

**ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA BASADO EN LA TECNOLOGÍA
RFID, PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LOS SERVICIOS DE IDENTIFICACIÓN, REGISTRO Y
PRÉSTAMO DE LIBROS EN LA BIBLIOTECA “JOSE MARIA SERRANO” DE LA UNIVERSIDAD
DEL CAUCA**



Anexos

**ANDREA SILVANA SATIZABAL
JUAN CARLOS VIVEROS GÓMEZ**

Director: Ing. Edgar Ortiz L.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Departamento de Telecomunicaciones
Popayán, 2009**

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: FISICA DE LOS SISTEMAS RFID.....	1
ANEXO B: MANUAL DE SIMULACIÓN.....	20
ANEXO C: ESTÁNDARES.....	41
ANEXO D: TECNOLOGIAS DE AUTO-ID.....	49

Anexo A: Física de los Sistemas RFID

A.1. PRINCIPIOS ELECTROMAGNÉTICOS

Esta sección resume los principios fundamentales de la teoría electromagnética aplicados a los sistemas RFID.

A.1.1 Campo Magnético

El movimiento de cargas eléctricas, genera un campo magnético variable en el tiempo, lo que da origen a una corriente eléctrica por el principio de inducción electromagnética. Si una corriente eléctrica variable en el tiempo actúa sobre el mismo conductor, se origina un campo magnético variable [22]. El comportamiento de estos fenómenos de interacción electromagnética se describen mediante la ley de Ampere-Maxwell y la ley Faraday.

Los sistemas de identificación por RF obtienen la energía a través de campos magnéticos generados por la antena del lector en la bobina de la etiqueta, esta forma la utilizan los sistemas inductivos de captación [1].

Según la ley de Faraday, un campo variable en el tiempo genera un campo magnético en la antena del lector este campo induce en la bobina una corriente eléctrica en la antena *loop* (bobina) del transponder. Matemáticamente, la relación entre el campo magnético (\vec{B}) y la intensidad de campo magnético (\vec{H}) es:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}; \left[\frac{A}{m} \right] \quad (A.1)$$

Donde μ es la constante de permeabilidad magnética del medio.

El campo magnético se representa por líneas de fuerza que muestran la estructura del campo. El solenoide de la figura A.1, consiste de un conjunto de espiras paralelas e iguales dispuestas a lo largo de una determinada longitud recorridas por una intensidad de corriente I [22].

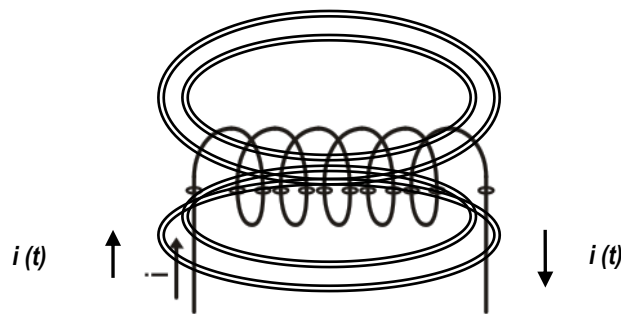


Figura A.1. Líneas de campo que circulan por un solenoide o bobina.

A.1.2 Ley de Biot – Savart

La relación entre la corriente eléctrica y el campo magnético, fueron confirmados y explicados por Biot y Savart, quienes concluyeron la relación entre una corriente eléctrica y un campo magnético; una corriente

eléctrica crea en el espacio un campo magnético, de forma análoga, la presencia de un campo magnético variable puede originar una corriente eléctrica [23][22]. La ley de Biot-Savart proporciona un medio directo para el cálculo del campo magnético en geometrías sencillas y complejas.

La ley establece que una corriente sobre un elemento infinitesimal produce un campo magnético a una distancia r de dicho elemento.[24]". La figura A.2 ilustra la ley de Biot y Savart:

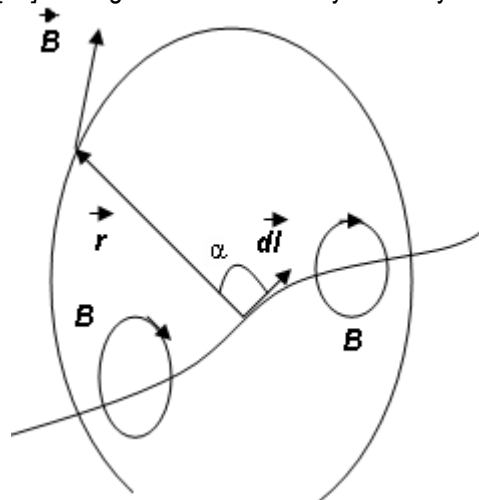


Figura A.2. Ley de Biot Savart de una corriente estacionaria [24]

Matemáticamente la ley de Biot- Savart se expresa:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (\text{A.2})$$

aquí, μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío y \vec{r} es un vector unitario, el campo magnético se mide en Teslas. El campo magnético total resulta aplicando el principio de superposición en todo el recinto que contiene las fuerzas de campo:

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2} ; [T] \quad (\text{A.3})$$

Para el solenoide de la figura A.1, la ley de Biot-Savart permite determinar la magnitud del campo magnético, sumando el efecto del cada espira en un punto de su eje (ecuación A.3) [23][22]. El solenoide de longitud l está constituido por n espiras, lo que implica considerar la contribución de todas las corrientes I_1, I_2, I_3 , por cada espira en un punto del eje del solenoide. La ecuación A.4, muestra la relación entre el campo magnético y la corriente en cada una de las espiras.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I = \mu_0 (I_1 + I_2 + I_3) \quad (\text{A.4})$$

A.1.3 Ley de Ampere

La ley de Ampere cuantifica el campo magnético creado por una corriente eléctrica que circula por una trayectoria cerrada. La ventaja de esta ley es su validez ante cualquier forma o distribución de corriente y no necesariamente sobre una distribución rectilínea.

En un circuito cerrado el efecto de diversas corrientes $I_1, I_2, I_3 \dots I_n$ contribuyen a la circulación del campo magnético a través del mismo.. [23]

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I = \mu_0 (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) \quad (\text{A.5})$$

Despejando \vec{B} :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)}{2\pi r} \vec{u}; \quad (\text{A.6})$$

El campo magnético en el centro de una espira circular se define como:

:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2r} \vec{u}; \quad \left[\frac{\text{Weber}}{\text{m}^2} \right] \quad (\text{A.7})$$

Partiendo de la ecuación A.7, el campo magnético producido por una espira circular de radio z (el conjunto de espira hace las veces de bucle o antena *loop* en el transpondedor de un sistema RFID) según la formulación de Biot Savart:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 INz^2}{2(z^2 + r^2)^{3/2}} \quad (\text{A.8})$$

Si se considera el caso, $r^2 \gg z^2$, se obtiene:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 INz^2}{2} \left(\frac{1}{r^3} \right) \quad (\text{A.9})$$

donde:

I : Corriente circulante por la bobina

z : Radio de la espira

r : Distancia desde el centro de la espira a un punto P a lo largo del eje

μ_0 : Permeabilidad magnética

N : Número de espiras

La ecuación A.8, es útil para calcular la relación amperios – vueltas, indispensable para determinar el rango de lectura de un transpondedor; despejando NI de la ecuación se obtiene:

$$NI = \frac{2B(z^2 + r^2)^{3/2}}{z^2} \quad (\text{A.10})$$

La intensidad de campo magnético decrece con el cubo de la distancia como se muestra en la ecuación A.9 [25]. Por tanto en el plano de la antena la intensidad de campo es máxima y proporcional a la corriente I y al número de espiras N ; Cuando se tiene un conjunto de espiras idénticas, el campo magnético creado en el centro se obtiene multiplicando el valor de la expresión A.7, por un número particular de espiras N . En consecuencia, si $r = 0$ (centro de la espira) y multiplicando por N (número de espiras) resulta la ecuación A.11.

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2z} \quad (\text{A.11})$$

La circulación de campo magnético en el rectángulo (DEFG) (figura A.3) es la contribución de cada uno de sus lados, pero la contribución los lados DF y EG es nula porque son perpendiculares al vector campo magnético, también es cero la contribución del lado. DE porque no hay campo fuera del solenoide; Por consiguiente sólo contribuye la base interior del solenoide (FG), cuyo campo es constante. Siendo dl un elemento de la trayectoria rectangular, \vec{B} el vector campo magnético, y N las espiras de longitud l del solenoide; el campo magnético en el centro de un solenoide conduce una corriente I y está confinado en su interior. Aplicando la ley de Ampere en la trayectoria rectangular cerrada DEFG cuya base inferior está dentro del solenoide paralela al campo, y la base superior fuera del solenoide. Se obtiene la ecuación A.14:

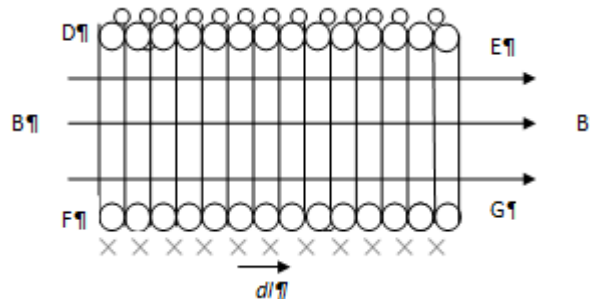


Figura A.3. Contribución de campo magnético en un solenoide o bobina

$$\oint Bdl = \int_D^F Bdl + \int_F^G Bdl + \int_G^E Bdl + \int_E^D Bdl \quad (\text{A.12})$$

$$\oint Bdl = \int_F^G Bdl = Bl = \mu_0 NI \quad (\text{A.13})$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{L} \quad (\text{A.14})$$

En un sistema de identificación por RF inductivo, el campo magnético B de la bobina es función lineal del número de espiras y de la intensidad de corriente, siempre que la densidad de las espiras permanezca constante.

La ecuación A.14 establece que el campo magnético producido por una bobina es directamente proporcional a la densidad de espiras N y a la intensidad de corriente. En una etiqueta, la bobina juega

el papel de antena en un sistema RFID, así, la corriente que circula por ella produce un campo magnético alrededor de al conductor.

A.1.4 Campo Magnético en una Espira

Un sistema radio es capaz de emitir efectivamente una señal, cuando las dimensiones de la antena son comparables con la longitud de onda de la señal [1]. En los sistemas RFID inductivos en la banda de HF, la longitud de onda característica (λ) es de varios metros (22.13 m para 13.56 MHz); antenas con dichas dimensiones se implementan en sistemas comerciales RFID. Por consiguiente, es útil en HF (Alta Frecuencia) o VLF (Muy Baja Frecuencia) la implementación de bobinas resonantes que actúen como antenas dipolo magnético. Las antenas *loop* (bobina) son muy útiles en los sistemas RFID en la banda de HF, ya que las dimensiones son menores si se considera la distancia de lectura entre el circuito lector y el la etiqueta. Además, utilizan los principios de acoplamiento inductivo en la región de campo cercano (sección 1.8.1) [1][4]. La ecuación (A.8) describe el comportamiento del campo magnético de antena RFID inductiva. De la expresión se deduce:

- ❖ Un incremento del radio (z) en la espira implica un aumento del campo magnético. En sistemas inductivos a medida que la distancia aumenta el nivel de campo magnético disminuye (ver figura A.3), además, es posible que la magnitud del radio supere la distancia de lectura (r).
- ❖ El aumento del radio de la antena se extiende el rango de lectura, esto permite disminuir el número de amperios - vueltas. Si se elige aumentar la distancia de lectura para el mismo radio de la bobina, el número requerido de amperios – vueltas aumenta considerablemente (ver ecuación A.10). Por ejemplo, una distancia de 65 cm, con campo magnético de 1.5 $\mu\text{Wb/m}$ y un radio de 8 cm requiere de un poco más 100 amperios por vuelta. Mientras que si se duplica el radio, el número de amperio – vueltas disminuye efectivamente. En consecuencia, es más eficaz aumentar el radio de la antena.
- ❖ En la práctica es necesario elegir el diámetro óptimo de la antena *loop*; un incremento en el radio de la espira, aumenta la intensidad de campo y la distancia de lectura máxima, sin embargo, fuera del centro de la espira el campo será débil y eventualmente las etiquetas no recibirán la energía suficiente para su alimentación. Si la magnitud del radio se reduce el campo decrece de acuerdo al cubo de la distancia.
- ❖ El radio óptimo de la bobina se deduce aplicando la derivada con respecto a la distancia de la espira a la ecuación (A.10). Matemáticamente se expresa:

$$NI = \frac{2B(z^2 + r^2)^{3/2}}{\mu_0 z^2}$$

(A.15)

$$\frac{d(NI)}{dz} = \frac{(z^2 - 2r^2)(z^2 + r^2)^{1/2}}{z^3} \quad (\text{A.16})$$

Finalmente, el radio máximo u óptimo debe ser:

$$z = (2)^{1/2} r \quad [m] \quad (\text{A.17})$$

La ecuación A.17 indica que un incremento en la distancia de lectura implica un aumento en el radio de la bobina, lo que limita definitivamente el alcance. Así, es posible alcanzar etiquetas de RF a 1 m de distancia, siempre que el radio de las bobinas sea de 1.4 m.

La figura A.4, ilustra las variaciones de intensidad de campo magnético respecto al radio de la bobina modificando la distancia (x). El máximo nivel de intensidad de campo se obtiene en el punto del radio óptimo tal como se aprecia en cada una de las curvas.

A.1.5 INDUCCION ELECTROMAGNETICA. FLUJO MAGNÉTICO Y FUERZA ELECTROMOTRIZ

A.1.5.1 Ley de Faraday - Henry

Si un conductor de superficie S y trayectoria C es ubicado cerca de una región de campo magnético (Figura A.5), la cantidad de líneas de fuerza magnética (flujo magnético variable en el tiempo) que penetran dicha superficie inducen un voltaje alrededor del conductor. Entre el vector campo magnético y el vector n se presenta el ángulo θ . La figura A.5 ilustra la trayectoria C [23].

La ecuación A.18 representa el flujo magnético de un conductor.

$$\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{S} = |B||S| \cos \theta ; \text{ [Weber]} \quad (\text{A.18})$$

La expresión generalizada para el flujo magnético se obtiene de la ecuación A.19

$$\Phi = \iint \vec{B} d\vec{S} \quad (\text{A.19})$$

Un análisis de la ecuación A.18, establece que el flujo magnético que pasa a través de la bobina es función de la orientación. Si el vector superficie y vector campo magnético están orientados en la misma dirección (paralelos), el resultado del producto punto de los dos vectores será máximo, por lo tanto, es necesario orientar las bobinas de lector y del transpondedor para que el flujo magnético sea máximo. En otro caso, el flujo disminuye, incluso podría anularse.

Cuando variamos el campo, el flujo magnético en el bucle cambia, produciendo una Fuerza Electromotriz (FEM) y originando una corriente eléctrica en el bucle. Mientras mayor sea la variación del flujo magnético con respecto al tiempo a través del bucle mayor es la **fem** inducida como se muestra en la figura A.6.

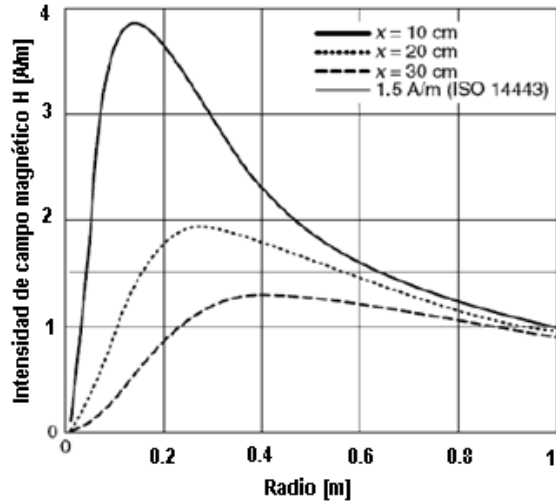


Figura A.4. Relación entre la Intensidad de Campo Magnético, la distancia y el radio [1].

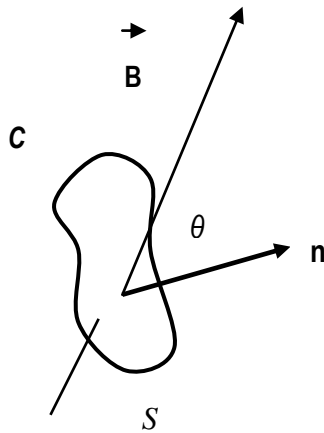


Figura A.5. Vector campo magnético y vector unitario en el bucle



Figura A.6. FEM en función de la variación del flujo magnético.

Formalmente la ley de Faraday – Henry establece: “En un circuito situado en un campo magnético, se produce una fem inducida si varía el flujo magnético a través del circuito, siendo el valor de la fem la

rapidez de cambio del flujo magnético a través del circuito” [23]. En la figura A.7 se aprecia El Efecto Faraday

La ecuación A.20 define la fuerza electromotriz (fem) inducida en la bobina del transpondedor.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{-d}{dt}(\vec{B} \cdot \vec{S} \cdot \cos \theta) \quad (\text{A.20})$$

Para N espiras la ecuación se convierte en:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{A.21})$$

$$\varepsilon_L = -L \frac{di}{dt} \quad [\text{V}] \quad (\text{A.22})$$

La ley de Lenz justifica el signo negativo de la expresión A.22; la corriente inducida tiene una dirección y sentido que se opone al cambio que lo produce, provocando una disminución del flujo magnético [23].

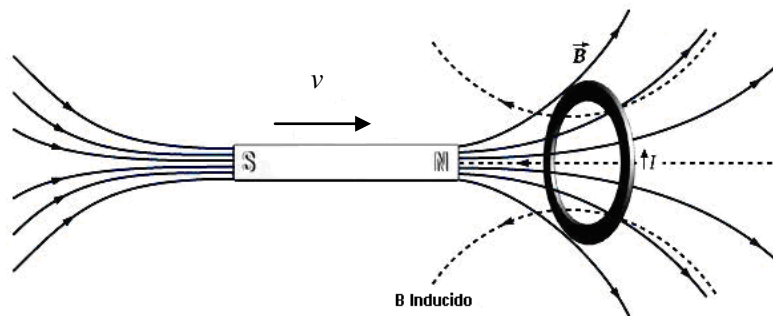


Figura A.7. Interpretación de la ley Lenz, cuando interactúa una barra imantada con una espira [22].

La figura A.8 muestra el diagrama en bloques de un sistema RFID simplificado. Cuando la bobina del interrogador y del transpondedor se encuentran próximos entre sí, el campo magnético oscilante (\vec{B}) generado en la antena del lector induce un voltaje en la bobina del transpondedor. Este es el principio fundamental utilizado por los dispositivos RFID pasivos para obtener la energía para su funcionamiento.

De las ecuaciones A.8, A.20, A.18 se deduce el voltaje inducido en la antena bobina:

$$V = 2\pi fNSB \cos(\theta); \quad [\text{V}] \quad (\text{A.23})$$

En la ecuación A.23, f es la frecuencia de operación del lector, N corresponde al número de vueltas de la bobina, S es el área, B y θ , corresponden a la intensidad de campo de la señal de llegada y al ángulo de la señal de llegada respectivamente.

Para que el voltaje inducido sea máximo es preciso que el ángulo θ formado por la horizontal y el transpondedor sea igual a cero. La figura A.9 y la ecuación A.23 lo justifican.

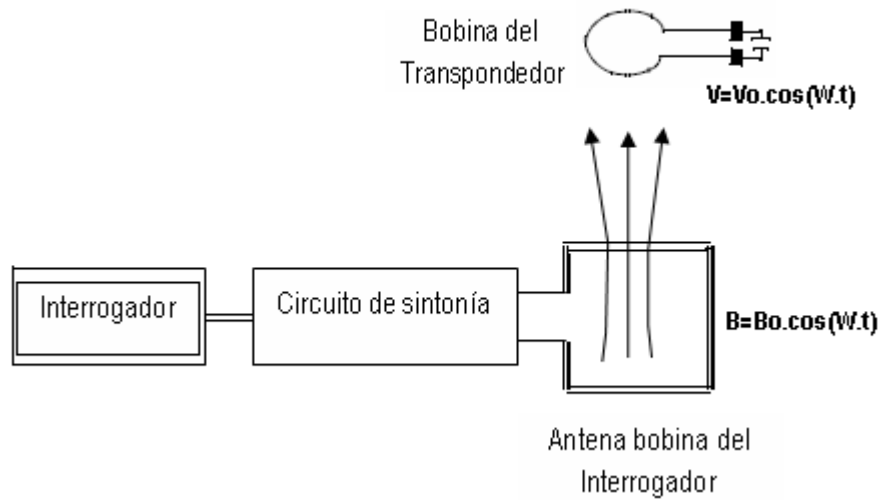


Figura A.8. Voltaje inducido en la bobina del transpondedor [25].

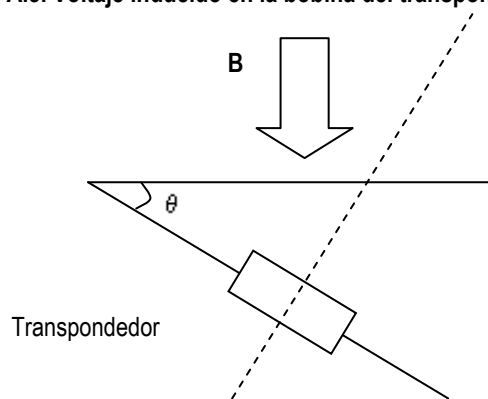


Figura A.9. Orientación de la antena del transpondedor [25].

A.1.5.2. Autoinducción e Inducción Mutua

Los sistemas de Identificación por RF utilizan mecanismos de acoplamiento inductivo basados en los principios de inducción y autoinducción. La corriente, genera un campo magnético variable proporcional a la corriente del lector. Matemáticamente se define mediante la ecuación A.24.

$$\phi = Li \quad ; \quad [Wb] \quad (A.24)$$

El coeficiente (L) es función de la geometría de la bobina y su longitud. La inductancia es una magnitud eléctrica que establece la cantidad de flujo magnético que atraviesa una superficie en función de la corriente. Esta propiedad no solo es inherente a las bobinas, cualquier conductor está sujeto a un valor de inductancia [22] [23]. La unidad de medida de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades es el Henrio (H).

A.1.5.2.1 Inductor

Los inductores son elementos lineales y pasivos con capacidad de almacenar y liberar energía basados en fenómenos relacionados con los campos magnéticos [23]. Básicamente, un inductor real consiste de un arrollamiento de hilo conductor que disipa energía debido a una resistencia propia del material. Si por las N espiras del inductor circula una corriente eléctrica I se dispone de un flujo magnético a través del arrollamiento. La ecuación A.25 define la inductancia.

$$L = \frac{N\Phi}{I} \quad [H] \quad (A.25)$$

El producto $N\Phi$ se conoce como flujo enlazado.

A.1.5.2.2 Autoinducción

Cuando una corriente circula por las antenas próximas de un lector y de un transpondedor, un flujo magnético variable en uno de los inductores surgirá producto de la corriente circulante.. Matemáticamente se expresa en la ecuación A.26.

$$\varepsilon_L = -L \frac{di}{dt} l_1 \quad [V] \quad (A.26)$$

1.5.2.3 Inductancia Mutua

Una corriente estacionaria i en un devanado primario crea un flujo magnético en el otro devanado.[23].

Las bobinas 1 y 2 están próximas. Cuando la corriente i_1 circula por el bucle 1 genera un campo magnético proporcional a la intensidad de corriente. Un flujo de campo enlaza el circuito 2 proporcional a la intensidad como se aprecia en la figura A.10.

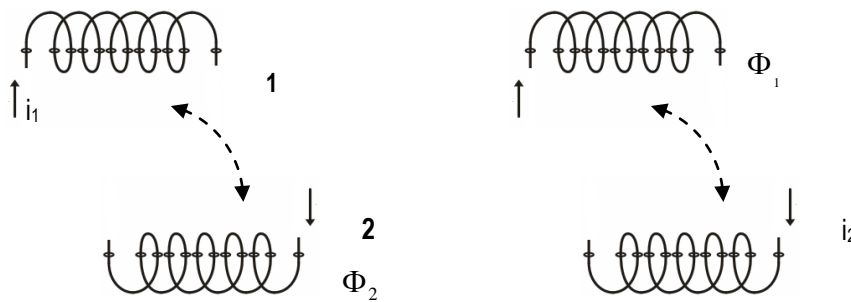


Figura A.10. Inductancia mutua del bucle 1 al bucle 2 y viceversa.

El flujo magnético que pasa por el bucle 2 debido a la intensidad de corriente que circula por el circuito 1 se relaciona mediante la ecuación A.27.

$$N_2\Phi_{21} = M_{21}i_1 \quad (A.27)$$

M_{21} , es el coeficiente que corresponde al flujo magnético a través del circuito 2 debido a la intensidad de corriente en el circuito 1. Análogamente para M_{12} . Los coeficientes son función exclusiva de la geometría

de los circuitos y de sus orientaciones relativas. Físicamente, la inductancia mutua M_{21} y M_{12} son iguales. Debido a la intensidad de corriente i_1 (ver figura A.10), se origina una fuerza electromotriz inducida en el circuito o bobina 2, representada por:

$$\varepsilon_{m2} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (\text{A.28})$$

De la misma forma, si una corriente i_2 circula por el circuito 2 se origina una fem inducida en el circuito 1, matemáticamente se expresa:

$$\varepsilon_{m1} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (\text{A.29})$$

En el ámbito de los sistemas RFID, el fenómeno de inductancia mutua describe el intercambio de energía entre el lector y la etiqueta de RF cuando ocurre una variación temporal de corriente en cada circuito. Cuando el lector emite la portadora o la señal sinusoidal de RF en torno al circuito *tag*, se establece un acoplamiento electromagnético entre ambos dispositivos.

A.1.6 RESONANCIA

El voltaje inducido en los terminales de la antena del transpondedor debe ser lo suficiente para energizar el circuito chip donde se almacenan los datos relacionados con el producto. La figura A.11, muestra el modelo circuital de un transpondedor constituido por un circuito resonante, un circuito rectificador, un regulador de voltaje y un circuito activo. La antena del transponder (L) y el capacitor de sintonía (C) establecen el circuito antirresonante. La resistencia R_L en el modelo es inherente a la bobina real L, L_1 corresponde a la bobina resonante de la antena del lector. C_{supply} es el capacitor que almacena la energía para suministrarla al circuito activo (chip). Finalmente, D_r es el diodo del circuito rectificador de media onda y D_z el diodo zener regulador de voltaje cuyo propósito es protegerlo de altos voltajes cuando este muy próximo al lector [1].

Cuando la frecuencia del lector y del transpondedor coinciden, la intensidad de corriente es máxima resultado del efecto de la resonancia y la impedancia es mínima en un circuito serie. En resonancia, la reactancia capacitiva (X_c) e inductiva (X_l) son iguales (corriente y el voltaje están en fase), lo que implica que la impedancia sea mínima [22][25].

El circuito resonante serie se utiliza en el diseño de lectores de proximidad, debido a su simplicidad y a la disponibilidad de una alta corriente en la antena. Mientras que, un circuito paralelo se caracteriza por una impedancia máxima a la frecuencia de resonancia y una corriente mínima. Es utilizado en el diseño de transpondedores y circuitos lectores de alta potencia por las características de almacenamiento de energía [25].

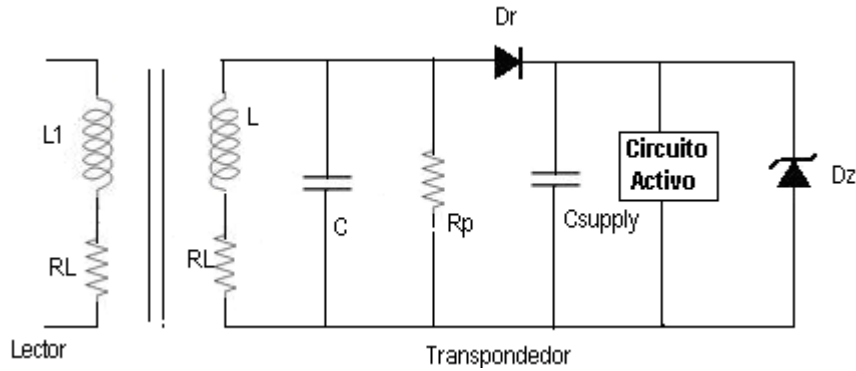


Figura A.11. Circuito equivalente de un transpondedor utilizado durante la simulación.

Matemáticamente, la frecuencia de resonancia se define:

$$X_L = X_C \quad (\text{A.30})$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (\text{A.31})$$

$$\omega_o = \frac{1}{(LC)^{1/2}} ; \quad [\text{Rad/s}] \quad (\text{A.32})$$

Según la ecuación (A.32), la frecuencia de resonancia es determinada por la inductancia y la capacitancia independiente del valor resistivo.

En un sistema de identificación por RF, el *tag* se sintoniza a la frecuencia del lector ajustando el valor de un condensador o un inductor variable con el propósito de seleccionar la frecuencia de resonancia del sistema. Si la frecuencia de transmisión coincide con la frecuencia de resonancia ω_o , la intensidad de corriente en la etiqueta de RF tiene su máximo valor, mientras que los armónicos de la frecuencia fundamental del lector son rechazados o discriminados en la antena del *tag* si se elige un valor alto del factor de calidad (Q).

A.1.7 FACTOR DE CALIDAD

En un circuito resonante, el factor que proporciona una medida de la agudeza de la curva de resonancia se conoce como factor de calidad (Q). Se define como la relación entre la energía máxima reactiva que almacena el circuito y la energía que disipa en un período de la señal [22].

$$Q = 2\pi \frac{\text{Energía_almacenada}}{\text{Energía_disipada_por_ciclo}} \quad (\text{A.33})$$

En un circuito pasivo formado por elementos lineales como resistencias, condensadores y bobinas el factor de calidad es relativamente bajo, lo que implica un circuito no muy selectivo. Si se incrementa la magnitud de la resistencia el circuito se torna poco selectivo y con un ancho de banda limitado para

ciertas frecuencias [1]. La figura A.12 ilustra el efecto resistivo de un inductor sobre el factor de calidad (Q):

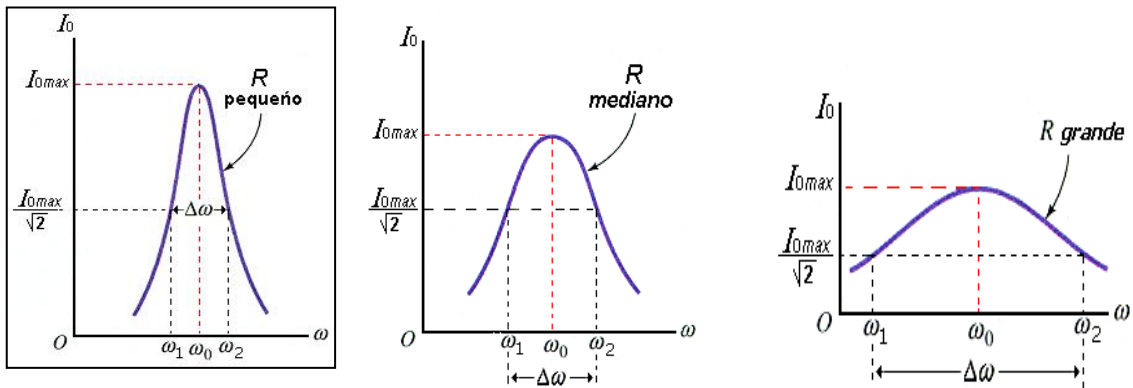


Figura A.12. Efecto de la resistencia de la bobina sobre el factor de calidad

En ω_0 , (frecuencia de resonancia en radianes) la corriente del circuito resonante es máxima, mientras que la intensidad de corriente ω_1 , ω_2 a la frecuencia de los puntos de potencia mitad equivale al 70.7% de la corriente máxima. Las ecuaciones A.34 y A.35 definen el factor de calidad (Q):

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (\text{A.34})$$

$$Q_{\text{máx}} = \frac{f_o}{B} \quad (\text{A.35})$$

Donde: f_o corresponde a la frecuencia de resonancia del circuito y B es el ancho de banda.

El factor de calidad Q y el ancho de banda se relacionan de forma inversa. Para un circuito tanque con una resistencia (R), condensador (C) y una bobina (L) el Q se define mediante la ecuación A.36. La ecuación muestra la relación directa entre la raíz cuadrada de la capacitancia y la inductancia con el factor de calidad.

$$Q = R(C/L)^{1/2} \quad (\text{A.36})$$

Reemplazando en A.23 el factor de calidad Q de un circuito sintonizado se obtiene:

$$V = 2\pi fNSQB \cos(\theta) \quad (\text{A.37})$$

Finalmente, si se sustituye A.36 en A.37 se obtiene el voltaje inducido en términos de la capacitancia y la inductancia.

$$V = 2\pi fNS \left[R \left(\frac{C}{L} \right)^{1/2} \right] B \cos(\theta) \quad [\text{V}] \quad (\text{A.38})$$

El voltaje en la bobina del transpondedor es directamente proporcional al campo magnético, al número de vueltas de la bobina y al área de la superficie de la misma, e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la inductancia (ver ecuación A.38).

Durante el diseño de sistemas RFID se procura que la etiqueta sea lo suficientemente selectiva para rechazar frecuencias armónicas y admitir solo la frecuencia fundamental transmitida por el lector. Valores típicos de Q para un circuito de RF varían entre 10 y 100; para sistemas RFID suelen utilizarse valores de 60.

A.1.8 ONDAS ELECTROMAGNETICAS

El campo resulta de la composición de dos tipos de energía relacionados: una con características eléctricas y otra esencialmente magnética. La combinación de estas formas de energía resulta en ondas electromagnéticas [1].

Las OE que son útiles en los sistemas RFID de altas frecuencias, es el caso de los sistemas que operan en la banda de UHF y microondas. El comportamiento y los principios de funcionamiento exhiben diferencias con los sistemas RFID basados en principios inductivos.

Desde el punto de vista de un observador lejos de la fuente de emisión, una OE se considera como una onda transversal plana constituida por un campo eléctrico y campo magnético perpendiculares entre sí y perpendicular a la dirección de propagación. La figura A.13 ilustra la dirección de los campos producidos por dos cargas junto a la longitud de onda λ :

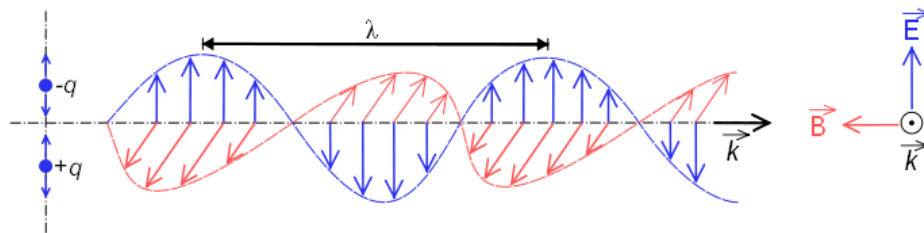


Figura A.13. Onda electromagnética transversal. El campo eléctrico \vec{E} (en azul) y el campo magnético \vec{B} (en rojo) son perpendiculares entre sí [22]

Cuando una onda electromagnética (OE) se propaga a través del espacio es vulnerada por perturbaciones del medio, como ruido AWGN¹, interferencia y desvanecimientos. Si atraviesa un medio diferente, sus propiedades se modifican, pero la frecuencia permanece constante. El campo que originalmente era de carácter magnético, se transforma gradualmente en un campo electromagnético. La ley de Faraday en su forma diferencial (ecuación A.39) anuncia la coexistencia de un campo magnético y un campo eléctrico temporal, lo que significa que un campo eléctrico puede ser generado variando la densidad de flujo magnético que atraviesa un punto [22].

$$\nabla_x \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{A.39})$$

¹En comunicaciones AWGN se conoce como ruido blanco gaussiano aditivo y es propio del canal.

En los sistemas de radio inductivo de HF o LF los campos electromagnéticos que intervienen durante la comunicación son fundamentalmente campos magnéticos. Un sistema RFID de UHF y microondas se basan en el uso de OE [1].

A.1.8.1 Campo Lejano y Campo Cercano

Cuando la onda electromagnética alcanza la región de campo lejano continúa irradiando su energía y por lo tanto parte de ella no regresa al radiador o fuente de emisión. En esta región la onda se aísla de la fuente de emisión y viaja a través del espacio como una onda plana; la región o campo lejano se refiere al patrón de campo que está a una distancia considerable de la fuente de emisión. En la zona cercana¹ el patrón de campo está cerca o adyacente a la fuente emisora de radiación; parte de la potencia transmitida se conserva temporalmente en el campo cercano y retorna a la antena, similar al comportamiento presentado por una bobina al liberar y conservar energía [1][17][22]. Por consiguiente, en los sistemas RFID inductivos no es admisible el campo lejano y la frontera de radiación se localiza en la zona cercana.

La región de campo cercano se relaciona con la estructura o fuente de radiación, mientras que la región de campo lejano es independiente de la estructura de la fuente y el campo se propaga en forma de una onda localmente plana. Sea D el diámetro de la antena, r la distancia desde un punto de radiación hasta un punto arbitrario y la longitud de onda λ . Matemáticamente, se definen las siguientes regiones de campo:

- ❖ **Campo cercano reactivo:** Adyacente a la antena.

$$r < 0.62 \left(\frac{D^3}{\lambda} \right)^{1/2} \quad (\text{A.41})$$

- ❖ **Campo Cercano radiado (Zona de Fresnell):** Se manifiesta alrededor de la estructura radiante. Posterior a la región de campo reactivo. Se expresa mediante la ecuación A.40.

$$0.62 \left(\frac{D^3}{\lambda} \right)^{1/2} \leq r < \frac{2D^2}{\lambda} \quad (\text{A.40})$$

- ❖ **Campo Lejano (Zona de Fraunhofer):** Onda plana, el campo se convierte en un campo electromagnético. La ecuación A.42 describe la región de campo lejano.

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (\text{A.42})$$

La figura A.14 divide las tres zonas de campo:

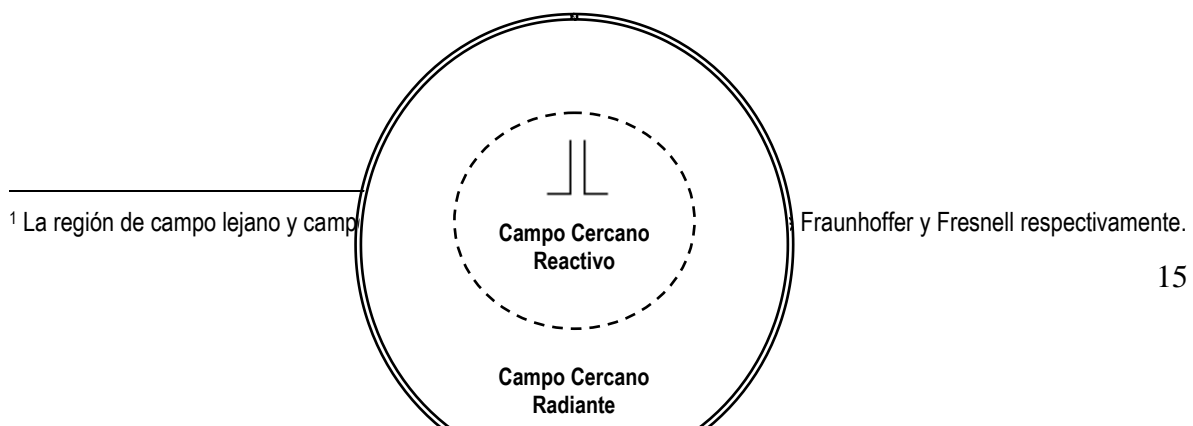


Figura A.14. Regiones de campo en una estructura radiante [17].

Maxwell encontró que un campo eléctrico oscilante en el tiempo induce un campo magnético temporalmente variable. Cuando se alcanza una cierta distancia, la frontera entre el campo cercano y lejano, $\lambda / 2\pi$, el campo electromagnético establecido comienza a dividirse de la estructura emisora y se propaga lejos de la antena a la velocidad de la luz en forma de onda electromagnética, lo que provoca una transición de la región cercana (campo magnético) a la región lejana (onda electromagnética) [1][17].

La figura A.15, muestra el comportamiento de la intensidad de campo en función de la distancia para un sistema acoplado inductivo a una frecuencia de 13.56 MHz, es decir, durante la transición de campo cercano a campo lejano

El estándar de regulación EN 300 330 del ETSI “*Compatibilidad Electromagnética y Cuestiones del Espectro de Radio para Dispositivos de Corto Alcance*” especifica la intensidad de campo magnético máximo (42dBu(A/m)) a una distancia de 10 m de la fuente de RF para sistema inductivos independiente de la frecuencia.

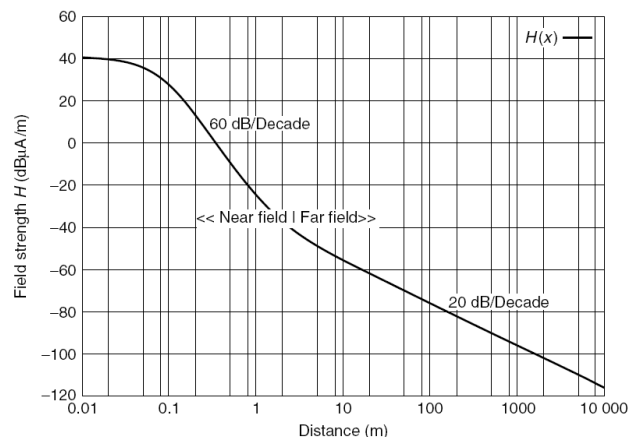


Figura A.15. Distancia en función de la intensidad de campo durante la transición de campo cercano y lejano [1].

De acuerdo a la figura A.15, a medida que se aleja de la fuente de emisión la intensidad de campo magnético disminuye acorde a la ecuación $1/d^3$ en la zona de campo cercano (Near field). Lo que indica una caída de 60 dB/Década. Posterior a la frontera entre ambas zonas el campo decrece según la ecuación $1/d$ lo que significa una disminución de 20 dB/Década. Además, se observa un suave descenso de la curva en la región de campo lejano (Far field) respecto al descenso en la zona de campo cercano, ya que el campo electromagnético se alejó de la fuente emisora.

A.1.8.2 Densidad de Radiación

Las OE viajan a través del espacio en línea recta transportando energía en el campo eléctrico y magnético prescindiendo de un medio material para su propagación. Un frente de onda esférico de radio R es generado por un radiador isotrópico² en una situación ideal [22]. En la práctica, el radiador isotrópico se suele aproximar a una fuente omnidireccional que concentra su energía dentro de una superficie esférica y con igual densidad de potencia en todos los puntos que equidistan de la superficie de la esfera R . Finalmente, la densidad de potencia S se define como la potencia emitida por una fuente puntual de radiofrecuencia distribuida en la sección esférica [11]. Matemáticamente se expresa:

$$S = \frac{PIRE}{4\pi R^2} ; \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (A.43)$$

donde:

- S : Densidad de Potencia [W/m²].
- $PIRE$ ³ : Potencia isotrópica radiada equivalente [W].
- R : Radio desde el centro de la esfera a un punto cualquiera de la superficie [m].
- $4\pi R^2$: Superficie de la esfera.

En general, el vector de Poynting relaciona los campos eléctrico y magnético, mediante el producto vectorial entre ellos. Se define mediante la ecuación A.44:

$$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0} \quad (A.44)$$

Físicamente \vec{S} , representa la intensidad de energía electromagnética en un instante dado por unidad de superficie transportada por la onda electromagnética; la dirección y sentido coinciden con la onda electromagnética viajera plana [22][1][12].

1.8.3 Polarización

Una de las propiedades de una onda electromagnética es la polarización. El plano de oscilación del vector campo eléctrico de la onda establece la dirección de polarización. En consecuencia, es posible diferenciar diversos esquemas de polarización para una antena o una fuente de emisión. Por convención se toma como referencia la polarización del vector campo eléctrico, ya que no se requiere conocer el

²Básicamente, un Radiador Isotrópico consiste en una antena ideal que radia igual energía en todas las direcciones. Generalmente se ubica en el centro de una esfera y todos los puntos reciben igual energía.

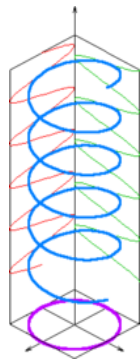
³Equivale al producto entre la potencia proporcionada por una antena en una dirección dada, relacionada con el radiador isotrópico.

comportamiento del vector campo magnético, debido a la relación perpendicular de ambos campos respecto a la dirección [1][11][23].

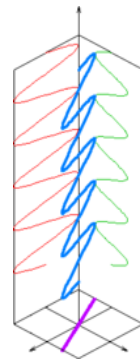
Una señal de longitud de onda (λ) cuya fase entre componentes es diferente de cero produce un tipo de polarización elíptica. En consecuencia, el vector con magnitud y fase que representa la onda electromagnética describirá en un ciclo de la señal una elipse. Si la fase es de $\pm \pi/2$ y las amplitudes iguales de polarizaciones circulares. Así, los casos de polarización circular y lineal son casos particulares de la polarización elíptica [1][11][23].

Cuando el vector campo eléctrico varía respecto al tiempo, se definen los siguientes tipos de polarización:

- ❖ **Polarización Lineal:** El vector campo eléctrico de una onda se mantiene fijo a lo largo de la dirección de propagación en línea recta (figura A.16). Si las componentes X (Color Rojo), Y (Color Verde) del campo eléctrico están en contratase (180°) y una de las componentes alcanza el mínimo mientras que la otra alcanza el máximo, se dice, que el campo eléctrico (Color Azul) está en el plano de polarización lineal. En general se tiene una señal estrecha, por lo tanto se requiere alinear adecuadamente la antena transmisora y receptora [1][11][26].
- ❖ **Polarización Circular:** El vector campo eléctrico rota de manera circular describiendo la misma trayectoria geométrica. Se obtiene cuando las dos componentes X , Y tiene la misma amplitud con un desfase de 90° (Ver Figura A.16). Una de las componentes anula su efecto mientras que la otra alcanza su amplitud máxima o mínima. Si el vector que representa la fase rota en el sentido horario, la polarización circular es derecha. En sentido antihorario, la polarización es izquierda. En general, el haz es ancho, lo que resulta ventajoso durante el alineamiento de las antenas. Además, cuando la señal presenta múltiples caminos y un comportamiento dispersivo las antenas (transmisora y receptora) muestran un mejor rendimiento respecto a la orientación, sin embargo, su principal limitación es el corto rango de alcance. Los sistemas de identificación suelen utilizar polarización circular en la antena lectora para evitar pérdidas en el rango de lectura y un exacto alineamiento de antenas [26].



(a) Polarización circular



(b) Polarización lineal

Figura A.16. Formas geométricas de polarización del campo eléctrico [26].

1.8.4 Comportamiento de los Materiales Frente a Ondas Electromagnéticas

Un objeto tiene un cierto comportamiento, absorbente, reflexivo o atenuante cuando la señal es dirigida hacia el, esto sugiere un análisis de la estructura y composición de los objetos para percibir el

comportamiento de la señal electromagnética. Por lo tanto, es conveniente conocer el comportamiento de las ondas de radio alrededor de la etiqueta y como los diferentes materiales afectan la señal.

- ❖ **Metal:** El efecto provocado por los metales es una situación compleja, básicamente, por la naturaleza de su composición y su estructura. Una vez el *tag* está dispuesto en la superficie metálica, la señal procedente de la antena lectora experimentará pérdidas de energía en la antena del transpondedor como consecuencia del fenómeno de reflexión. Además, las propiedades del metal ocasionan desintonización de la antena, modificando la frecuencia propia de resonancia. Actualmente existen etiquetas diseñadas para incorporarlas directamente en el material metálico y obviar los inconvenientes originados. Finalmente se ha convertido en un reto etiquetar materiales debido al comportamiento de las ondas de RF [1][4].
- ❖ **Líquidos:** La señal de radio es absorbida por elementos líquidos conductivos (jabón, agua, aceite) lo que resulta en una reducción de la energía en la antena del transpondedor, indispensable para la transmisión de datos entre la etiqueta y el lector. En un sistema RFID, el lector está diseñado para transmitir un nivel de potencia mayor respecto al transpondedor, esto significa que el rango de cobertura del lector alcanza la etiqueta, sin embargo, no necesariamente alcanzar el circuito lector, ya que este depende de la energía obtenida del lector de RF para su operación [1][4].

Afortunadamente los efectos producidos metales en la banda de HF (3-30 MHz), no son muy apreciables (comparado con UHF), principalmente por la frecuencia de operación y la longitud de onda. La onda reflejada depende de ciertas propiedades como su composición, tamaño y la estructura del material. Características de la señal como la longitud de onda y la polarización influyen también en el proceso de reflexión. El análisis de la longitud de onda respecto al tamaño del objeto permite describir el fenómeno de reflexión en los materiales cuando una onda electromagnética está próxima al objeto. El rango Rayleigh y el rango Óptimo explican el proceso de reflexión en objetos:

- ❖ **Rango Rayleigh:** Se produce cuando el tamaño del objeto es inferior a la longitud de onda de operación del sistema. En este caso el fenómeno de reflexión es despreciable en ondas electromagnéticas.
- ❖ **Rango Óptimo:** En este caso la longitud de onda es inferior al tamaño del objeto. Aquí la onda reflejada es afecta por características como el tamaño la posición, la forma, etc.

Anexo B: Manual de Simulación

B.1 MANUAL DE SIMULACIÓN WQSIM V.4.3

Esta sección plantea una guía rápida con el propósito de explicar los conceptos utilizados en el desarrollo de la simulación con el IISIM y con WinIQSIM. La información presentada es un resumen obtenido de los manuales originales de cada herramienta.

B.1.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE HARDWARE Y SOFTWARE DEL WIN IQSIM (WQSIM)

Para ejecutar el simulador WinIQSIM se requieren las siguientes características *hardware* y *software*:

Características Físicas		Características Software	
Procesador	133 MHz	Sistema Operativo	Windows 95/98/Me/XP
Disco Duro	Espacio libre 20 MByte		
Monitor	SVGA (640x480)		
M. Ram	64 Mbyte		

Tabla B.1. Requisitos mínimos para la ejecución del programa de simulación.

B.1.2 SIMULACIÓN CON WINIQSIM

El simulador consiste de una herramienta software que incorpora los recursos necesarios para el análisis, planeación y evaluación de sistemas de transmisión digital. El ambiente interactivo de la herramienta es propicio para la simulación de señales de RF en un canal inalámbrico, bajo un escenario afectado por distorsiones, ruido y señales degenerativas. En general, el diseño modular de la interfaz gráfica permite manipular el software de forma interactiva y comprensible, sin excesivas complicaciones.

El software suministra resultados gráficos, que permiten el análisis y evaluación de un sistema digital, utilizando diversos esquemas de modulación (FSK, PSK, QAM, ASK) predefinidos por el software. El análisis gráfico generado por la herramienta se basa en diagramas digitales, tales como, diagrama de ojo, diagrama de constelación, magnitud espectral, y en general diagramas en función del tiempo en fase y en cuadratura. Sin embargo, para desarrollar la simulación se utilizan algunos diagramas que proporciona la herramienta, ya que está en capacidad de simular otros sistemas de comunicaciones como IS-95 con múltiple portadoras.

El escenario establecido para la configuración de la herramienta de simulación cuando la señal recorre el canal de comunicaciones, se expone a continuación. Una vez ejecutado el programa WIQSIM V.4.3, aparecerá el entorno gráfico que corresponde al panel principal junto con el diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones digital ilustrado en la figura B.1.

B1.2.1 Instalación del Simulador

La instalación del programa es relativamente simple. Se ejecuta el archivo WinQSIM, y se elige la ruta o dirección donde sea deseado instalar los archivos propios del software.

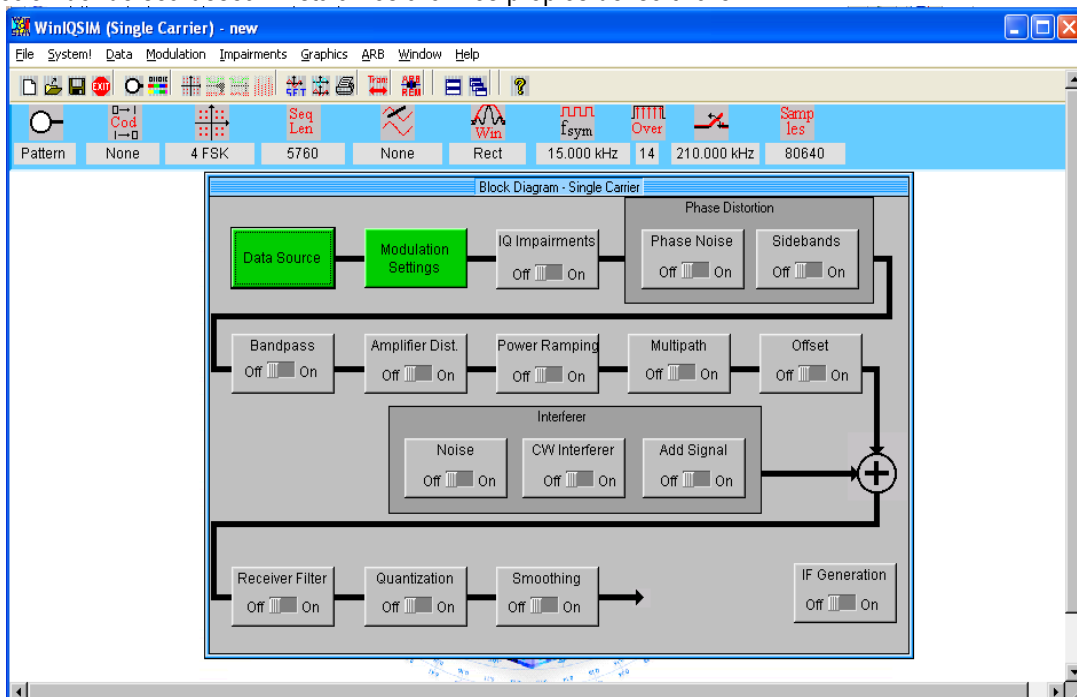


Figura B.1. Panel principal del software de simulación.

Cada bloque del panel principal constituye una actividad o función del sistema general de comunicación. Así, activando los bloques (**Off**) correspondientes a **Multipath** (Multitrayecto) y **Phase Noise** (Ruido Fase), la señal de información es afectada por ruido multitrayecto y ruido de fase, respectivamente. Una vez realizada la activación de cada bloque del panel principal tomarán un color verde como se aprecia en la figura B.2.

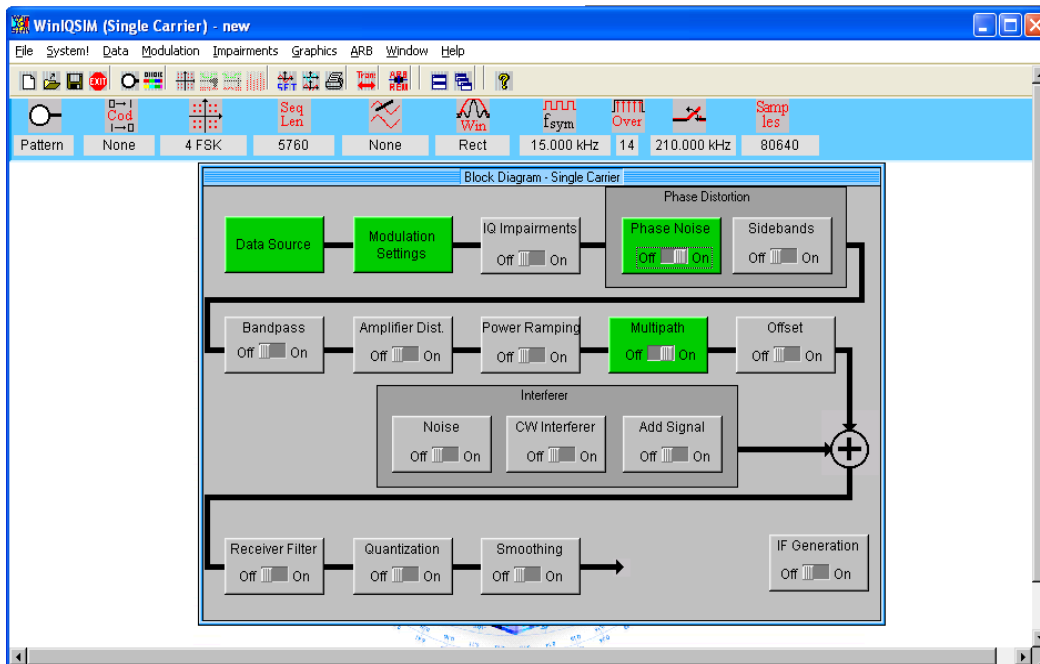


Figura B.2. Activación de los bloques *Phase Noise* y *Multipath* en el software

B.1.2.1 Configuración del Panel Fuente de Datos

La activación del bloque **Data Source** (Fuente de Datos) en el panel principal, presenta una ventana de configuración donde se establecen las características de la señal a transmitir. Dentro de la ventana **Data Source** en el campo **Pattern** (Patrón) se crea la señal digital o la secuencia binaria de información a transmitir.

La señal de información digital se obtiene a partir de las especificaciones técnicas suministradas por los estándares de la EPC e ISO, los cuales describen el proceso de comunicación entre el lector y la etiqueta. En el anexo C se realizó una descripción básica de algunos estándares típicos utilizados para el desarrollo de la simulación.

En este contexto, acorde al reporte técnico propuesto por la EPC Gen2 (véase numeral 2.7.1.2), la secuencia de información binaria a transmitir a través del canal inalámbrico es la siguiente.

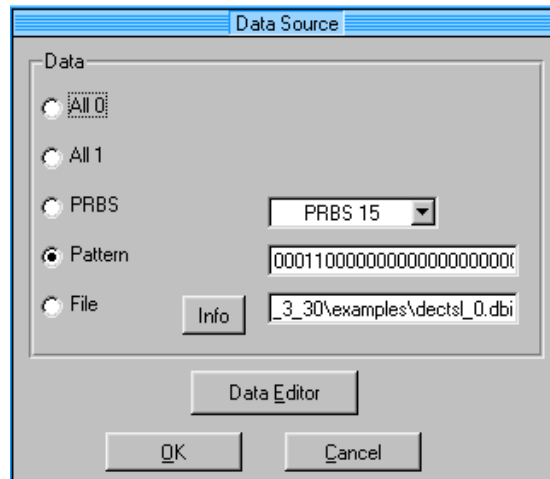


Figura B.3. Ventana de configuración de la señal binaria.

Si se elige la opción **All 0** en la ventana **Data Source**, la fuente de datos consiste de una secuencia de cero bits, por ejemplo, una secuencia cuya longitud es determinada por 5 ceros binarios, se representa como $F: \{0, 0, 0, 0, 0\}$. Si se selecciona la opción **All 1** se envían una cadena de unos binarios y la opción **PRBS** en el panel **Data Source** genera una secuencia pseudo aleatoria binaria; al desplegar el menú **PRBS** ubicado a la derecha del botón (*radiobutton*), diversas alternativas son establecidas, por ejemplo, **PRBS 9** comprende una secuencia aleatoria de unos y ceros de 9 bits de longitud (figura B.3).

En el campo **Pattern**, se introduce la información binaria de acuerdo al estándar establecido. Una vez seleccionado el botón **Pattern**, aparecerá el editor donde se ingresará la secuencia digital de bits de información. La longitud máxima que soporta este campo es un patrón de 79 bits; caracteres diferentes a 1 o 0 binario se ignoran. Para este ejemplo, se establece el siguiente patrón de información:

0001100000000000000000001111000010001010010001001¹

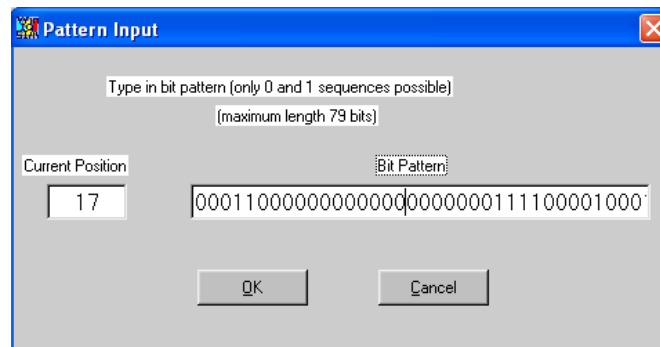


Figura B.4. Editor del patrón de información.

En el editor **Pattern Input**, el subcampo **Current Position** indica la posición actual de ese bit en la secuencia de información (**Bit Pattern**). De esta forma en la figura B.4, el valor del **Current Position** (17) corresponde a la posición del bit 0.

¹ Los unos y ceros que constituyen el paquete de información digital, surgen de una serie de comandos y peticiones que el lector envía hacia la etiqueta con base en el estándar EPC Gen2 que representan el modo de comunicación etiqueta – lector.

B.1.2.2 Configuración del Panel de Modulación

Establecido el patrón de datos a transmitir, en el panel **Modulation** (Modulación) se configuran algunas propiedades de la señal, como el esquema de modulación, el formato de codificación, muestreo, función rectangular, función filtro, etc. Una vez obtenidos los resultados, se modificarán algunas de las características de la señal con el fin de analizar y comparar el comportamiento en cada situación. La figura B.5 ilustra un ejemplo, donde la señal se modula bajo el esquema de modulación BPSK.

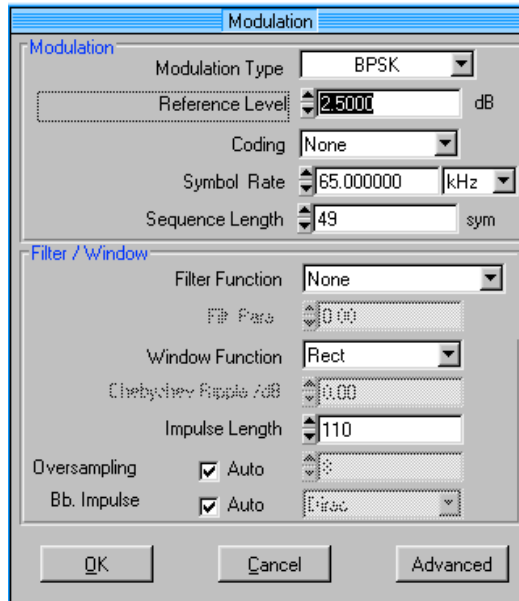


Figura B.5. Configuración de los parámetros de la señal I en el panel Modulation con esquema BPSK.

Cada campo del panel **Modulation** se describe brevemente a continuación:

- ❖ **Modulation Type (Tipo de Modulación):** Para este ejemplo, se ajustó el formato de modulación en BPSK. La herramienta brinda diversos formatos de modulación, FSK, PSK, QAM, QPSK, BPSK, GTFM para fijarlo en el transmisor como lo muestra la figura B.6. Además, el *software* permite definir nuevos formatos de modulación como ASK en la opción **User**.

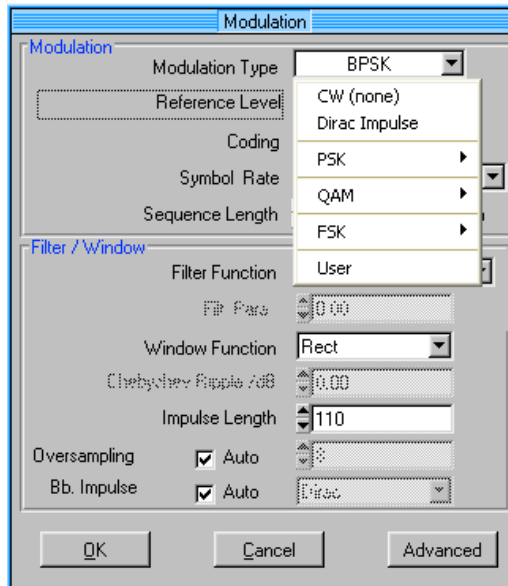


Figura B.6. Esquemas de modulación permitidos por el Software.

- ❖ **FSK Index (Índice de Modulación FSK):** El índice de modulación se define solo para dos formatos: BFSK y 4FSK. El simulador permite seleccionar un índice de modulación entre 0.1 y 12. Si se incrementa el valor de la desviación de frecuencia es necesario aumentar el índice de modulación; el índice y la desviación de frecuencia Δf se relacionan de manera directa. Cuando se incrementa el índice los símbolos de información tienden a separarse entre sí y se aumenta el ancho de banda.
- ❖ **Coding (Codificación):** Este submenú permite elegir el tipo de codificación de canal para la transmisión de la información. La herramienta dispone de varios códigos. Se resalta el código Gray, Diferencial, entre otros.
- ❖ **Symbol Rate (Tasa de Símbolo):** Cantidad de símbolos transmitidos por segundo. La tasa de símbolo resulta del cociente de la tasa de bit y el nivel de modulación. Si un símbolo está representado por un bit, entonces los bits por segundo (bps) son equivalente a los baudios; esto se cumple cuando utilizamos la técnica de modulación binarias. En el software, el campo **Symbol Rate** acepta valores entre 10 símbolos / s y 100000000 símbolos / s. El ciclo / s, el baudio o el Hz corresponden a las unidades característica de la tasa de símbolo. Un aumento de la tasa implica un aumento del ancho de banda.
- ❖ **Sequence Length (Longitud de Secuencia):** El campo **Length Sequence** establece la longitud de los símbolos de datos a transmitir de la señal I/Q (Fase/Cuadratura). El software permite fijar valores entre 1 y 4 millones de símbolos máximo en el campo **Sequence Length**. Además, la herramienta define una tasa máxima de muestreo próxima a los 4 millones de muestras para cada una de las señales. Cuando se elige una **Sequence Length** mayor a la secuencia de datos transmitida, el programa repite periódicamente la misma secuencia de información hasta completar la longitud.
- ❖ **Filter Function (Función del Filtro):** Un pulso rectangular en el dominio del tiempo, asocia un espectro infinito en frecuencia, lo que supone una limitación del ancho de banda durante la transmisión de la señal rectangular. El inevitable comportamiento del canal de comunicaciones como filtro (limita el ancho de banda) conlleva a la superposición de las “colas” adyacentes entre sí provocando interferencia entre Símbolos (ISI). Un compromiso para solucionar o reducir el problema

de ISI es utilizando filtros digitales cuya función de transferencia cumplan el criterio de Nyquist, el cual establece que la frecuencia de corte debe ser la mitad de la velocidad de transmisión en bit por segundo [29][28]. La herramienta brinda la elección de varias funciones filtro como: caída senoidal, rectangular, raíz cuadrada, etc.

❖ **Roll Off:** El factor de Roll Off comprende los valores entre [0,1]. El parámetro está diseñado para controlar el ancho de banda y la respuesta del filtro de coseno alzado. A medida que el factor es próximo a cero se tiende a construir un filtro ideal, mientras que valores próximos a uno tienen una respuesta en la curva más suave como se muestra en la figura B.7 [29]. En general los valores típicos son del orden de los 0.35 y 0.7. Este parámetro se activa cuando en el menú **Filter Function** se selecciona el filtro **Root Cosine**.

❖ **Windows Function (Función Ventana):** El software permite elegir funciones ventana para analizar las frecuencias presentes en una señal dentro de un intervalo y no en todo su espectro (señal completa). La elección de la función ventana busca optimizar la resolución de una señal en el dominio de la frecuencia. Para esto, se procede a realizar el “ventanamiento” de la señal, que consiste en aplicar la función ventana a cierto tramo de la señal. La herramienta adopta varios tipos función: ventana rectangular, función Haming, función Hanning. La elección de la ventana óptima es función del tipo de señal que se desea analizar.

Las ventanas Hamming y Hanning producen un menor efecto de distribución espectral, lo que considera una mejor resolución espectral (*leakage*), aportando ventajas respecto al espectro de la función rectangular o uniforme [30]. Matemáticamente, la ventana rectangular se define como aquella función constante que toma el valor de uno durante todo el intervalo de duración de la ventana y cero en cualquier otro caso. Conforme a la simulación se aplicarán las ventanas Hanning y rectangular serán aplicadas.

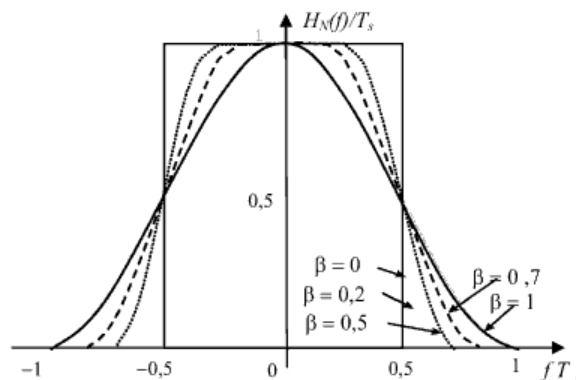


Figura B7. Respuesta en el tiempo y en frecuencia del filtro coseno alzado para diversos valores de Roll Off

El *leakage* básicamente es un conjunto de lóbulos laterales del espectro que provocan un incremento en las líneas espectrales. Con el propósito de reducir este efecto y atenuar (suavizar) la señal en sus bordes es útil el uso de la ventana Hanning (Hann), cuyo espectro comprende una cantidad mínima de lóbulos laterales y la base de su espectro es relativamente angosta respecto a la base de la ventana rectangular [30].

❖ **Pulse Length (Longitud del Pulso):** La longitud de pulso es un factor que determina la exactitud de la modulación y el número de periodos de símbolo. Por consiguiente, el **Pulse Length** definirá el tamaño de la función ventana y su resolución. Si se requieren señales exactas es recomendable

seleccionar una longitud de pulso mayor a 20 períodos de símbolo. El software permite seleccionar en el campo **Pulse Length** entre 1 y 128 período de símbolo.

- ❖ **Oversampling (Sobremuestreo):** El parámetro *Oversampling* determina el número de muestras que representarán a cada símbolo. La señal periódica es muestreada a una frecuencia superior a la frecuencia de Nyquist ² lo que supone un efecto de muestreo con mayor frecuencia (velocidad) y en consecuencia, una distancia de separación más amplia entre los espectros de la señal, reduciendo notablemente el fenómeno de aliasing y evitando el diseño de filtros altamente selectivos muy complejos en recepción para la reconstrucción aproximada de la forma de onda original.

La herramienta permite resolver automáticamente el factor de sobremuestreo para simplificar la elección del factor de sobremuestreo. En la ventana principal del sistema de bloques se oprime **Modulation Setting** y en la subventana **Modulation** se activa la casilla **oversampling**, así, el simulador fija automáticamente un factor óptimo de sobremuestreo (**oversampling**) como lo muestra la figura B.6. Si se requiere un valor ingresado por el usuario es preciso desactivar la casilla “**Oversampling**” y en el mismo campo fijar el valor del factor de sobremuestreo. Esto es de interés particular cuando es necesario utilizar modulación FSK; de acuerdo al valor seleccionado del índice de modulación es justo utilizar un factor de sobremuestreo alto para evitar el truncamiento del espectro de la señal modulada.

- ❖ **Baseband Pulse (Pulso de Banda Base):** El programa de simulación permite seleccionar entre dos alternativas: un pulso Dirac y un pulso rectangular. En modo automático el software seleccionará cualquiera de los dos pulsos de manera que se ajusten a los parámetros establecidos de la ventana de **Modulation**. Estos pulsos son fundamentales para evitar la ISI (Interferencia entre Símbolo), cuando el ancho de banda de la señal transmitida es mayor que el ancho de banda del canal limitado, debido al incremento de la tasa de modulación, se introduce distorsión (ISI) en la señal de transmisión. En esencia, elegir la forma de pulso permite que la señal se ajuste a la banda de frecuencia del canal limitado para mantener un control sobre la ISI. Quien determina finalmente el espectro de la señal a transmitir es la forma del pulso del filtro. Típicamente los símbolos transmitidos se representan como una secuencia en el tiempo de pulsos delta dirac.
- ❖ **Reference Level (Nivel de Referencia):** Cuando se fija la modulación, tanto para PSK y QAM, en el panel de modulación (**Modulation**), surge un parámetro que representa el nivel máximo de referencia de la señal. Varía entre un -10 dB (mínimo) y 3dB (máximo). Cuando se modifica este parámetro el valor de las componentes de fase (I) y cuadratura (Q) se comprime o extiende en un factor de $10^{\frac{\text{nivelreferencia}}{20}}$.

B.1.2.3 Formato de Gráficos

Definidos los parámetros de configuración en el simulador, los principales formatos gráficos permitidos por la herramienta y utilizados en el desarrollo de la simulación se muestran en la tabla B.2.

El panel **Graphic Setting** comprende dos ventanas, **Format Parameter** y **Scaling**. La primera ventana permite configurar algunos parámetros de la estructura de la gráfica. La ventana **Scaling** (escala) permite fijar los valores relativos a los ejes, abscisa y ordenada, o cambiar el tamaño de la gráfica de forma

² El teorema de muestreo enuncia que una señal continua puede ser correctamente reconstruida a partir de las muestras instantáneas discretas utilizando una frecuencia de al menos dos veces la frecuencia más alta de la forma de onda denominada frecuencia Nyquist. Si se cumple esta condición el fenómeno de aliasing, solapamiento entre espectros repetitivos de la señal se reduce.

manual ajustando los valores **Min y Max** como se aprecia en la figura B.8. En otro caso, la herramienta de simulación dispone de la opción **Auto** (Automático) con el fin de que el software determine la escala óptima para visualizar cada una de las curvas, es decir, el software selecciona el valor de los ejes automáticamente, mientras que el rango de valores fijo **Min y Max** no tiene efecto alguno.

Algunos campos de la ventana **Scaling** no son accesibles y se muestran en color gris. Según el gráfico seleccionado en el campo **Format (formato)**, la ventana **Scaling** permitirá fijar valores en cada uno de los campos. Así, la curva $i(t)$, $q(t)$ activa los campos **I, Q, t/Tsym** como se ilustra en la figura B.8, mientras los otros campos no permiten ser modificados para este formato gráfico. Si se despliega la gráfica **Eye Diagram f** únicamente el campo **f y t/Tsym** estará disponible para alterar los valores.

La tabla B.2 describe los principales gráficos utilizados para el análisis de la comunicación entre el lector – etiqueta y etiqueta- lector. Es preciso recordar que los resultados gráficos se obtuvieron con base en la secuencia de información binaria introducida en el campo **Pattern**.

B.1.2.3.1 Componentes en Fase I y en Cuadratura Q

La figura B.9, muestra las componentes en fase $i(t)$ (**Inphase, I**) y en cuadratura $q(t)$ (**Quadrature, Q**) de una señal $v(t)$ (ecuación B.1), en dos gráficos independientes en función del tiempo. Las unidades de los ejes están normalizadas respecto al periodo de símbolo **Tsym**. La componente $q(t)$ consiste de una línea horizontal en torno a cero ya que se trata de una modulación binaria en fase. La componente $i(t)$ muestra el patrón binario (unos y ceros) transmitidos desde la fuente.

La frecuencia y el tiempo se representan como w_o y t respectivamente en la ecuación B.1.

$$v(t) = i(t) \cos(w_o t) + q(t) \text{sen}(w_o t) \quad (\text{B.1})$$

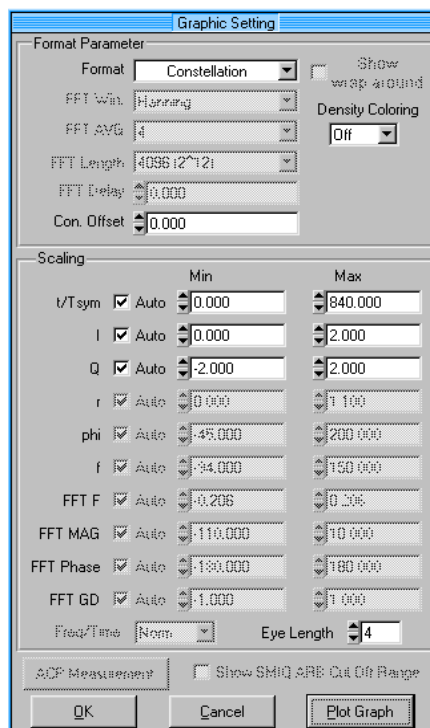


Figura B.8. Panel de configuración gráficos.

Formato Gráfico	Descripción
$i(t), q(t)$	Despliega las componentes $i(t)$ en fase y cuadratura $q(t)$ con respecto al tiempo.
$r(t), f(t)$	Despliega la magnitud de la señal $r(t)$ y la frecuencia instantánea $f(t)$ respecto al tiempo.
Eye Diagram i	Despliega el Diagrama de Ojos de la componente $i(t)$ con una longitud de Ojo seleccionable.
Eye Diagram q	Despliega el Diagrama de Ojos de la componente $q(t)$ con una longitud de Ojo seleccionable.
Eye Diagram f	El modelo o patrón de Ojo para la frecuencia instantánea $f(t)$. Este diagrama es interesante para un sistema que emplee un formato de modulación FSK.
Constellation	Despliega el diagrama de Constelación de las componentes $q(t)$ - $i(t)$. Sin embargo las gráficas son mostradas en el periodo de muestreo ideal.
FFT MAG	Despliega la magnitud espectral de la señal I/Q versus la frecuencia. Una vez elegida la gráfica FFT MAG los campos deshabilitados (FFT Length, FFT Delay, FFT AVG) de la figura B.8 se activan para fijar la configuración óptima.

Tabla B.2. Descripción del formato Gráfico del Programa Simulación.

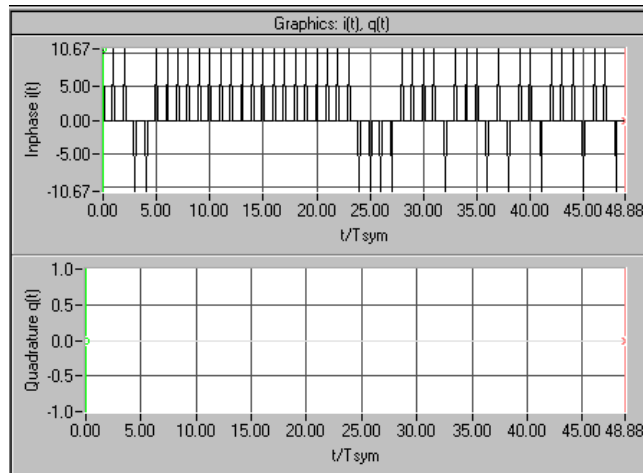


Figura B.9. Curvas en fase y en cuadratura en función del tiempo.

B.1.2.3.2 Diagrama de ojo en I

La figura B.11, representa el patrón de ojo para la componente en fase I. La componente está dividida en sucesivos y múltiples segmentos de ojo consecuencia de la superposición de unos y ceros de información [11]. En efecto, el diagrama de ojo es una herramienta útil para analizar cualitativamente la distorsión e Interferencia entre símbolo (ISI) presente en la señal de información a través del canal, con base en la abertura vertical y horizontal del ojo en un instante. Así, la apertura del ojo implica una señal ligeramente afectada por señales degenerativas y puede ser identificada e interpretada claramente en el receptor. Mientras que un ojo con escaso margen de abertura (casi cerrado) los símbolos de información presentarán mayor ruido, interferencia e ISI lo que significa que la señal tiene que ser corregida antes del proceso de extracción de la señal mensaje en el receptor para evitar errores de información.

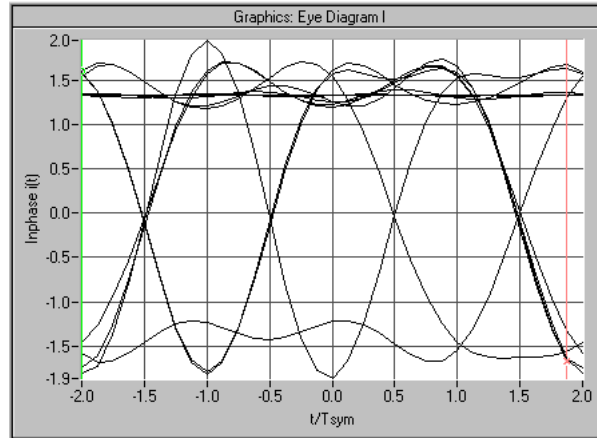


Figura B.11. Diagrama de ojo para la componente en I utilizando modulación BPSK y con filtro de coseno alzado con factor de Roll Off de 0.6.

B.1.2.3.3 Diagrama de Ojo para Q

En la figura B.12, se muestra el patrón de ojo para la componente en cuadratura $q(t)$. Sin embargo, el diagrama no es útil, ya que no existe una componente imaginaria o en cuadratura para un esquema de modulación BPSK; esto es corroborado por la línea (color gris) sobre el eje horizontal del tiempo (t/T_{sym}). En la herramienta figura B.8, el campo **Eye lenght** (longitud del ojo) permite ser modificado entre 1 y 10 períodos de símbolo (**Tsym**). En esencia, el proceso construcción de un patrón de ojo en Q, es un equivalente al descrito para la componente I. El simulador proporciona la opción de seleccionar una sección o tramo de la señal I/Q a través del panel **Graphic Setting** en la figura B.8. Para este efecto, es necesario desactivar la opción **Auto** y fijar el valor deseado en los campos de datos **Max** y **Min** de la ventana **Scaling**. Por simplicidad durante el proceso de simulación se utilizará la opción **Auto**, para que la herramienta muestre los gráficos apropiadamente.

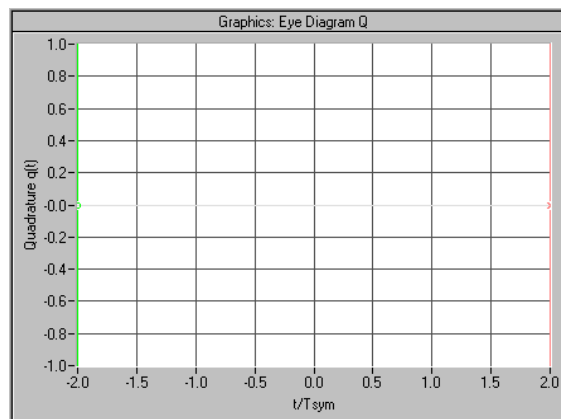


Figura B.12. Diagrama de ojo en Q modulada bajo BPSK, sin función filtro.

B.1.2.3.4 Diagrama de Ojo para F

El patrón de ojo es particularmente útil para evaluar la calidad de la señal bajo esquemas de modulación FSK.

B.1.2.3.5 Diagrama de constelación

El patrón de ojo y constelación son métodos subjetivos utilizados para analizar los problemas que afectan la señal útil al transcurrir por un sistema de comunicaciones y el medio de transmisión; describen desde una perspectiva cualitativa la señal digital en el dominio del tiempo.

El diagrama de constelación es una representación gráfica del estado de los símbolos de modulación en términos de su amplitud y fase (ángulo) para un esquema; por lo general, el eje horizontal representa los símbolos que están en fase y el eje vertical la componente de cuadratura. En el caso de un medio de transmisión ideal, los símbolos del alfabeto de la constelación BPSK exhiben un patrón perfecto (puntos bien definidos y concentrados) como se muestra en la figura B.14; en el receptor los símbolos son interpretados correctamente por el demodulador.

En el diagrama se identifican las desviaciones o problemas que surgen en la señal (puntos no muy bien definidos en la constelación) y se comparan respecto a las posiciones de los símbolos en el patrón ideal de constelación para un esquema de modulación [31]. Cuando el canal no es ideal, es decir, presenta ruido e interferencias, el diagrama muestra dispersiones y desplazamientos de los símbolos a lo largo de la constelación, lo que puede ocasionar en el demodulador la no correcta interpretación.

Generando el diagrama es posible desplazarse a través de los dos símbolos que representan la modulación PSK binaria, utilizando las teclas de movimiento hacia la derecha, arriba, abajo, izquierda del teclado. Con la tecla **Home Key** del teclado, el cursor es ubicado en el punto inicial del diagrama. Análogamente, la tecla **End Key** ubica el cursor en la posición final del símbolo.

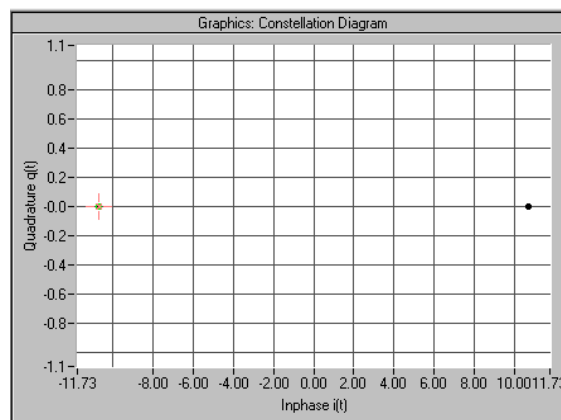


Figura B.14. Diagrama de Constelación para las componentes en fase y en cuadratura bajo BPSK y sin filtro.

B.1.2.3.6 Magnitud espectral de la Señal I/Q en frecuencia

El espectro de la señal se calcula mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT)³. El cálculo del espectro se realiza sobre un segmento de la señal en el dominio del tiempo. El espectro del segmento se ve afectado por líneas espectrales espurias al calcular la transformada rápida de Fourier. Para reducir y suavizar este fenómeno, es útil el uso de las ventanas de Hann, Hamming, rectangular, para suavizar el espectro en los bordes o en sus lóbulos laterales y así obtener una mejor resolución.

³Para determinar el espectro de la señal el software de simulación utiliza la transformada rápida de Fourier (FFT), sin embargo, el presente trabajo de grado no analizará este tema desde ninguna perspectiva ya que no viene al caso.

De acuerdo al esquema de modulación elegido, el espectro resultante asume diversas características, es decir, espectros más irregulares y ásperos. La FFT promedio determina el número de subespectros para ser promediados.; el espectro desplegado se promedia sobre un número de espectros obtenidos con la FFT para segmentos consecutivos de la señal en el dominio del tiempo

Habilitando la opción **Auto** en el software de simulación es posible calcular el promedio óptimo, de modo que todos los valores de la señal **I/Q** serán utilizados para determinar el espectro. La figura B.15, muestra la magnitud del espectro respecto a la frecuencia para una señal modulada BPSK.

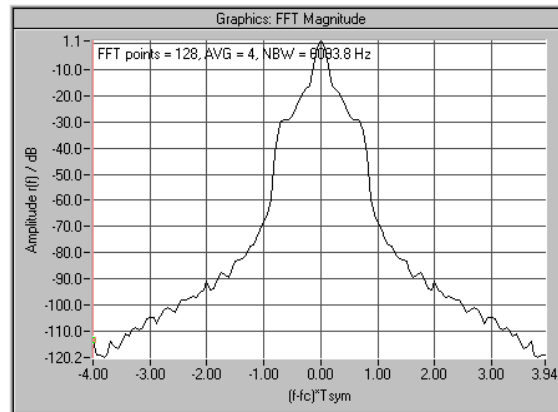


Figura B.15. Diagrama de magnitud espectral

B.1.2.4 Ruido e Interferencia

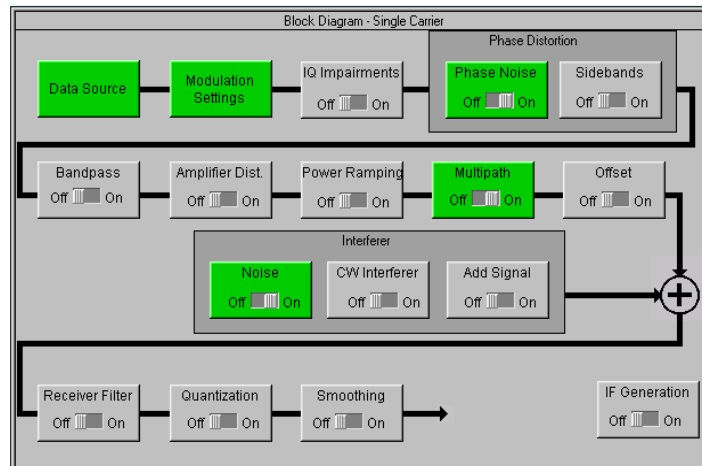


Figura B.16. Panel modular de comunicación, activando el bloque ruido blanco, propagación multirrayecto y ruido de fase.

La herramienta permite evaluar el comportamiento de la señal por el canal cuando es afectado por ruido blanco gaussiano, propagación multirrayecto y distorsión por fase. La figura B.16 muestra diagrama en bloques del panel de comunicación cuando está activo (**On**) la **Phase Distorsion** (Distorsión de Fase), **Noise** (Ruido) y **Multipath** (Multirrayecto).

B.1.2.4.1 Multirrayecto: Consiste en la propagación de una onda a través de varias trayectorias, producto del fenómeno de difracción, refracción y reflexión. En consecuencia, las ondas sucesivas llegan

al receptor desfasadas y con diferentes direcciones, lo que contribuye a la superposición o anulación de la señal principal [11]. Este tipo de desvanecimiento en comunicaciones móviles obedece a la naturaleza del terreno, en general zonas montañosas, obstáculos y edificaciones, etc.

Es posible definir y simular hasta seis caminos multitrayecto en la herramienta. Para habilitar el bloque multitrayecto se coloca el *switch* en **On** (encendido) y se configuran las variables que aparecen en la siguiente ventana. A continuación se explican cada una de ellas:

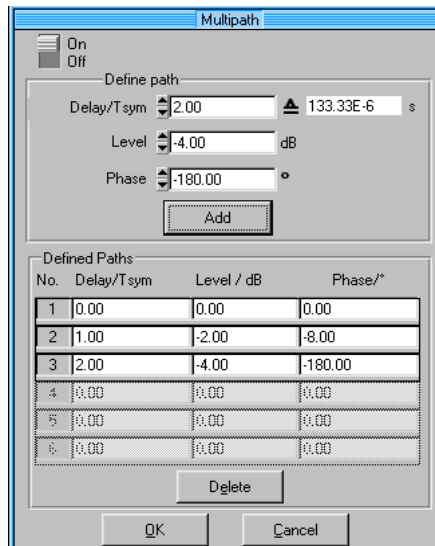


Figura B.17. Ventana de configuración de cada trayectoria por interferencia multitrayecto.

❖ **Define Path:** Esta ventana permite configurar una nueva trayectoria de propagación. La ventana esta formada por los campos **Delay**, **Level** y **Phase** (figura B.17), los cuales pueden ser modificados. A continuación se explican cada uno de los campos:

- **Delay (Retardo):** Este campo permite configurar la diferencia de retardo de la trayectoria. Un valor entre 0 y 32 períodos de símbolos (**Tsym**) puede ser introducido en el campo de datos; usando la tasa de símbolo actual el simulador convierte este valor a un retardo absoluto y lo visualiza en unidades de tiempo (segundos).
- **Level (Amplitud):** El campo **Level** determina el nivel de la trayectoria en unidades de dB. Es posible fijar el rango entre -80 dB y 0dB.
- **Phase (Fase):** El cambio de fase de la trayectoria de la onda permite ser variado entre -180° y 180°.

La trayectoria No1 en la figura corresponde al rayo directo o de referencia; se caracteriza por un retardo, amplitud y fase equivalente a cero. En la simulación se utilizan dos trayectorias multitrayecto.

1.2.4.2 Panel de interferencia y ruido

Uno de los objetivos del trabajo de grado, es observar la señal en el medio afectado por señales degenerativas principalmente por ruido e interferencia. La figura B.18, muestra el panel **Interferer (panel de Interferencias)** donde se introducen y se configuran tres tipos de señales aditivas a la señal útil.

Cuando se activa (**On**) el bloque **Noise** cada uno de las señales degenerativas (**Noise**, **CW Interferir**, **Add Signal**) de la ventana **Interfer** se muestran en la figura B.18:

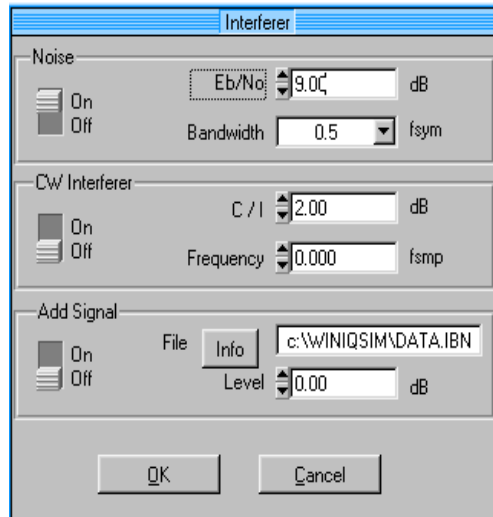


Figura B.18. Panel de Interferencia.

- ❖ **Noise:** Para simular la señal en condiciones reales a través del canal, el ruido puede ser adicionado a la señal de información. En general, la proporción entre la energía de bit de información recibido y el ruido promedio (**E_b/N_0**) están relacionado con la tasa de error de bit del sistema digital (BER). La razón energía de bit a densidad espectral de ruido **E_b/N_0** es una medida fundamental para especificar el desempeño o rendimiento de un sistema de comunicaciones digitales respecto al ruido [11]. De este modo, el BER frente al **E_b/N_0** suele representar típicamente el rendimiento del sistema digital en un canal lineal contaminado, con base en un tipo específico de modulación.

La razón energía a bit (**E_b/N_0**) se define en la herramienta de simulación en el rango de -3dB a 80dB, en el panel **Interfer** de acuerdo a la figura B.18. Si la magnitud de la tasa **E_b/N_0** es de -4 dB significa que el nivel de señal está 4 dB por debajo del nivel de ruido. En la misma figura, el campo **Bandwidth** establece el ancho de banda del receptor y es normalizado a la frecuencia de símbolo **f_{symbol}** . Ese último parámetro definido como la cantidad de muestras por segundos, donde una muestra comprende una porción de la información. El rango de valores de este campo puede ajustarse en el software a 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 y Full.

- ❖ **CW Interferer:** El software permite adicionar al canal inalámbrico un tipo de interferencia conocida como **CW Interferir**; consiste en una interferencia de tipo sinusoidal (interferencia de onda continua), la cual se presenta cuando están presentes señales interferentes en la banda de frecuencias de la señal útil. Dos parámetros son configurados en el panel **CW Interferer**, la relación portadora a interferencia (**C/I**) y la frecuencia. La relación portadora a interferencia (**C/I**), en radiocomunicaciones es útil para evaluar la interferencia de un canal de comunicación con relación a la señal deseada en el receptor [11]. Aumentar el nivel de la **C/I** implica disminuir el valor de la **BER** y mejorar el desempeño del canal, se expresa en general en unidades de dB. Esta relación se escoge en el software entre -2dB y -80dB. Este parámetro no se utilizará para efectos de simulación.

B.1.3 MANUAL INSTRUCTIVO DEL IISM

El IISM es una herramienta software propicia para modelar sistemas de identificación inductivos, valiosa en aquellos escenarios RFID donde el transpondedor es de tipo pasivo y operan en la banda de LF o HF. IISM predice rangos de lectura, evalúa los efectos ocasionados por el ruido artificial sobre la señal mensaje, determina la potencia de salida, calcula el campo magnético mínimo y la corriente de salida del transmisor, esto con el fin de calcular la distancia máxima de activación de una etiqueta dentro del campo de interrogación del lector, con base en las características físicas de los lectores, antenas y etiquetas que constituyen el sistema de identificación por RF inductivo.

La herramienta presenta un modelo matemático que preside el funcionamiento de un sistema inductivo sujeto a las regulaciones EN 300 330 de la ETSI, el reporte técnico suministrado por la ERC⁴ y el ISO 15693, los cuales describen los parámetros de la interfaz radio como son: la frecuencia portadora, métodos de modulación, ancho de banda, ruido externo generado, y señales interferentes sobre la distancia de lectura.

La herramienta de simulación es de distribución libre, esto significa, que el código fuente desarrollado e incluido por el autor (NEDAP N.V., Groenlo) es manipulable con el fin de evaluarlo y adicionarle mejoras para el público en general.

B.1.4 INSTALACIÓN DEL IISM

El archivo general en formato comprimido (.rar), contiene dos archivos de Microsoft Office Word, un archivo ejecutable (.exe) y el código fuente del programa escrito en lenguaje C. Los dos archivos de Office manejados en este estudio *manual.doc* define los parámetros requeridos por el simulador y es una guía que describe el funcionamiento de la herramienta. Por otra parte, el archivo *model.doc* expone el modelo matemático para calcular el rango de activación máximo de una etiqueta RFID. La distancia de lectura es función de los parámetros de la etiqueta, del interrogador, de las antenas y del ruido externo presente en el canal. Finalmente, el archivo ejecutable con formato .exe es el encargado de realizar los cálculos y procedimientos conforme a los parámetros de configuración ingresados por el usuario. Cuando se ejecuta aparece una consola de símbolo del sistema (DOS o Sistema Operativo de Disco); los datos ingresados y los resultados del Sistema de Simulación de Sistemas de Identificación Inductivos (IISM) son visualizados o desplegados bajo la misma consola.

B.1.4.1 Requerimientos Mínimos de Hardware y Software del IISM

La instalación de la herramienta de simulación IISM versión 1.1 requiere las siguientes características mínimas de *hardware* y *software*:

- ❖ Intel Pentium II, o compatible (225 MHz).
- ❖ 128 MB RAM.
- ❖ 200 MB de espacio en el disco duro.
- ❖ Resolución de pantalla: 1024 X 768 o la resolución más bajo, 256 o más colores.

⁴ European Radiocommunications Comité- Comité Europeo de Radiocomunicaciones; Modelo de Propagación y Rango de Interferencia para Sistemas Inductivos en la Banda de 10KHz y 30KHz

- ❖ Sistema Operativo: *Windows 2000* (*Windows XP* son soportados pero no requeridoso bajo una consola de símbolo de sistema de *Windows XP* o 98).
- ❖ Un programa de hoja de cálculo como *Microsoft Office Excel (2003)* para cargar y visualizar archivos con formato *.CSV*. Los archivos *.CSV* (Valores Separados por Comas, en inglés, *Comma Separated Value*) son documento simples principalmente utilizados para representar datos en formas de tablas por lo general una hoja de cálculo.

B.1.5 PARÁMETROS REQUERIDOS POR EL SIMULADOR IISIM

Los parámetros de configuración requeridos por la herramienta definen el modelo de representación de un sistema RFID inductivo. El IISIM versión 1.1 solicita al usuario alrededor de 21 parámetros para determinar en esencia la distancia de lectura máxima y de activación, entre otros datos. Los resultados finales de la simulación y los parámetros que solicita el programa son visualizados en una consola de Símbolo de Sistema (DOS). La tabla B.3 presenta los parámetros de configuración necesarios para llevar a cabo la simulación:

Parámetros o Datos de Entrada	Comentario	Unidades
Frecuencia de trabajo (Working Frequency)	Frecuencia portadora transmitida por el lector.	<i>MHz</i>
Intensidad de Campo Magnético (<i>H_max</i>)	Intensidad de campo magnético máximo regulado de la frecuencia portadora. Este parámetro controla la corriente de la antena y la potencia de transmisión.	<i>dBu(A / m)</i>
Distancia Medida Regulada (<i>d_measuring</i>)	Distancia de la antena lectora para medidas bajo regulación.	<i>m</i>
Ancho de Banda de Ruido en el Receptor (<i>BW Receiver</i>)	Ancho de banda de ruido en el receptor incluyendo filtros de pre y post detección. Se asume que el ancho de banda de ruido es equivalente al ancho de banda del sistema.	<i>KHz</i>
Relación Señal a ruido Mínima para la Detección (<i>SNR_min</i>)	Relación mínima necesaria para la transferencia de datos desde el transpondedor al lector bajo efectos de ruido. Este parámetro es medido en el lector.	<i>dB</i>
Longitud del lazo Tx/Rx (<i>Length Tx/Rx Loop</i>)	Dimensiones de la antena lazo rectangular del lector. En este caso corresponde al largo de la antena. Múltiples bobinas de la antena lectora deben ser transformadas a una bobina simple.	<i>m</i>
Ancho del lazo Tx/Rx (<i>width Tx/Rx Loop</i>)	Dimensiones de la antena lazo rectangular del lector. Corresponde al ancho de la antena del lector o interrogador.	<i>m</i>
Inductancia Propia Tx/Rx (<i>Lm_Tx</i>)	Inductancia propia de la antena (bobina) lectora por metro de longitud. Este parámetro es función del número de vueltas de la bobina, del diámetro del cable y de la forma de la antena lazo.	<i>H / m</i>
Factor de Calidad Tx/Rx (<i>Q_Tx</i>)	Nivel de discriminación entre las frecuencias recibidas por la antena lectora y las que rechaza. En esencia, un factor de calidad elevado incrementa el voltaje inducido y por tanto la distancia de lectura.	

Relación Portadora a densidad de Ruido en Tx (<i>CNR_Tx</i>)	Varias partes del circuito transmisor generan ruido, como la etapa de amplificación, modulación. El ruido en el transmisor es medido relativo al nivel de portadora y normalizado a un ancho de banda de 1Hz. Se define como la relación de la potencia de la portadora y la densidad de potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz.	<i>dBc / Hz</i>
Voltaje Mínimo del Etiqueta (<i>V_{min}</i>)	Voltaje mínimo AC en los terminales de la antena del transpondedor para la activación y funcionamiento del chip. El voltaje AC posteriormente es rectificado a un voltaje DC.	<i>V</i>
Voltaje Máximo del Tag (<i>V_{máx}</i>)	Voltaje máximo AC permitido en la bobina de la antena. Valores por encima del máximo son limitados por el circuito regulador de la etiqueta. Por defecto, el IISIM toma el doble del valor de voltaje mínimo.	<i>V</i>
Frecuencia Subportadora (<i>Subcarrier Frequency</i>)	La señal de datos de retorno proveniente del transpondedor es modulada sobre una onda subportadora obtenida de una frecuencia múltiplo de la portadora. Esta situación surge de la tecnología de carga por modulación (load modulation) que se basa en la generación de bandas laterales que finalmente transportan la información hacia el lector.	<i>KHz</i>
Potencia Disipada por el Chip- <i>V_{min}</i> (<i>Power Chip</i>)	Potencia disipada por el chip del transpondedor.	<i>μW</i>
Índice de Modulación (<i>Modulation Index</i>)	El índice de modulación se define con referencia a la forma de onda modulada. Matemáticamente se define como la diferencia de la amplitud máxima y mínima del campo magnético transmitido por el lector, dividido entre la suma de las dos amplitudes.	
Capacitor de Sintonía del Etiqueta (<i>C_{tag tuning}</i>)	El condensador de sintonía del transpondedor en resonancia.	<i>pF</i>
Longitud de la Bobina del Etiqueta (<i>Length tag coil d</i>)	Dimensiones de la forma rectangular de la bobina de la etiqueta. En este caso corresponde al largo de la antena.	<i>m</i>
Ancho de la Bobina del Etiqueta (<i>Length tag coil e</i>)	Dimensiones de la forma rectangular de la bobina de la etiqueta. En este caso corresponde al ancho de la antena.	<i>m</i>
Factor de Calidad de la bobina Tag (<i>Q factor tagcoil</i>)	Relación entre la energía almacenada y la potencia consumida en la bobina. Evalúa la calidad de la bobina.	
Inductancia Propia del Etiqueta (<i>L_m_Tag</i>)	Es función de la geometría, del número de espiras y de la longitud. Se define como la capacidad de almacenar energía suministrada en forma de un	<i>H / m</i>
Tolerancia de la Frecuencia de resonancia del Tag	Desviación máxima admisible entre la frecuencia asignada y la frecuencia teórica de emisión. Este	<i>%</i>

(Tolerante tag)	margen surge por la variación del valor nominal del capacitor, inductor o resistencia durante el proceso de fabricación, lo que ocasiona una variación en la frecuencia ideal de resonancia del transpondedor. Se define en términos de porcentaje.	
Nivel de Ruido Externo (Ext Noise)	Ruido externo introducido en el lector de identificación. Las fuentes de ruido externo desestabilizan el proceso de comunicación y se distinguen: ruido hecho por el hombre, señales interferente de radio.	$dBuV / m / Hz$
Interferencia Externa en la LSB (External Interference LSB)	Nivel de interferencia externa en la banda lateral inferior	$dBu(V / m)$
Interferencia Externa en la USB (External Interference USB)	Nivel de interferencia externa en la banda lateral superior	$dBu(V / m)$
Rango de Inicio de Lectura	El transpondedor es colocado a través de múltiples posiciones desde el valor inicial del rango de lectura hasta alcanzar el máximo posible a través del eje de la antena lazo del lector.	m

Tabla B.3. Parámetros de entrada solicitados por el IISIM

B.1.6 RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN IISIM

Los resultados obtenidos de la simulación se muestran en la tabla B.4, B.5 y B.6:

Parámetros	Símbolo	Unidades
Corriente Máxima de la Antena Tx I_{tx}	I_{tx}	A
H_ruido Tx en 1Hz	P_{out_tx}	$dBuA / m$
Potencia de Salida del Transmisor	$Hnoise_tx$	W
Intensidad de campo mínima H mín	$H\ min$	A / m
Tolerancia de la Frecuencia	$Tol.$	$\%$

Tabla B.4. Parámetros del transpondedor y lector

Parámetros	Símbolo	Unidades
Distancia de Activación	m	m
V_eff	G_{conv}	m^3
m_sc LSB	$m_sc\ LSB$	μAm^2
m_sc USB	$m_sc\ USB$	μAm^2
H eh LSB	H_{eh}	$dBuA / m$
SCR LSB	$SCR\ LSB$	dB
SNR Tx LSB	$SNR_{tx}\ LSB$	dB
SCR USB	$SCR\ USB$	dB

SNR Tx USB	SNR_{tx} USB	dB
H eh USB	H_{eh} USB	$dBuA / m$
SNR Ext USB	SNR_{Ext} USB	dB
SNR Ext LSB	SNR_{Ext} LSB	dB
SNR Interferencia LSB	SNR_{Int}	dB
SNR Interferencia USB	SNR_{Int}	dB

Tabla B.5. Parámetros del transpondedor y lector.

- ❖ **Corriente Máxima de la Antena Tx (I_{tx}):** Corresponde a la intensidad de corriente máxima en la antena del lector generada por la señal del lector. Su magnitud depende de la dimensiones de la antena lectora y de la frecuencia portadora o de operación del lector. Asimismo, la intensidad de campo regulado H de la señal de interrogación está en capacidad de controlar la cantidad de corriente que circula por la antena y de la potencia de salida del transmisor.
- ❖ **Potencia de Salida del Transmisor (P_{out_tx}):** Potencia de salida necesaria para obtener la corriente máxima de la antena lectora. Es función de la intensidad de campo magnético y del factor de calidad de la antena (bobina) transmisora del lector. Un incremento de H indica un aumento de la potencia y por tanto de la corriente que circula por la antena.
- ❖ **Intensidad de campo homogéneo equivalente de ruido en el transmisor (H_{noise_tx}):** Varias etapas del circuito transmisor (modulador, amplificación, oscilador) generan ruido. Basado en este contexto, la intensidad de campo homogéneo se define como la cantidad de ruido equivalente introducido por los circuitos de procesamiento de señal del lector. Expresar el ruido en unidades de campo permite la comparación directa de la intensidad de campo equivalente homogéneo de ruido con otros parámetros de intensidad campo.
- ❖ **Factor de calidad equivalente del transpondedor (Q_{chip}):** Este valor relaciona el factor de calidad equivalente del circuito transpondedor representando las pérdidas originadas por el consumo de potencia DC del circuito chip. Además, incluyen las pérdidas del circuito rectificador.
- ❖ **Intensidad de campo magnético mínima (H_{min}):** Intensidad de campo magnético mínima de la señal de interrogación del lector suficiente para el funcionamiento y activación del chip. Este parámetro es directamente proporcional con voltaje mínimo AC (voltaje mínimo sobre los terminales de la antena donde el chip justo comienza a funcionar) necesario para la operación del circuito chip; mantiene una relación inversa con las dimensiones de la antena de la etiqueta.
- ❖ **Volumen magnético efectivo del transponder (V_{eff}):** Volumen en el cual se confina toda la energía magnética de la bobina. Esta magnitud depende de las dimensiones físicas de la bobina del transpondedor. Se expresa en metros cúbico.
- ❖ **Momento dipolar de la señal de retorno (m_{sc}):** Debido al bajo nivel de intensidad de campo emitido por el transpondedor, es útil calcular el momento dipolar de la señal de retorno o subportadora de datos a fin de calcular la intensidad de campo magnético del transpondedor. Las dimensiones de la bobina del transponder, el capacitor de sintonía, la frecuencia

subportadora o señal de datos de retorno (enlace de bajada) y el voltaje sobre la bobina del transponder intervienen en el cálculo del momento dipolar.

- ❖ **Distancia máxima de activación:** Para la transmisión de los datos almacenados en el circuito chip es preciso un voltaje mínimo inducido sobre los terminales de la antena. Justo aquí, la distancia de activación es máxima para la activación del chip del transpondedor. La distancia de activación es función de la corriente de la antena y de las dimensiones de la antena de la etiqueta.
- ❖ **Rango de Lectura:** En general, los efectos de ruido e interferencia limitarán el rango de lectura de la etiqueta. Ante esta situación, la distancia de activación es mayor que el rango de lectura. La distancia o rango de lectura se define como el máximo valor admisible de un transpondedor dentro de la zona de interrogación del lector donde se desempeñará satisfactoriamente. Cuando el transpondedor se encuentra fuera de esta distancia de lectura no será leído por el interrogador y no se establecerá la comunicación entre el lector y la etiqueta.
- ❖ **Intensidad de campo magnético equivalente homogéneo (H_{eh}):** Corresponde a la intensidad de campo equivalente homogéneo de la señal del transpondedor en unidades de campo magnético $dBuA/m$. La intensidad de campo equivalente y las dimensiones de la antena lectora se relacionan de forma inversa y mantiene una relación directa con el flujo magnético.
- ❖ **Relación señal portadora (SCR):** Relación entre el voltaje inducido por la señal del transpondedor en la antena del lector y el voltaje generado por la corriente de la antena transmisora I_{tx} en la antena. Este parámetro es proporcional al factor de calidad de la antena del lector e inversamente proporcional a la inductancia de la bobina de la antena y a la corriente I_{tx} del lector.
- ❖ **Relación señal a ruido en el transmisor (SNR_{tx}):** Proporción entre la señal de voltaje del transpondedor y la señal de ruido causado por fuentes de ruido interno propias del circuito lector en su etapa de amplificación y de modulación. Así, el SNR_{tx} considera los efectos del ruido sobre el rango de lectura.
- ❖ **Relación señal a ruido externo (SNR_{Ext}):** Relación entre la señal del transpondedor y la señal de ruido originado por fuentes de ruido externo. Dependiendo de la magnitud de la relación SNR_{Ext} , la comunicación entre el transpondedor y el lector de RF puede experimentar interrupciones. Fuentes de ruido externo consideradas en el modelo de simulación son: ruido ocasionado por el hombre, señales de radio interferente.
- ❖ **Relación señal a ruido de interferencia (SNR_{Int}):** Cuando la frecuencia de una señal de radio coincide con la banda de frecuencia sensible del lector surgen señales interferentes. De este modo, la SNR_{Int} se define como la relación entre la señal emitida del transpondedor y el voltaje producido por señales interferentes externas. La SNR_{Int} permite considerar los efectos de interferencia sobre el rango de lectura en el canal de comunicaciones.

Los resultados presentados en la tabla B.6, corresponden al rango de lectura máximo del transpondedor afectado por diversos niveles de ruido e interferencia expresados en términos de relación señal a ruido

(SNR_{tx} , SNR_{Ext} , SNR_{Int}). La distancia de lectura máxima se evalúa para los tres casos de tolerancia: el transpondedor sintonizado por encima de la frecuencia de resonancia (+), el transpondedor sintonizado por debajo de la frecuencia de resonancia (-) y finalmente el transpondedor sintonizado a la frecuencia de resonancia (0). Dichos resultados determinan el máximo rango de lectura y activación cuando el canal de comunicación es afectado por interferencias y ruidos definidos de los estándares de la ERC e ITU.

Parámetros	Unidades
Tolerancia en la frecuencia de resonancia	<i>m</i>
Relación señal a ruido en el transmisor en LSB	<i>m</i>
Relación señal a ruido en el transmisor en USB	<i>m</i>
Relación señal a ruido Externa en LSB	<i>m</i>
Relación señal a ruido Externa en USB	<i>m</i>
Relación señal a Interferencia en LSB	<i>m</i>
Relación señal a Interferencia en USB	<i>m</i>
Distancia de activación	<i>m</i>

Tabla B.6. Máximo rango de lectura determinado por las relaciones señal a ruido.

- ❖ **Código de Redundancia Cíclica (CRC):** El CRC se calcula sobre todo el código EPC. El MSB del EPC es el primero en ingresar al algoritmo utilizado por el CRC para detectar y comprobar errores durante la transmisión de datos. En este contexto, el CRC comprobará a través de su algoritmo, posibles errores en la comunicación cuando la etiqueta transmita el código EPC.

El reporte técnico de la EPC está sujeto al estándar internacional CRC-CCITT² para un EPC menor a 256 bits. Básicamente la norma utiliza un código de redundancia de 16 bits aplicado a flujos de longitud de datos de 8 bits.

- ❖ **Código Electrónico del Producto (EPC):** El EPC es un número de identificación único e individual asociado a un ítem en particular. El número es almacenado en la ITM del chip de la etiqueta. El EPC incorpora, la versión, fabricante, clase de objetos y el número serie. Los códigos de identificación únicos son suministrado por la firma EPC Global.

- ❖ **Password:** Cadena de datos de 8 bits usado por el comandos del lector.

C.1.2 COMUNICACIÓN LÓGICA ENTRE UN LECTOR Y UNA ETIQUETA EN UN SISTEMA RFID

Durante la comunicación, el lector transmite un paquete de información que contiene un comando o una instrucción hacia el transpondedor; en ocasiones la etiqueta responde a esa solicitud con otro paquete, estableciendo una comunicación bidireccional no simultánea, es decir, del modo *half duplex*. El conjunto exclusivo de comandos permitirá ejecutar ciertas actividades sobre la etiqueta, por ejemplo, iniciar y finalizar una sesión de comunicación. Un transpondedor no interpretará los comandos de otro lector mientras este esperando otra comunicación.

En general, un comando completo del lector consiste básicamente de 8 campos y cinco bits de paridad. La estructura general es la siguiente:

[PREAMBL][CLKSYNC][SOF][CMD][P1][PTR][P2][LEN][P3][VALUE][P4][P5][EOF]

- ❖ **PREAMBULO:** Cada comando fija un período de no transmisión por parte del lector. Posteriormente el lector envía una señal de RF de onda continua (CW) sin procesamiento de señal, en torno a un conjunto de etiquetas de RF; el campo magnético originado induce una corriente en la bobina o antena del transpondedor para su funcionamiento. En el reporte técnico no se define el número de bits para la instrucción.
- ❖ **CLKSYNC:** Cada comando incorpora una serie de 20 ceros binarios útiles para la sincronización de la señal de reloj. En el transpondedor, el circuito de sincronización utiliza parte del mensaje para fijar su propio reloj interno, y realizar operaciones de decodificación y lectura de mensajes para responder al lector. El número de bits definido corresponden a 20 ceros binarios.
- ❖ **SOF (Start Of Frame):** Indica el inicio de la comunicación o transferencia de datos. Corresponde a un uno (1) binario en la secuencia.
- ❖ **CMD:** Especifica el comando enviado hacia a la etiqueta. Al campo CMD, le corresponden 8 bits en la secuencia binaria.

² El estándar CRC-CCITT para el chequeo de errores consta de una cadena de 16 dígitos binarios 10001000000100001. Su polinomio generador típico $X^{16}+X^{15}+X^2+1$.

- ❖ **P1:** El bit de paridad impar actúa sobre el campo **CMD**. En general, la paridad par o impar es un mecanismo para comprobar errores en cada unidad de información; el protocolo revisa si la suma es par o impar en la cadena total de bits.
- ❖ **PTR:** El campo **PTR** actúa como puntero a una localización o índice de bit en el identificador del *tag*. El índice de bit inicia por el MSB (bit más significativo) del campo PTR en la posición cero y termina en el bit menos significativo (LSB). Un valor de PTR igual o menor que 254 bits es representado usando 8 bits. Un valor de PTR mayor que 254 bits es representado usando 2 bytes. El comando PTR es el punto de partida para ejecutar búsquedas de aquellas etiquetas que coincidan con los datos especificados en campo **VALUE**. El reporte establece 8 bits de datos.
- ❖ **P2:** El bit de paridad impar; actúa sobre el campo de datos **PTR**.
- ❖ **LEN:** Especifica la longitud (tamaño) de los datos enviados en el campo de datos **VALUE**. Un valor del campo **LEN** igual o menor que 254 bits es representado usando 8 bits. Un valor de **LEN** mayor que 254 bits es representado usando 2 bytes. El valor de LEN debe ser mayor que cero. El comando **LEN** corresponde a 8 bits de datos en la secuencia binaria.
- ❖ **P3:** Bit de paridad impar que actúa sobre el campo de datos **LEN**.
- ❖ **VALUE:** La longitud del campo **VALUE** varía en función del comando que se este transmitiendo, por ejemplo, el comando **Quiet**, **PingIDScrollID**, etc. La etiqueta compara estos últimos datos (**Quiet**, **PingIDScrollID**) con aquellos almacenados en su propio identificador, desde el campo PTR hasta el LSB.
- ❖ **P4:** El bit de paridad impar actúa sobre el campo de datos **VALUE** para verificar errores.
- ❖ **P5:** Bit de paridad impar de todos los campos.
- ❖ **EOF:** Comando que indica el Final de la Transmisión de Trama (EOF, End Of Frame) corresponde a un bit.

C.1.2.1 Datos Técnicos del Estándar

Algunos datos técnicos tomados del reporte suministrado por el Auto ID Center se especifican en la tabla C.1. Estos datos son utilizados para el desarrollo de la simulación.

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades
To	Tiempo de reloj	66.67	µs
To _{Tol}	Máxima tolerancia del tiempo de reloj	+/- 1%	
1/To	Tasa de datos	15	Kbps
MOD	Modulación utilizada para el enlace de bajada	ASK	

Tabla C.1. Datos obtenidos del reporte técnico.

C.1.3 COMANDOS: EL ENLACE DE SUBIDA

Los comandos que el lector envía al *tag* (enlace de bajada) se dividen en comandos de requerimiento y comandos de programación del identificador. Los comandos de programación ejecutados por la etiqueta

modifican el estado de la comunicación, mientras los de programación son destinados a modificar, verificar y programar la ITM, por ejemplo, el número único de identificación del *tag*. En las tablas C.2 y C.3, se muestran los comandos de requerimiento y programación del transpondedor; aquellos comandos que no estén incluidos en las tablas serán interpretados como comandos desconocidos por las etiquetas, y por tanto, no modificarán su estado inicial.

C.1.3.1 Comandos de Requerimiento

Se exponen los comandos de requerimiento para el enlace de bajada y la respuesta del *tag* en caso de que exista.

- ❖ **ScrollALLID:** Las etiquetas que reciben este comando responden con su código de identificación al lector.

Comando	Código del Comando	Respuesta del <i>Tag</i>
ScrollID	0000 0001	ScrollID
PingID	0000 1000	PingID
Quiet	0000 0010	No
Talk	0001 0000	No
Kill	0000 0100	No

Tabla C.2. Comandos de requerimiento.

- ❖ **PingID:** Las etiquetas que correspondan al campo de datos **VALUE** partiendo de la posición **PTR**, responden enviando 8 bits del identificador del *tag*, comenzando con el bit en la posición **PTR + LEN**.
- ❖ **Quiet:** Las etiquetas que coincidan con el campo de datos **VALUE** partiendo de la posición **PTR**, presentan un estado de “silencio” durante el cual no responden a ninguna petición. Este modo de operación continúa hasta que la etiqueta recibe el comando **Talk** o hasta que el *tag* se aparta de su zona de interrogación o se aísla de su fuente de alimentación al menos de 1 a 10 segundos.
- ❖ **Talk:** Las etiquetas que coincidan con el campo de datos **VALUE** partiendo de la posición **PTR**, entran en modo activo cuando reciben el comando **Talk**, lo que significa que las instrucciones emitidas por el lector son recibidas correctamente por el transpondedor. Cuando el lector emite un comando **Talk** debe enviar 7 ceros binarios después del campo **EOF** para que el *tag* ejecute la instrucción. Este modo de operación se mantiene hasta que se envía una instrucción **Quiet** o al aislar las etiquetas de la zona de interrogación al menos 1 segundo o 10 segundos gmáximo.
- ❖ **Kill:** Si la etiqueta recibe un comando kil permanecerá desactivada y no responderá a ningún comando provenientes del lector. Este comando dejará inactivo al *tag* para siempre.

C.1.3.2 Comandos de Programación

Algunos comandos de programación transmitidos desde el lector al transpondedor y su respuesta son descritos en la tabla C.3.

Comando	Código del Comando	Respuesta del Tag
Programad	0011 0001	No
VerifyID	0011 1000	VerifyID
LockID	0011 0001	No
EraseID	0011 0010	No

Tabla C.3. Comandos de programación.

- ❖ **LockID:** Cuando la etiqueta ejecuta el comando, los datos de la ITM (CRC, código de identificación y su password) no se modificarán bajo ninguna instrucción. Los datos se encuentran protegidos.
- ❖ **EraseID:** Los bits que componen la ITM son fijados a cero bits.

C 1.4 ESTRUCTURA DEL FORMATO DE RESPUESTA

Una etiqueta no transmite un comando, simplemente responde a cierta instrucción enviada por el lector. En las tablas C.2 y C.3 se muestran los comandos que responden al lector.

La estructura de la secuencia binaria utilizada para responder a la instrucción **ScrollID** del lector es la siguiente:

[PREAMBL][CRC][TAGID]³

- ❖ **PREAMBL:** El transpondedor envía 8 bits en formato hexadecimal (FE_H) al interrogador como preámbulo, comenzando con el bit más significativo y terminando con el de menos peso.
- ❖ **TAGID:** El transpondedor transmite al lector la información útil, es decir, el código de identificación EPC. Su longitud en bits es variable.
- ❖ **CCR:** El enlace de bajada utilizó el CRC para detectar errores durante la transmisión; de igual forma, el CRC es utilizado para comprobar si el código EPC llegó correctamente al lector (enlace de subida). Su longitud en bits es función del tamaño del código EPC.

C.1.3.1 Conformación de la Secuencia o Cadena de Bits para el Enlace de Bajada

Conforme a la estructura general de la trama (sección C.1.2) y el reporte técnico del Auto *ID Center* para etiquetas pasivas, la secuencia de bits a transmitir desde el lector de RF e introducida en la herramienta de simulación digital (ver capítulo III) es la siguiente:

00000000000000000000-1- 0000010-0-0000000-1-00001000-0-0000000-1-1-1

A continuación se especifica cada uno de los campos de la secuencia de bits:

- ❖ **PREAMBULO:** El propósito del **PREAMBULO** es fijar un período de no transmisión de RF por parte del lector. Por consiguiente, este campo es ignorado en la secuencia binaria.

³ Los comandos VerifyID, PingID tienen una estructura similar de trama, sin embargo, en este trabajo de grado el objetivo no es analizar en los otros comandos de respuesta, solo en aquellos introducidos en la herramienta de simulación. /

- ❖ **CLKSYNC:** Comando de sincronización. El reporte técnico define 20 ceros binarios para este campo.
- ❖ **SOF:** Sugiere el inicio de la transmisión. Se especifica su valor mediante un 1 binario.
- ❖ **CMD:** Especifica la instrucción enviado hacia a la etiqueta. El reporte técnico define un conjunto de comandos destinados para la transmisión de la información; en la tabla C.1 se muestra algunos de ellos. Se eligió para el desarrollo de la simulación *software* el comando **Quiet**.
- ❖ **P1:** El bit de paridad para comprobar errores. Corresponde a un cero binario.
- ❖ **PTR:** Corresponde a la localización del índice de bit de la ITM; PTR busca el valor del campo **VALUE**.
- ❖ **P2:** Bit de paridad del campo **PTR**. Corresponde a un uno binario.
- ❖ **LEN:** Determina la longitud de los datos en el campo **VALUE**. Corresponde a 8 bits binarios.
- ❖ **P3:** Bit de paridad del campo **LEN**. Corresponde a un cero binario
- ❖ **VALUE:** Se fija el tamaño del campo **VALUE** a 8 bits, conforme a la longitud del comando a transmitir (**Quiet**). A la secuencia binaria se le asignan 8 ceros.
- ❖ **P4:** Bit de paridad par del campo **VALUE**. Corresponde a un uno binario.
- ❖ **P5:** En este caso **P5** se fija a un uno binario.
- ❖ **EOF:** Indica el final de la transmisión. El reporte técnico en sus especificaciones asigna un uno binario.

C 1.5 ESTÁNDAR ISO 15693

El estándar ISO 15693 para etiquetas de vecindad (VICC) operan a en la banda de HF a una frecuencia de 13.56 MHz. En teoría, su rango máximo de lectura es alrededor de los 1,5 m y la intensidad de campo magnético requerida para el funcionamiento del transpondedor varía entre 0.125A/m y de 5 A/m según las normas u organismos de regulación de cada país. Actualmente, el estándar es utilizado ampliamente para el desarrollo de aplicaciones que involucre dispositivos RFID a distancia medias de lectura. El reporte describe algunos conceptos fundamentales de la interfaz de aire y los comandos que establecen la comunicación entre le transpondedor y el lector de RF. Con esto se busca llevar a cabo la simulación digital en el *software*.

La serie ISO/IEC 15693 comprende los siguientes fragmentos:

- ❖ **ISO 15693-1:** Alude a las características físicas del transpondedor. Aquí se especifican las dimensiones, espesor y material del transpondedor, entre otras..
- ❖ **ISO 15693-2:** Describe la interfaz de aire entre el transponder – lector y viceversa, además expone el inicio de la comunicación.
- ❖ **ISO 15693-3:** Procedimientos de anticolidión.

C.1.6 FORMATO GENERAL DE TRANSMISIÓN

Independiente del comando que se desee transmitir, la estructura general de la trama para el enlace de bajada es la siguiente:

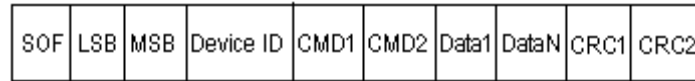


Figura C.2. Estructura general de un paquete de respuesta []

- ❖ **SOF:** Indica el inicio de la trama. Corresponde a 8 bits binarios (0000 1111).
- ❖ **LSB y MSB:** Indican el tamaño total del paquete, su longitud es de 2 byte cada uno.
- ❖ **DeviceID:** Identifica el tipo de dispositivo. Su longitud es de 8 bits.
- ❖ **CMD1 y CMD2:** Acciones que indican si el comando se ejecutó apropiadamente.
- ❖ **Data1 y DataN:** Contiene los datos del comando a transmitir. Su longitud es variable en función del comando.
- ❖ **CRC1 y CRC2:** El Código de Redundancia Cíclica (CRC) utilizado para comprobar la integridad de la información recibida. EL software de la TI que viene incorporado al lector calcula el CRC. Su longitud es de 2 Bytes.

La estructura de la trama de la figura C.2 corresponde a un paquete de información transmitido en el enlace de subida; el protocolo de transmisión fue concebido por la compañía TI (*Texas Instrument*), basado en las especificaciones del estándar ISO 15693 [32].

La estructura de la trama para el enlace de bajada es similar al formato de la figura C.2, sin embargo, la diferencia radica en los campos CMD1 y CMD2; en estos campos se especifica la acción ejecutada por el comando seleccionado durante el enlace de bajada, mientras que en el paquete de respuesta corresponden a acciones para indicar si se ejecutó apropiadamente el comando.

C.1.6.1 Datos Técnicos del Estándar

Conforme al reporte técnico ISO 15693, durante la transmisión de datos del transpondedor al lector son utilizados los esquemas de modulación digital como ASK y FSK. Cuando se modula en amplitud se utiliza una subportadora con frecuencia de $f_c/32$ (423.7 KHz) y en frecuencia se utilizados dos subportadoras $f_c/32$ (423.7 KHz) y $f_c/28$ (4784.28 KHz) [4]. Entre tanto, el lector y el transpondedor soportan solo modulación ASK en el enlace de bajada. Algunos datos (modulaciones, tasa de datos, señal de reloj) del reporte técnico suministrados por el estándar ISO 15693 se especifican en la tabla C.4⁴:

⁴ Información más detallada sobre el estándar ISO 15693 dirigirse a la página oficial de la ISO 15693 http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=39695. Para efectos de simulación solo se utilizaron los datos de la tabla C.4

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades
MOD DOWN	Modulación para el enlace de bajada	ASK	
MOD UP	Modulación para el enlace de subida	ASK o FSK	
1/To ₁ Low	Tasa baja de datos para una subportadora	6.62	Kbps
1/To ₂ Low	Tasa baja de datos para dos subportadoras	6.67	Kbps
1/To ₁ High	Tasa alta de datos para una subportadora	26.48	Kbps
1/To ₂ High	Tasa alta de datos para dos subportadoras	26.69	Kbps
fc	Frecuencia portadora	13.56	MHz

Tabla C.4. Datos extraídos del reporte técnico

C.1.7 CONFORMACIÓN DE LA TRAMA PARA EL ENLACE DE SUBIDA

El comando **Stay Quiet Request** es utilizado para detener las acciones ejecutadas por una etiqueta, previniendo que responda ante cualquier comunicación o solicitud de inventario. Bajo operación del comando **Quiet**, la etiqueta responde con un mensaje de error ante una solicitud. La secuencia binaria introducida en el patrón binario del simulador digital es la siguiente:

0000 0001 0000 1001 0000 0000 0000 0011 0000 0100 0110 0100 0000 0000 0110 1011 1011 0100⁵

A continuación se especifica cada uno de los campos que constituyen la secuencia de bits de acuerdo a la figura C.2.

- ❖ **SOF:** Indica el inicio de la trama. Corresponde a 8 bits binarios, en la trama asume los dígitos 0000 1111.
- ❖ **LSB y MSB:** Los campos LSB y MSB representan la longitud total del paquete en bits desde SOF hasta CRC2. Para el comando **Quiet** su longitud es de 09 en decimal (0000 1001).
- ❖ **DeviceID:** Identifica el tipo de dispositivo. Para el lector S4100 de *Texas instrument* su valor por defecto es fijado a 03 en hexadecimal (en binario 0000 0011).
- ❖ **CMD1 y CMD2:** Ejecuta las funciones del comando **Quiet**; CMD1 corresponde a un código ISO 15693 (04 en hexadecimal) y CMD2 (64 en hexadecimal) indica la función del comando **Quiet** definidos por el fabricante.
- ❖ **Status:** Indica si durante la respuesta ocurrieron errores. Se asume que no ocurrieron errores durante la ejecución del comando, por lo tanto, el valor corresponde a 8 bits 0000 0000.
- ❖ **LRC:** Utilizado para la comprobación y validación de errores. Consta de 16 bits. Para efectos del LCR se designó los dígitos 6B y 94 en notación hexadecimal.

⁵ La secuencia binaria se obtuvo de los comandos establecidos por la *texas instrument* y de su protocolo de comunicación. Más detalles de otros comandos dirigirse a: <http://www.ti.com/rfid/docs/manuals/refmanuals/RF-MGR-MNMN-15693-refGuides.pdf>

Anexo D: Tecnologías de Auto-ID

D.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AUTO ID

D.1.1 Sistemas Ópticos

El auge de los procesos de identificación y control de productos, dio lugar a los sistemas ópticos. En la actualidad son los más conocidos y utilizados porque fueron los primeros en incursionar en el mercado; su funcionamiento obedece a las teorías de refracción y reflexión de la luz. Además, las investigaciones sobre diversas formas de emisión trascendieron en haces de la luz más aptos para la recepción y transporte como por ejemplo el láser, el infrarrojo. Aunque se encuentra gran variedad de lectores, tanto para códigos de barras como para reconocimiento óptico, su principio de trabajo es el mismo y se desarrolla en torno a un símbolo impreso, que se lee exponiéndolo a un haz de luz que emite el lector y que según sea la forma del símbolo refleja la luz en los espacios y la absorbe en las partes oscuras, emitiendo de vuelta cierta cantidad de luz que es interpretada por el lector y finalmente es procesada [18]. Los sistemas ópticos se clasifican en:

D.1.1.1 Reconocimiento óptico de caracteres

Este sistema fue desarrollado para facilitar la gestión de grandes cantidades de información proporcionada por los clientes, almacenándola en un formato estandarizado. Se ha utilizado principalmente en el sector financiero, postal, seguros, medico y oficial; en muy pocos casos se utiliza en el control de procesos industriales, porque representa costos demasiado elevados y requiere lectores complejos en comparación con los otros sistemas [1].

Comenzó a utilizarse a principios de los años 60s, inicialmente reconocían caracteres impresos y se fueron perfeccionando hasta lograr reconocer caracteres escritos manualmente [18][1].

La lectura de los caracteres se hace de forma automática, mediante un haz de luz (que puede ser visible o no) que se refleja hacia el lector nuevamente o se absorbe, según los caracteres dados, luego se interpretan y se convierten mediante algoritmos que determinan la configuración, operando a nivel de cada píxel; una vez interpretada la información, se procede a convertirla en información digital, analógica, o Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información (ASCII American Standard Code for Information Interchange) para facilitar su lectura de manera automática. Sin embargo cuando se le asigna el código al producto no se hace de manera automática sino manual, retardando un poco el proceso y generándole desventajas con respecto a los otros sistemas de auto- identificación [18].

D.1.1.2 Código de barras

Sus inicios se remontan al año 1948, cuando el presidente de una cadena de suministros pidió al decano del *Philadelphia's Drexel Institute of Technology* que llevara a cabo un estudio minucioso, con el fin de desarrollar un sistema que pudiera capturar la información de los productos automáticamente en el momento de sacarlos del supermercado; el decano no aceptó la propuesta, sin embargo, un alumno recién graduado de esta universidad, Bernard inició sus investigaciones [19].

Empezó a trabajar con plantillas hechas en tinta que podían reconocerse con luz ultra violeta, pero el prototipo presentó muchos problemas de funcionamiento. Meses más tarde hicieron un patrón de líneas y espacios, que podía ser leído mediante un sistema cuyos elementos principales eran una bombilla y un

tubo RCA 935 (fotodiodo), conectado a un osciloscopio; movían el papel marcado con las delgadas líneas a través de la luz del bombillo y a medida que el papel se movía, la señal en el osciloscopio saltaba según la secuencia de líneas escrita [19].

En la actualidad los sistemas de códigos de barras tienen un funcionamiento similar a sus inicios, pero gracias a varios descubrimientos paralelos relacionados con las propiedades de reflexión y refracción de la luz y a las normas que han estandarizado los códigos, su funcionamiento ha mejorado notablemente, convirtiéndolo en el sistema de Auto ID más usado y distribuido en el mercado.

El código de barras es una disposición de barras y espacios paralelos que contienen la información codificada. Se utilizan varios tipos de simbologías para hacer la codificación que han sido desarrolladas para resolver problemas específicos, según el tipo de aplicación donde va a emplearse; los más utilizadas son:

❖ Código UPC⁵

Consta de 12 dígitos, el primero es el número del sistema que determina si tiene un tamaño y un peso determinado, los dígitos del segundo al sexto representan información del fabricante, los caracteres (6 7 8 9 0) son el código del producto que el fabricante asigna a cada uno de sus productos. El décimo segundo es un dígito verificador. La figura 1.1 ilustra el esquema de un código UPC [20].



Figura D.1. Código universal del producto [209].

❖ Sistema de codificación EAN (EAN-13)

Es la versión Europea del código universal del producto. La figura 1.2 muestra la estructura de un sistema EAN 13, consta de 13 dígitos; los 3 primeros corresponden al país, los seis siguientes a la empresa productora, los otros 3 al artículo y finalmente el dígito verificador. Actualmente, es usado en supermercados y en el comercio al grado de convertirse en la versión más difundida.



Figura D.2. Sistema de codificación EAN 13 [20].

❖ **Sistema de codificación EAN (EAN-128):** El código UCC/EAN-128 es un código alfanumérico de longitud variable, capaz de almacenar grandes cantidades de datos como; la fecha de vencimiento del producto, número de lote y la fecha de producción, etc. En la actualidad es un sistema de codificación universal lo que lo consolida como un código estándar. Fue diseñado para añadir características al código EAN 13 y realizar tareas de trazabilidad [20].

⁵ El UPC por sus siglas en inglés Universal Product Code, es el código único universal utilizado en los objetos a identificar.

D.1.1.3 Lectores de cámara

El más novedoso tipo de lectores para códigos de barra son los lectores tipo cámara; usan una pequeña cámara de video para capturar la imagen del código de barras, luego el lector utiliza sofisticadas técnicas de procesamiento de imágenes digitales para decodificar el código de barras, es como tener cientos de filas de sensores, con el fin de generar una imagen; finalmente un decodificador, mediante algoritmos matemáticos traduce los impulsos eléctricos en código binario y transmite el mensaje decodificado a un sistema centralizado de computación. El decodificador puede estar integrado al escáner o ser externo al mismo, algunos de ellos necesitan estar en contacto con el símbolo, otros leen a cortas distancias.

D.2.1 Sistemas Magnéticos

En este tipo de sistemas el proceso de lectura es diferente al sistema óptico pero se pueden utilizar algoritmos similares de decodificación con el fin de obtener de nuevo la información original; aunque su principio de funcionamiento es muy bueno, no han sido ampliamente utilizados porque para realizar la lectura y la escritura es completamente necesario que el lector se encuentre en contacto directo con el dispositivo a identificar, lo que además de ser incomodo, conlleva al rápido desgaste de la banda, puesto que funcionan sobre una banda plástica magnética como las utilizadas en los casetes. Estos dispositivos para ser grabados o leídos se pasan por una cabeza lectora-escritora que funciona gracias al fenómeno de inducción magnética, además hay un procesador en los lectores que traduce los patrones de las ondas magnéticas, dados en forma binaria para convertirlos en información original [21][1].

D.2.1.1 Reconocimiento magnético de caracteres

Estos sistemas funcionan de forma muy similar a los sistemas de reconocimiento óptico de caracteres, pero utilizan el magnetismo como forma de codificación. Aprovechan las características físicas de los caracteres para almacenar la información en su forma estructura o relieve que luego es leída por medios mecánicos o magnéticos. Sus principales aplicaciones han sido a nivel financiero y bancario, en cheques y otros instrumentos comerciales como papel moneda con impresos en la parte inferior del mismo, la información que contienen se procesa mediante medios magnéticos [21][1].

D.2.1.2 Bandas magnéticas

En estos sistemas la información se registra y se codifica mediante señales magnéticas en pequeños segmentos de cinta magnética que se alinean paralelos a la longitud de la banda, que únicamente puede ser leída por un lector adecuado para identificación instantánea; además la banda se adhiere a una superficie que permite su manejo y lectura.

Este mecanismo es uno de los más comerciales y difundidos entre los sistemas magnéticos y su aplicación más común son las tarjetas de crédito. Las instituciones financieras han preferido por años esta tecnología, porque su reproducción es difícil de lograr sin el equipo adecuado; también se utilizan en aplicaciones de corta duración donde no es importante el desgaste del dispositivo, un buen ejemplo para esto son las bandas que guardaban información en los pasajes de avión.

D.1.3 Sistemas de Identificación por RF

Estos sistemas permiten la automatización de procesos mediante el marcado o etiquetado de un objeto o individuo con una etiqueta electrónica susceptible de ser leída a distancia mediante la emisión de ondas de radiofrecuencia en una banda de frecuencia del espectro radio eléctrico. Se caracteriza por su trazabilidad (seguimiento continuo del objeto) y es capaz de conocer su estado en tiempo real. El funcionamiento de los dispositivos de RFID (Radio Frequency Identification, Identificación por Radio Frecuencia) se realiza a frecuencias que requieren baja potencia, entre los 50 KHz y 2.5 GHz, los sistemas RFID que funcionan a bajas frecuencias (50 KHz-14 MHz) son de bajo costo, corto alcance y resistentes al ruido; no se requiere de licencia para operar en este rango de frecuencia ya que se trata de la banda no comercial ICM (Industria, Científico y Médico). Los dispositivos que operan a frecuencias más altas (14 MHz-2.5 GHz), tienen costos más elevados y un mayor alcance, pero son susceptibles al ruido del espacio [2].

A las etiquetas identificadoras que se añaden al producto se les llama transpondedores o *tags*; son dispositivos electrónicos transmisores-receptores encapsulados y se adhieren a los objetos para identificarlos; los dispositivos de RF se clasifican según el tipo de *tags* utilizados, ya sean pasivos o activos, la diferencia radica en que en los dispositivos pasivos, la energía para el funcionamiento se transmite desde el lector ; mientras que a los activos se les incorpora una batería de donde se obtiene la energía necesaria para su activación. El lector genera un campo magnético cuya señal de RF es captada por el receptor del *tag*; este a su vez activará al transpondedor el cual enviará su mensaje único. Esta tecnología tiene innumerables aplicaciones: identificación de animales, monitoreo de vehículos en movimiento, control de líneas de producción, control de acceso, etc [10].

La implementación de la tecnología RFID a nivel de consumo masivo y en la cadena de abastecimientos, da paso a una nueva revolución tecnológica y un cambio de paradigma que afectará directamente la forma en que las compañías desarrollen sus negocios porque dispondrán de una gran cantidad de información.

D 1.4Sistemas de Reconocimiento de Voz

Estos sistemas tienen una arquitectura más grande que los mencionados, haciéndolos difíciles de portar; su función consiste en ingresar automáticamente la información en forma de voz humana en un sistema informático programado para el reconocimiento e interpretación de palabras que hacen parte de un vocabulario, luego procede a convertirlas en instrucciones reconocibles para la maquina; la persona que opera el equipo debe contar con un micrófono y un auricular para comunicarse con el computador. Estos sistemas son de gran utilidad para el uso de personas discapacitadas, además de abrir una brecha para futuros avances a nivel de comunicaciones [21].

D.1.5 Sistemas Basados en Tarjetas Inteligentes

Estos pequeños dispositivos almacenan información de forma limitada. Sin embargo manejan una memoria interna y tienen la capacidad de desarrollar por sí mismos funciones inteligentes debido a que poseen un chip encapsulado en un material de PVC (Policloruro de Vinilo, PVC, es un material que provee flexibilidad y rigidez a la tarjetas lo que incrementa su durabilidad) que se comunica mediante unos contactos exteriores que permiten acceder a la información o grabar nueva [1]. La figura 1.3, muestra las dimensiones de una tarjeta inteligente de identificación bajo el estándar ISO 7810 [14]. Sus aplicaciones se difunden en el chip de telefonía celular y el uso de tarjetas débito de entidades bancarias.

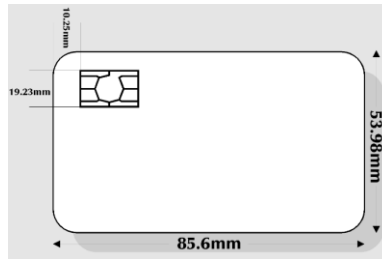


Figura D.3. Estructura física de una tarjeta inteligente de identificación [1]

D.1.6 Sistemas Biométricos

Son sistemas que se fundamentan en la identificación de características físicas personales e intransferibles de los individuos, que pueden ser reconocidas o verificadas de manera automática como por ejemplo la huella digital, reconocimiento del iris, reflexión retinal, geometría de la mano, etc. Se utilizan generalmente para aplicaciones de control de acceso. La información sobre la característica fisiológica dada se digitaliza y se almacena en una aplicación central para luego llevar a cabo la identificación personal [1][21].

