_0 por  $H_0$ ,  $r(t)$  es la señal recibida de la banda base y T representa la duración del símbolo. A continuación, se presenta la tasa de error del símbolo (BER) [16]:

$$P_e = 2Q \left( \sqrt{\frac{E}{N_o}} \right) \left[ 1 - Q \left( \sqrt{\frac{E}{N_o}} \right) \right] \quad (6)$$

donde E representa la energía del símbolo y  $N_o/2$  representa los datos por conmutación en paquetes (PSD) del complejo AWGN de doble lateral.

La Fig. 9 muestra la pantalla del EXA con la forma de onda de la señal de recorrido cero de RFID:

El analizador de espectro EXA N9010 se utiliza normalmente [13] para medir la potencia de dispersión de retorno y los parámetros de la señal de RFID. El análisis de la forma de onda, a través del analizador de espectro de Agilent, define características de la señal de RFID para variar la frecuencia y la potencia. Asimismo permite ver la respuesta de la etiqueta; en este caso, el instrumento se encuentra en la función de recorrido cero (zero span).

El instrumento recibe esta señal a través de una antena conectada a su conector de RF según se ha descrito en los párrafos anteriores.

### Procedimiento para la adquisición de datos

La configuración descrita anteriormente permite la medición [4,8] de:

- la potencia mínima de transmisión necesaria para la activación de la etiqueta;
- la potencia que recibe el chip (teniendo en cuenta la desadaptación de polarización e impedancia);
- la potencia de dispersión de retorno;
- la sección radar (RCS);

La potencia mínima de transmisión se puede ver directamente en el generador de señales, mientras que en el analizador de espectros se puede observar una primera estimación de la potencia de dispersión de retorno. Posteriormente, un modelo analítico permite determinar la sección radar y la potencia que recibe el chip. Se basa en la ecuación de Friis (ec. 1 y 2) y en el modelo de RADAR bi-estático.

$$P_{RX} = P_{TX} C \rho \tau \quad (7)$$

donde:

$$C = G_{TX} G_{RX} \chi L_{path} L_{cable} \quad (8)$$

y:

$\rho$  representa el coeficiente de acoplo de impedancias entre el lector y la antena

$\tau$  representa el coeficiente de acoplo de impedancias entre el chip y la antena

$\chi$  representa la pérdida por desadaptación de la polarización entre las antenas TX y RX

C representa el coeficiente de acoplamiento

$$G_{TX} = G(\theta_T, \phi_T)$$

$$G_{RX} = G_R(\theta_R, \phi_R)$$

$$L_{path} = \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

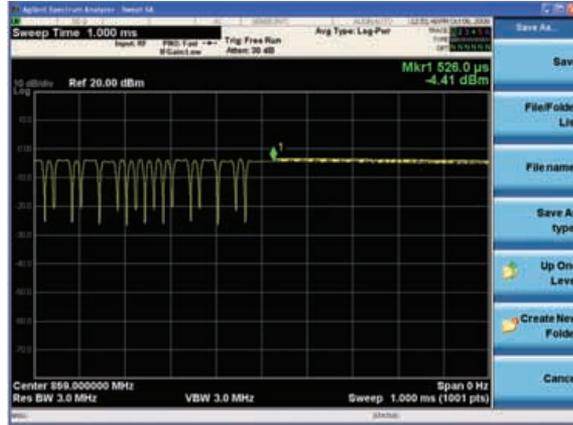
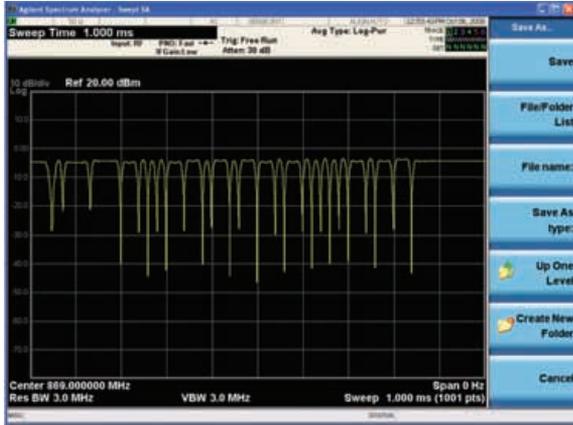


Figura 9. Medida de imagen de la señal de RFID UHF tomada por el analizador de espectro EXA N9010A.

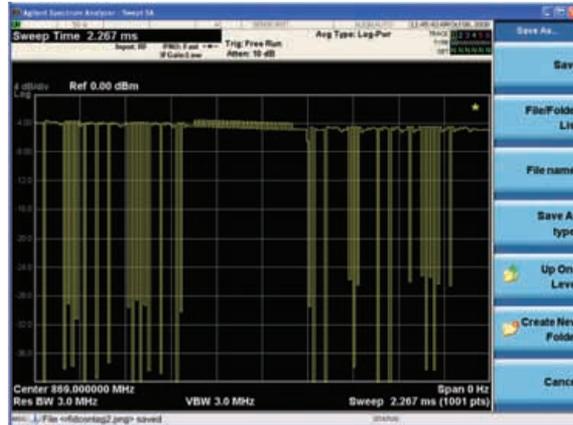
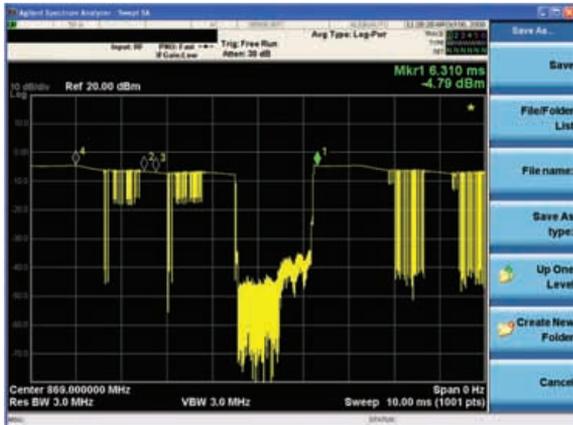


Figura 11. Imagen de la respuesta de la etiqueta en el analizador de espectro; (a) caso en el que la respuesta está por encima de la onda continua; (b) caso en el que la respuesta está por debajo de la onda continua.

La figura 10 muestra el diagrama para realizar el procedimiento de adquisición de datos.

El procedimiento de adquisición de datos se puede dividir en tres secciones (Fig. 10):

1) Sección MXG [12] en la cual: la forma de onda se produce de conformidad con la reglamentación EPC Clase 1 Gen. 2 [4,5]. La

señal de RFID se modifica en los rangos de frecuencia y de potencia § 6.3.

2) Sección EXA [13]: medición de la potencia de dispersión de retorno, diferenciando el caso en el que el nivel de la respuesta de la etiqueta está por encima del nivel de la onda continua (Fig. 11(a)) del caso contrario (Fig. 11(b)).

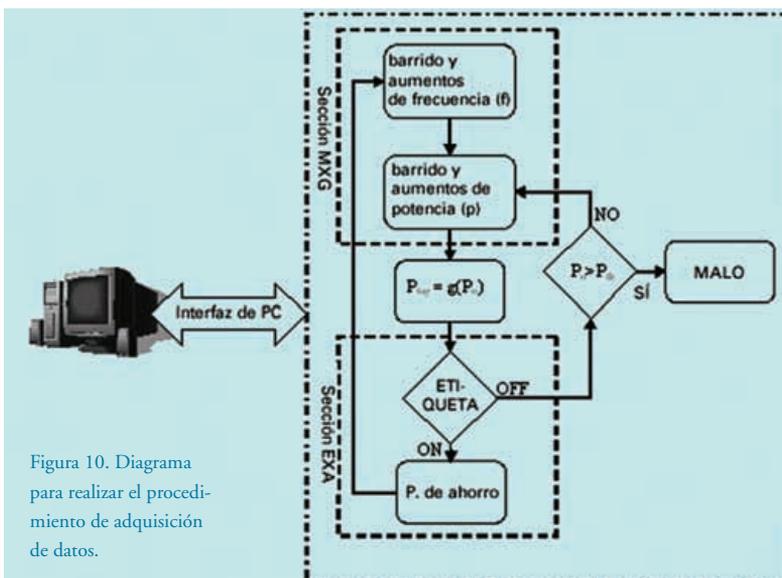
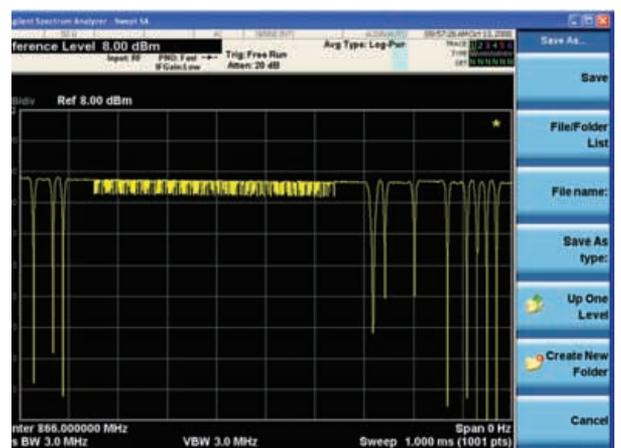
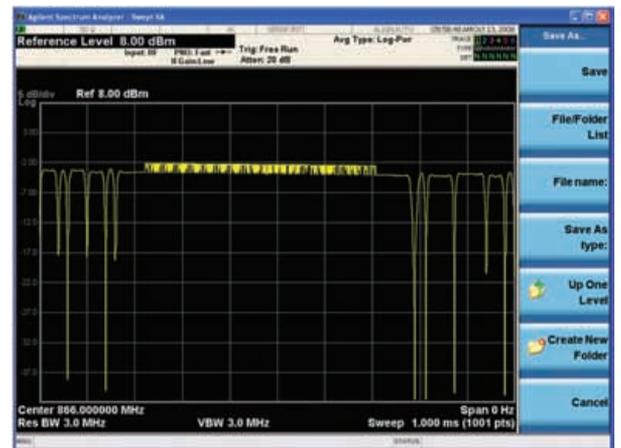


Figura 10. Diagrama para realizar el procedimiento de adquisición de datos.

3) Interfaz de PC:

- Los pasos 1 y 2 son computerizados;
- Se calcula la sección radar;
- Se elabora un informe que está compuesto de: tres cuadros que informan sobre la potencia de encendido de la etiqueta, la potencia de dispersión de retorno y la sección radar dependiendo de la frecuencia; una tabla que contiene los datos medidos, una tabla que resume el estado de los instrumentos durante las mediciones, la configuración de las mediciones y sus características, y una sección que incluye la fecha y la persona responsable de llevar a cabo el procedimiento de adquisición de datos.

En la medición de este sistema, suponemos que  $\rho = 1$  y  $\tau = 1$ ; el generador posee una antena circular polarizada y, por lo tanto,  $\chi = 0,5$ . Las ganancias de las antenas TX y RX [15] están determinadas por  $\phi_r$ ,  $\theta_r$ ,  $\theta_r$  y  $\phi_r$ . La convención utilizada en este sistema es:

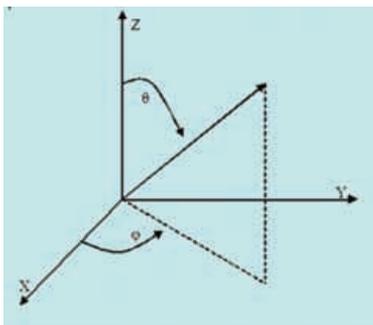


Figura 12. Marco de referencia para la convención utilizada en este sistema.

$\Phi$  es el ángulo con el eje x en el plano x-y, mientras que  $\theta$  es el ángulo con el eje z;  $\theta$  (cenit) y  $\phi$  (azimut) se consideran coordenadas esféricas utilizadas para definir una orientación. Comenzamos definiendo el eje MXG como la línea recta que conecta la posición central de la antena TX y la etiqueta. Luego,  $\theta_r$  se define como el ángulo entre el eje MXG en el plano x-y y el eje x. La función de ganancia para la antena TX viene determinada por:

$$G_T(\theta_T, \varphi) = 3,136 \left[ \sin(\theta_T) \frac{\sin(\frac{\pi}{2} \cos(\theta_T))}{\cos(\theta_T)} \cos(\frac{\pi}{2} \sin(\theta_T) \sin(\varphi)) \right]^2 \tag{9}$$

Por último, se calcula la lectura teórica de distancia de la etiqueta, utilizando la ecuación de Friis:

$$r_{read} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{gen}}{P_R} G_{Tx} G_{Tag}} \tag{10}$$

**Conclusión**

Resulta fundamental la posibilidad de obtener opiniones reales e inmediatas respecto al diseño virtual de la antena para reducir el coste de desarrollo del prototipo y el tiempo de lanzamiento al mercado. Las soluciones se aplican, entonces, mediante el uso de tres instrumentos: analizador vectorial de redes, de espectro y de señales, lo cual proporciona un conocimiento integral de los parámetros de una etiqueta y las repercusiones en los modelos que describen el comportamiento.

En particular, las mediciones de la potencia de encendido y de dispersión de retorno llevan al proceso de seleccionar una etiqueta adecuada para introducir en la producción, mientras que la medición de la impedancia sugiere la realización de las modificaciones necesarias para cumplir con las especificaciones físicas y funcionales establecidas durante la fase de diseño, según las especificaciones del chip que se incorporará a esa antena en particular.

**Referencias**

[1] "RFID: automatic identification and radio frequency", 1ª edición, Luigi Battezzati Ed. Hoepli.

[2] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: fundamentals and Applications in contactless smart card and identification", 2ª edición, Wiley.

[3] Patrick J. Sweeney II, "RFID for Dummies", Ed. Wiley.

[4] EPC Global, "Tag Performance Parameters and Test Methods", EPCglobal Inc. epcglobal@epcglobalinc.org, versión 1.1.2.

[5] EPC Global, "Specification for RFID Air Interface – Radio Frequency Identity Protocols Class 1 Generation 2 UHF RFID, Protocol for communication @ 860 -960 MHz", EPCglobal Inc. epcglobal@epcglobalinc.org , versión 1.0.9.

[6] <http://www.ida.gov.sg/in focomm%Adoptioin/200610021 82022.aspx>.

[7] ETSI 302 – 208, "Radio Frequency Identification Equipment Operating in the Band 865 – 868 MHz with power levels up to 2W", versión 1.1.2, 7/06.

[8] D. Dobkin, "RF Engineering for Wireless Networks", Elsevier 2004, cap. 5.

[9] Ian Galton, "Delta-Sigma data conversion in wireless transceiver", IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, vol. 50 parte 1, pág. 302 (2002).

[10] A. Koelle, S. Depp y R. Freyman, "Short – Range Radio Telemetry for Electronic Identification using Modulated RF Backscatter", Proc. IEEE agosto de 1975, pág. 1260.

[11] Harry Stockman, "Communication by Means of Reflected Power", Proc. IRE, octubre de 1948, pág. 1196.

[12] Agilent Technologies, Inc., "User's Guide - Agilent Technologies N5181A/82A/83A MXG Signal Generators -", Manufacturing Part Number N5180-90003.

[13] Agilent Technologies, Inc., "N9060QA Spectrum Analyzer Measurement Application – User's and Programmer's Reference –", Manufacturing Part Number N9060-90016.

[14] [www.kathrein-scala.com](http://www.kathrein-scala.com) y [www.kathrein.de](http://www.kathrein.de)

[15] M.D. Adickes, R.E. Billo, B.A. Norman, S. Banerjee, B.O. Nnaji y J. Rajgopol, "Optimization of indoor wireless communication network layout", IIE Transaction, 34(9):823-836. Sept. 2002.

[16] M. Simon y D. Divsalar, "Some interesting observations for certain line codes with application to RFID", IEEE Trans. On Communication, vol. 54, n°. 4, págs. 583-586, abril de 2006.