



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

## **IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA DE VANGUARDIA**

**Roberto José Orozco Molina**

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, septiembre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA DE VANGUARDIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**ROBERTO JOSÉ OROZCO MOLINA**

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco González
EXAMINADOR	Ing. Anibal Silva
EXAMINADOR	Ing. Armando Rivera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA DE VANGUARDIA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 9 de julio de 2009.



Roberto José Orozco Molina

Guatemala, lunes 10 de agosto de 2009

Ingeniero Julio César Solares Peñate  
Coordinador Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Solares:

Como asesor del estudiante *Roberto José Orozco Molina* en su trabajo de graduación *Identificación por radiofrecuencia de vanguardia*, me permito informarle que, luego de revisar la versión final del mismo, encuentro que éste cumple con los objetivos con que originalmente fuera propuesto y aprobado como trabajo de graduación de esta Escuela. Asimismo, el alcance y profundidad con que se desarrollan los temas que lo componen son de mi completa satisfacción, razón por la cual doy mi aprobación a su contenido.

En virtud de lo anterior, y en acuerdo con los procedimientos establecidos para el efecto, se presenta el trabajo de graduación *Identificación por radiofrecuencia de vanguardia* del estudiante *Roberto José Orozco Molina* ante su persona para la revisión que corresponde.

Le saludo atentamente,



Dr. Enrique Edmundo Ruiz Carballo  
Profesor Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica  
Colegiado Activo No. 2225  
Asesor





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 27 de agosto de 2009

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.


Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado:  
"IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA DE VANGUARDIA", desarrollado por el estudiante  
Roberto José Orozco Molina, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Solares Peñate  
Coordinador de Electrónica



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 53. 2009.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Roberto José Orozco Molina titulado: "IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA DE VANGUARDIA", procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez



GUATEMALA, 31 DE AGOSTO 2,009.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 343.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA DE VANGUARDIA**, presentado por el estudiante universitario **Roberto José Orozco Molina**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, septiembre de 2009

/gdech





## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, a San Judas Tadeo, a San Francisco de Asis, a mis padres: Roberto Orozco y Vivian Molina, a mi abuelo Fernando y a mi hermana Lucia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A todos los maestros que he tenido desde la preprimaria hasta la universidad.

A todos mis colegas del trabajo.

Al Ing. Enrique Ruiz.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV

### 1. IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA (IDRF)

1.1 Sistemas automáticos de identificación.....	1
1.1.1 Sistemas de código de barras.....	1
1.1.2 Reconocimiento óptico de caracteres.....	1
1.1.3 Procedimientos biométricos.....	2
1.1.3.1 Identificación de voz.....	2
1.1.3.2 Identificación de huellas dactilares.....	2
1.1.4 Tarjetas inteligentes.....	3
1.1.4.1 Tarjetas de memoria.....	3
1.1.4.2 Tarjetas con microprocesador.....	4
1.1.5 Sistemas IDRF.....	4
1.1.6 Comparación con los demás sistemas de identificación...5	
1.1.7 Componentes de un sistema de IDRF.....	5
1.2 Rasgos distintivos de sistemas de IDRF.....	6

1.2.1 Construcción.....	6
1.2.1.1 Discos.....	6
1.2.1.2 Encapsulado de vidrio.....	6
1.2.1.3 Encapsulado de plástico.....	7
1.2.1.4 Tarjetas inteligentes.....	7
1.2.1.5 Etiquetas inteligentes.....	7
1.2.1.6 Bobina integrada.....	8
1.2.2 Frecuencia, alcance y acople.....	8
1.2.3 Procesamiento de información en el transpondedor.....	8
1.2.3.1 Sistemas de bajo nivel.....	8
1.2.3.2 Sistemas de nivel medio.....	9
1.2.3.3 Sistemas de alto nivel.....	9
1.2.4 Criterios de selección de sistemas de IDRF.....	10
1.2.4.1 Frecuencia de operación.....	10
1.2.4.2 Alcance.....	10
1.2.4.3 Requerimientos de seguridad.....	11
1.2.4.4 Capacidad de memoria.....	11
1.3 Principios fundamentales de operación.....	11
1.3.1 Transpondedor de 1 bit.....	11
1.3.1.1 Radiofrecuencia.....	11
1.3.1.2 Microondas.....	12

1.3.1.3	Divisor de frecuencia.....	13
1.3.1.4	Tipos electromagnéticos.....	13
1.3.1.5	Acustomagnéticos.....	14
1.3.2	Procedimiento dúplex completo y medio.....	14
1.3.2.1	Acople inductivo.....	14
1.3.2.2	Acople por retro dispersión electromagnética.	16
1.3.2.3	Acople por proximidad.....	17
1.3.2.4	Acople eléctrico.....	17
1.3.2.5	Transferencia de datos de lector a transpondedor.....	18
1.4	Principios físicos de sistemas de IDRF.....	18
1.4.1	Campo magnético.....	18
1.4.1.1	Intensidad de campo magnético H.....	18
1.4.1.2	Flujo magnético y densidad de flujo magnético.....	19
1.4.1.3	Inductancia L.....	20
1.4.1.4	Inductancia mutua M.....	20
1.4.1.5	Coefficiente de acople k.....	21
1.4.1.6	Ley de Faraday.....	22
1.4.1.7	Resonancia.....	24
1.4.1.8	Operación práctica de un transpondedor.....	27
1.4.2	Ondas electromagnéticas.....	30

1.4.2.1	Generación de ondas electromagnéticas.....	30
1.4.2.2	Densidad de campo de radiación S.....	31
1.4.2.3	Impedancia característica de onda e intensidad de campo E.....	32
1.4.2.4	Polarización de ondas electromagnéticas.....	33
1.4.2.5	Antenas.....	33
1.5	Rangos de frecuencia.....	38
1.5.1	Rangos de frecuencia utilizados.....	38
1.5.1.1	Rango 0-135 kHz.....	39
1.5.1.2	Rango 6.78 MHz.....	39
1.5.1.3	Rango 13.56 MHz.....	39
1.5.1.4	Rango 27.125 MHz.....	39
1.5.1.5	Rango 40.680 MHz.....	40
1.5.1.6	Rango 433.920 MHz.....	40
1.5.1.7	Rango 869.0 MHz.....	40
1.5.1.8	Rango 915.0 MHz.....	40
1.5.1.9	Rango 2.45 GHz.....	41
1.5.1.10	Rango 5.8 GHz.....	41
1.5.1.11	Rango 24.125 GHz.....	41
1.5.2	Selección de frecuencia apropiada.....	41
1.6	Codificación y modulación.....	43
1.6.1	Codificación en la banda base.....	44

1.6.2	Procedimientos de modulación digital.....	47
1.6.2.1	ASK (amplitude shift keying) .....	47
1.6.2.2	FSK (frequency shift keying) .....	49
1.6.2.3	PSK (phase shift keying) .....	49
1.7	Integridad de datos.....	50
1.7.1	Procedimientos checksum.....	50
1.7.2	Procedimientos anticolidión o de acceso múltiple.....	51
1.7.2.1	SDMA (space division multiple access) .....	51
1.7.2.2	FDMA (frequency domain multiple access) ...	52
1.7.2.3	TDMA (time domain multiple access) .....	52
1.7.2.4	Procedimiento ALOHA.....	53
1.8	Seguridad de datos.....	54
1.8.1	Autenticación simétrica mutua.....	54
1.8.2	Autenticación con claves derivadas.....	56
1.8.3	Transferencia de datos encriptados.....	57
1.9	Arquitectura de portadores electrónicos de datos.....	57
1.9.1	Transpondedor con función de memoria.....	58
1.9.1.1	Interfaz de alta frecuencia.....	58
1.9.1.2	Lógica de seguridad y de dirección.....	58
1.9.1.3	Arquitectura de memoria.....	59
1.9.2	Microprocesadores.....	61

1.9.2.1 Tarjeta de interfaz doble.....	61
1.9.3 Tecnología de memoria.....	61
1.9.3.1 RAM.....	62
1.9.3.2 EEPROM.....	62
1.9.3.3 FRAM.....	62
1.10 Lectores.....	62
1.10.1 Flujo de datos en una aplicación.....	62
1.10.2 Componentes de un lector.....	63
1.10.3 Interfaz de alta frecuencia.....	63
1.10.4 Unidad de control.....	63
1.10.5 Antenas para sistemas inductivos.....	64

## **2 CONSIDERACIONES DE SOFTWARE Y DE HARDWARE**

2.1 Consideraciones para brownout y blackout de suministro.....	65
2.2 Middleware y su importancia.....	66
2.3 Redes de IDRF.....	66
2.4 Detector de IDRF.....	67
2.5 Fuentes de poder alternativos.....	69
2.5.1 Solar.....	69
2.5.2 Movimiento (nano generadores) .....	69
2.5.3 Agua salada.....	70
2.6 Beneficios de procesadores y memoria basados en memristores..	70



<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Diagrama de circuito equivalente para espiras conductoras con acople magnético.....25
2. Representación de señales codificadas.....46

### TABLAS

- I. Frecuencia y longitudes de onda.....31
- II.  $r_F$  y  $\lambda$  para diferentes frecuencias.....31



## RESUMEN

El presente trabajo detalla los antecedentes, el funcionamiento, la teoría, las aplicaciones, la arquitectura y el futuro de los sistemas de identificación por radiofrecuencia IDRf.

Se describen los sistemas precursores a la IDRf como el código de barras, reconocimiento de caracteres, procedimientos biométricos y tarjetas de contacto con memoria o microprocesadores. Se explican las diferentes formas de clasificar los sistemas de IDRf, según la tecnología que usan, su alcance y su frecuencia entre otros rasgos.

El funcionamiento básico es detallado y los tipos de acople son explicados. Los principios físicos son especificados, empezando con el campo magnético, su intensidad, flujo, la inductancia, resonancia, luego son especificadas las ondas electromagnéticas y sus condiciones de propagación así como las antenas y los rangos de frecuencia en los que opera la IDRf.

La modulación y codificación es detallada, seguido de una descripción de procedimientos para conservar la integridad de los datos. Se presentan también consideraciones sobre la seguridad de datos, mediante autenticación y el encriptado de datos.

La arquitectura de los transpondedores es descrita, así como la clasificación de la memoria que se utiliza. El diseño y funcionamiento de los lectores es descrita.

Para finalizar se presentan unas consideraciones sobre el hardware y software actualmente en uso. Especificando mejoras al sistema de suministro de energía, a la reacción del sistema ante emergencias de suministro, se detallan los componentes necesarios para construir un detector de IDRf. Además se resume teoría pertinente a las redes de IDRf y por último se enumeran los beneficios de utilizar procesadores y memorias basadas en memristores.



## **OBJETIVOS**

- **General**

Resumir la teoría básica del funcionamiento de la IDRF.

- **Específicos**

1. Establecer posibles cambios al software que actualmente se usa.
2. Establecer posibles cambios al hardware que actualmente se usa.
3. Establecer posibles aplicaciones para la IDRF, y mejoras para las ya existentes.





## INTRODUCCIÓN

La capacidad de identificar, clasificar y ubicar productos, documentos y/o personas que tiene sus antecedentes en los códigos de barras e identificación por huellas dactilares entre otros. La amplia gama de dispositivos de IDRF disponibles, los rangos de frecuencia disponibles y sus alcances hacen de la IDRF una tecnología muy versátil para muchas aplicaciones.

El propósito del presente trabajo es detallar la clasificación, fundamentos de operación, alimentación eléctrica, seguridad de datos, protocolos de intercambio de información, principios físicos, teoría electromagnética, propiedades físicas de las antenas y rangos de frecuencia de los sistemas de IDRF.

La IDRF se está convirtiendo rápidamente en la tecnología dominante de identificación del mundo. Una de las presentaciones más versátiles de transpondedores disponibles en el mercado de hoy es la tarjeta de interfaz doble. Las redes de IDRF pueden beneficiarse de infraestructura preexistente como internet y las redes de telefonía celular.

Este trabajo puede ser valioso a la comunidad tecnológica, así como a todas las personas que entren en contacto directo e indirecto con algún producto o proceso que tenga que ver con IDRF. Las mejoras que este trabajo propone para hardware y software de sistemas de IDRF pueden ser fundamentales para la siguiente generación de IDRF.

# **1. IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA (IDRF)**

## **1.1 Sistemas automáticos de identificación**

### **1.1.1 Sistemas de códigos de barras**

Los códigos de barras son un código binario compuesto por un arreglo de barras y espacios en paralelo. Son ordenadas de acuerdo a un patrón predeterminado que representa elementos de datos que se refieren a un símbolo asociado. La secuencia compuesta por barras y espacios de ancho variable, puede ser interpretada numérica y alfanuméricamente. Su lectura se realiza con escaneo óptico de láser (los reflejos del láser sobre las barras negras y los espacios blancos). Pese a ser idénticos en su diseño físico, hay considerables diferencias entre las aproximadamente 10 configuraciones de códigos de barras en uso.

### **1.1.2 Reconocimiento óptico de caracteres**

El reconocimiento óptico de caracteres (OCR por sus siglas en inglés) se utilizó por primera vez en la década de 1960. Fuentes especiales fueron desarrolladas para esta aplicación que estilizaba caracteres de tal manera que fueran legibles por personas así como automáticamente por máquinas. La mayor ventaja de sistemas de OCR es la posibilidad de leer la información visualmente al momento de una falla o para verificar la información leída por la máquina (Virnich y Posten, 1992).

Hoy en día se utiliza en las áreas de producción, servicio y administración, así como en los bancos para registrar cheques (información personal es impresa al pie del cheque en una fuente OCR).

Sin embargo, los sistemas de OCR han fracasado en volverse universales, debido a su alto precio de implementación y lectores complicados en comparación con otros procedimientos de identificación.

### **1.1.3 Procedimientos biométricos**

La biometría se define como la ciencia de medir y contar los cuerpos de seres vivos. En lo que a la identificación se refiere, la biometría es todo procedimiento que busca identificar a las personas comparando sus rasgos físicos únicos e individuales. En la práctica estos son: huellas dactilares, huellas manuales, la voz y la retina (o iris).

#### **1.1.3.1 Identificación de voz**

En los sistemas basados en identificación de voz, el usuario habla cerca de un micrófono conectado con una computadora. El equipo realiza una conversión analógica a digital, luego estos datos son analizados por el software de identificación.

El objetivo de la identificación de voz es verificar la supuesta identidad de la persona basado en su voz. Esto se logra comparando las características del habla del sujeto contra un patrón de referencia previamente grabado. Si coinciden, entonces una acción puede ser permitida, por ejemplo, abrir una puerta.

#### **1.1.3.2 Identificación de huellas dactilares**

La criminología ha estado utilizando procedimientos de identificación de huellas dactilares para identificar criminales desde comienzos del siglo veinte. Este procedimiento se basa en la comparación de los surcos de la piel de los dedos y las marcas dejadas por estos.

Para la identificación de personas por medio de huellas dactilares, se utiliza un lector especializado, el sistema calcula un registro de datos del patrón leído y lo compara contra una referencia almacenada. Sistemas modernos requieren menos de medio segundo para reconocer y verificar una huella. A manera de prevenir fraudes violentos, se han desarrollado sistemas de identificación de huellas que pueden determinar si el dedo puesto en el lector le pertenece a una persona viva (Schmidhäusler, 1995).

### **1.1.4 Tarjetas inteligentes**

Una tarjeta inteligente es un sistema electrónico de almacenamiento de datos, posiblemente con capacidad de procesamiento (tarjeta microprocesador), que está incorporada en una tarjeta de plástico del tamaño de una tarjeta de crédito. Las primeras tarjetas inteligentes utilizadas para tarjetas de prepago de teléfono fueron introducidas en 1984. Las tarjetas son introducidas en el lector donde se logra una conexión con los puntos de contacto de la tarjeta mediante contactos con resortes del lector. A la tarjeta se le suministra energía y una señal de reloj mediante los contactos. Transferencia de datos entre el lector y la tarjeta se realiza mediante un puerto serial de entrada y salida bidireccional. Una clasificación de las tarjetas inteligentes se basa en su funcionalidad interna: la tarjeta de memoria y la tarjeta de microprocesador.

Una de las ventajas de la tarjeta inteligente es el hecho que la información guardada en ella puede ser protegida contra lectura y manipulación no deseada. Las tarjetas inteligentes facilitan todas las transacciones de información o financieros y los vuelven más seguros, sencillos y baratos. El mercado de las tarjetas inteligentes es uno de los de mayor crecimiento dentro de los subsectores de la industria microelectrónica.

Una desventaja de tarjetas inteligentes es la vulnerabilidad de los contactos al gasto, la corrosión y la suciedad. Lectores de uso frecuente requieren de mantenimiento y gastos adicionales tienden a mal funcionar, y aquellos ubicados en lugares públicos (teléfonos públicos) no pueden ser protegidos del vandalismo.

#### **1.1.4.1 Tarjetas de memoria**

En las tarjetas de memoria, regularmente EEPROM, se accede a la memoria, utilizando lógica secuencial (maquina de estados). Las tarjetas de memoria son económicas y es por ello que se utilizan en aplicaciones de gran escala y de presupuesto limitado (Rankl y Effing, 1996).

### **1.1.4.2 Tarjetas de microprocesador**

Las tarjetas de microprocesador contienen un microprocesador conectado a memoria segmentada (ROM, RAM y EEPROM).

En la ROM se almacena el sistema operativo y es programada en la fabricación del chip. El contenido de la ROM es idéntico para todos los chips de la misma tanda de producción y no puede ser reescrita.

La EEPROM contiene datos de las aplicaciones y código de programa relacionado a las aplicaciones. La lectoescritura de esta memoria es controlada por el sistema operativo.

La RAM es la memoria temporal de trabajo del microprocesador. Esta memoria es volátil es decir que al remover el suministro eléctrico se pierden todos los valores almacenados.

Las tarjetas de microprocesador son altamente flexibles en cuanto a sus aplicaciones o múltiples aplicaciones integradas. La parte del programa que se refiere a la aplicación específica no es cargada a la EEPROM hasta después de la manufactura y puede ser iniciada vía el sistema operativo.

Las tarjetas de microprocesador son utilizadas principalmente en aplicaciones que requieren seguridad, como lo son tarjetas de GSM y tarjetas de efectivo electrónico. La posibilidad de programar estas tarjetas facilita la adaptación a aplicaciones nuevas (Rankl y Effing, 1996).

### **1.1.5 Sistemas IDRF**

Los sistemas de IDRF guardan relación con las tarjetas inteligentes descritas con anterioridad. La información se almacena en un dispositivo electrónico portador de información, el transpondedor. A diferencia de la tarjeta inteligente, el suministro de energía y el intercambio de datos entre dispositivo y lector se logran con el uso de campos magnéticos o electromagnéticos. El acrónimo IDRF proviene de Identificación por Radiofrecuencia. Debido a las numerosas ventajas de la IDRF comparado con otros sistemas de identificación, la IDRF está empezando a dominar

nuevos mercados masivos de identificación, por ejemplo, el uso de tarjetas inteligentes sin contactos como pago para el transporte público.

### **1.1.6 Comparación con los demás sistemas de identificación**

- Cantidad de datos: alta.
- Densidad de datos: muy alta.
- Legibilidad por maquina: buena.
- Legibilidad por humanos: imposible.
- Susceptibilidad a la obstrucción, ubicación, orientación, desgaste, suciedad y/o humedad: ninguna.
- Inversión inicial: mediana.
- Gastos de operación: ninguno.
- Modificación o copia no autorizada: imposible.
- Velocidad de lectura: muy rápida.
- Distancia entre portadora de datos y lector: 0-15 m.

### **1.1.7 Componentes de un sistema IDRF**

Un sistema IDRF siempre está compuesto por dos componentes:

- El transpondedor, ubicado en el objeto a identificar;
- El interrogador o lector, puede ser un dispositivo de lectoescritura o de solo lectura.

Un lector regularmente contiene un módulo de radiofrecuencia (transceptor), una unidad de control y un elemento de acople con el transpondedor. Además muchos lectores incluyen un interfaz adicional (RS 232, RS 485, USB, etc.) que les permite reenviar la información recolectada a otro sistema.

El transpondedor, que es el dispositivo que en efecto porta la información de un sistema IDRF, usualmente consta de un elemento de acople y un microchip electrónico. Un transpondedor pasivo (sin batería) es legible únicamente cuando ingresa en la zona de interrogación de un lector. El suministro eléctrico lo provee el lector a través del acople sin contacto, así como la señal de reloj y los datos.

## **1.2 Rasgos distintivos de sistemas de IDRF**

Existen muchas maneras de clasificar a los sistemas de IDRF. Pueden operar como sistemas dúplex completo o medio y como sistemas secuenciales. En los sistemas secuenciales, el campo electromagnético de acople es interrumpido en intervalos periódicos, el transpondedor aprovecha estos intervalos para transmitir información al lector.

La alimentación eléctrica determina si un sistema es pasivo (sin alimentación) o activo (con batería). Otro rasgo importante es la frecuencia de operación, ya que este parámetro determina el rango de lectura del sistema. Las diferentes permutaciones de todas las características es lo que da un amplio surtido de opciones de sistemas de IDRF, debemos ser cuidadosos al momento de elegir un sistema para determinada aplicación.

### **1.2.1 Construcción**

#### **1.2.1.1 Discos**

El formato más común de construcción de transpondedor es el disco, un transpondedor en un encapsulado plástico, de diámetro variable, desde unos milímetros hasta 10 cm. Suele tener un orificio en el centro para sujetarlo con un tornillo.

#### **1.2.1.2 Encapsulado de vidrio**

Los transpondedores con encapsulado de vidrio también son conocidos como transpondedores de vidrio, tienen su origen en la identificación de animales y pueden ser introducidos debajo de la piel de estos.

Tubos de vidrio de 12-32 mm contienen un microchip y un capacitor montado en una placa de circuitos impreso (PCB). La bobina del transpondedor utiliza alambre de 0.03 mm de grosor envuelto en un núcleo de ferrita.

#### **1.2.1.3 Encapsulado de plástico**

Este encapsulado fue desarrollado para aplicaciones de altas exigencias mecánicas. Tiene la ventaja de poder albergar microchips con mayores dimensiones y su tolerancia a vibraciones es mayor. El transpondedor con encapsulado de plástico cumple con requerimientos adicionales de calidad, como soportar temperaturas diversas y aprobar pruebas de caída (Bruhnke, 1996).

#### **1.2.1.4 Tarjetas inteligentes**

El formato ID-1 utilizado comúnmente en las tarjetas de crédito y de teléfono (85.72 mm x 54.03 mm x 0.76 mm) está tomando importancia para las tarjetas inteligentes sin contacto en sistemas de IDRF. Una de las ventajas de este formato para los sistemas de acople inductivo es el tamaño del área para la bobina, el cual aumenta el alcance de las tarjetas inteligentes.

Las tarjetas inteligentes sin contacto se fabrican mediante la exposición a altas temperaturas y alta presión a cuatro láminas de PVC, previamente se introduce el transpondedor en medio de las láminas. Esto produce una unión permanente entre las láminas.

#### **1.2.1.5 Etiquetas inteligentes**

Las etiquetas inteligentes se refieren a un formato de transpondedor del grosor de una hoja de papel, la bobina es adherida a una lámina de plástico de 0.1 mm de grosor. Estos transpondedores vienen en un rollo de calcomanías autoadhesivas, son delgados, flexibles y pueden ser reutilizadas mediante la asociación a un código de barras.



### **1.2.1.6 Bobina integrada**

En los formatos de construcción detallados con anterioridad, los transpondedores consistían de una bobina y chip separado unidos por medios convencionales. En la búsqueda de la miniaturización de los transpondedores, se integró la bobina al circuito integrado. La bobina es ubicada sobre el aislante del chip de silicona en forma espiral y en una sola capa. La bobina es unida con el chip mediante orificios en la capa de aislante (Jurisch, 1995, 1998). El ancho de la pista de la bobina varía de 5-10  $\mu\text{m}$  y el grosor varía de 15-30  $\mu\text{m}$ . El tamaño final del chip y del transpondedor es de 3 mm x 3 mm regularmente se usa el encapsulado plástico.

### **1.2.2 Frecuencia, alcance y acople**

Los rasgos distintivos más importantes de los sistemas de IDRFB son la frecuencia de operación del lector, el método de acople físico y el alcance del sistema. Las frecuencias de operación varían desde 135 kHz hasta 5.8 GHz. Campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos se utilizan para el acople físico. El alcance de los sistemas varía de unos milímetros hasta 15 m.

Los sistemas con un alcance pequeño, hasta 1 cm, son conocidos como sistemas de acople cercano. Los sistemas con alcance de lectoescritura de hasta 1 m, se conocen como sistemas de acople remoto. Los sistemas con alcance mayor de un metro se conocen como sistemas de largo alcance o sistemas de retro dispersión. Sistemas pasivos de retro dispersión tienen alcance de hasta 3 m, mientras que sistemas activos de retro dispersión pueden alcanzar los 15 m.

### **1.2.3 Procesamiento de información en el transpondedor**

#### **1.2.3.1 Sistemas de bajo nivel**

Los sistemas de monitoreo electrónico de artículos representan los sistemas de menor nivel entre los sistemas de bajo nivel. Estos sistemas revisan y monitorean la posible presencia de un transpondedor en la zona de interrogación de un lector.

Transpondedores de sólo lectura con microchip también son considerados como sistemas de bajo nivel. Estos transpondedores tienen información grabada de forma permanente que generalmente es un número de serie único compuesto de varios bytes. Al momento de introducir un transpondedor de sólo lectura en el campo del lector, el transpondedor empieza a transmitir repetidamente su número de serie, es decir que existe flujo de información en un solo sentido, del transpondedor hacia el lector. En la práctica es necesario evitar varios transpondedores de solo lectura dentro de la zona de interrogación del lector, de lo contrario puede darse la colisión de datos.

Los sistemas de sólo lectura operan a todas las frecuencias disponibles a los sistemas de IDRF. Los alcances obtenidos generalmente son altos gracias al bajo consumo de potencia del microchip.

#### **1.2.3.2 Sistemas de nivel medio**

Los sistemas de nivel medio son conformados por los sistemas con memoria de lectoescritura. La memoria puede variar de unos bytes hasta cientos de Kilobytes en formato EEPROM (transpondedor pasivo) o SRAM (transpondedor activo). Estos transpondedores pueden ejecutar comandos sencillos del lector para la lectura o escritura en memoria, además contemplan procedimientos anticolidión. Procedimientos criptológicos son comunes en estos sistemas.

#### **1.2.3.3 Sistemas de alto nivel**

Son sistemas que tienen un microprocesador y un sistema operativo de tarjeta inteligente. El hecho de poseer un microprocesador facilita algoritmos complicados de encriptación y autenticación. El nivel más alto de los sistemas de alto nivel lo ocupan las tarjetas inteligentes de interfaz doble que poseen un coprocesador criptográfico.

Los sistemas de alto nivel por lo regular operan a 13.56 Mhz.

## **1.2.4 Criterios de selección de sistemas de IDRF**

### **1.2.4.1 Frecuencia de operación**

Sistemas con frecuencia de operación entre 100 kHz y 30 MHz, operan mediante acople inductivo. Sistemas microonda tienen frecuencia de operación 2.45 - 5.8 GHz usan campos electromagnéticos para su acople.

La tasa de absorción de onda para el agua o sustancias no conductoras es menor por un factor de 100,000 a 100 kHz que a 1 GHz. Es evidente que a menores frecuencias, menor absorción de onda. A frecuencias menores hay mejor penetración de objetos (Schürmann, 1994). Un ejemplo de esto son los transpondedores ubicados en la panza de la vaca, que pueden ser leídos desde el exterior a frecuencias menores de 135 kHz.

Los sistemas microondas tienen un alcance mayor que los sistemas inductivos, regularmente de 2-15 m. en contraste con los sistemas inductivos, los sistemas microondas requieren respaldo de batería.

Otro factor de importancia es la sensibilidad a la interferencia electromagnética. Los sistemas inductivos son altamente sensibles a estas variaciones. Otros factores son la alta capacidad de memoria y la alta resistencia a temperatura de los sistemas microonda (Bachthaler, 1997).

### **1.2.4.2 Alcance**

El alcance depende de los siguientes factores.

- La precisión de posición del transpondedor
- La distancia mínima entre varios transpondedores en operación práctica.
- La velocidad del transpondedor en la zona de interrogación del lector

### **1.2.4.3 Requerimientos de seguridad**

Se trata de la encriptación y autenticación. Se debe estudiar el incentivo del atacante (dinero, bienes materiales, etc.) para poder adaptar las necesidades de seguridad. Para evaluar el motivo clasificamos las aplicaciones en dos grupos.

- Aplicaciones industriales o cerradas.
- Aplicaciones públicas ligadas a dinero y bienes materiales.

### **1.2.4.4 Capacidad de memoria**

El tamaño del chip y por ende el precio es determinado en parte por su capacidad de memoria. Para sistemas con acople inductivo la memoria EEPROM es preferida. Para sistemas microonda la memoria SRAM es utilizada, esta última requiere respaldo de batería.

## **1.3 Principios fundamentales de operación**

Este apartado describe la interacción básica entre transpondedor y lector, particularmente la fuente de poder y la transferencia de datos.

### **1.3.1 Transpondedor de 1 bit**

Un bit es la cantidad más pequeña de información que puede ser representada y tiene únicamente dos estados: 1 y 0. En un sistema de IDR de transpondedor de 1 bit esto se traduce a ‘transpondedor en la zona de interrogación’ y ‘ningún transpondedor en la zona de interrogación’. La principal aplicación de este tipo de sistema es en los dispositivos electrónicos contra robo en los almacenes.

#### **1.3.1.1 Radiofrecuencia**

El lector (detector) genera un campo magnético variante en el rango de radiofrecuencia. Si el circuito resonante LC se acerca al campo variante, energía del campo puede ser inducida en el circuito LC por medio de su bobina (Ley de Faraday). Cuando la frecuencia del campo variante coincide con la frecuencia resonante, se produce una oscilación en el circuito resonante que actúa en contra del

campo magnético variante externo, esto produce una pequeña caída de tensión en el detector y en el generador.

Regularmente esta caída de tensión es pequeña y difícil de detectar. Para detectar este cambio se usa un truco que consiste en barrer la frecuencia del campo magnético variante a través de un rango, usualmente 8.2 MHz +/- 10% (Jörn, 1994).

Cuando la frecuencia barrida del generador coincide con la frecuencia resonante del circuito resonador (en el transpondedor), el transpondedor empieza a oscilar creando una clara disminución en los voltajes en las bobinas de generación y detección.

Antenas de marco de gran área (como las que se aprecian en almacenes y supermercados) se utilizan para generar el campo magnético variante en la zona de detección.

### **1.3.1.2 Microondas**

Los sistemas en el rango microondas hacen uso de la generación de armónicos en componentes con curvas características no lineales como diodos. El armónico de un voltaje senoidal A con una frecuencia definida  $f_a$  es una señal B cuya frecuencia  $f_b$  es un múltiplo entero de  $f_a$ . Los sub armónicos de  $f_a$  son  $2f_a$ ,  $3f_a$ ,  $4f_a$  etc. El enésimo múltiplo de la frecuencia de salida se denomina el enésimo armónico. La frecuencia de salida es denominada la onda portadora o primer armónico.

Un diodo de capacitancia se conecta a la base de un dipolo ajustado a la onda portadora, para una portadora con frecuencia de 2.45 GHz el dipolo tiene una extensión de 6 cm. Si el transpondedor se encuentra dentro del alcance del transmisor, entonces el flujo de corriente en el diodo genera y transmite armónicos de la portadora. Señales con características distintivas se aprecian a dos o tres veces la frecuencia de la portadora, dependiendo del diodo seleccionado.

Si la amplitud o frecuencia de la portadora es modulada (ASK, FSK), entonces todas los armónicos presentan esta modulación también. Esto puede ser de utilidad para distinguir señales útiles de señales de interferencia.

### **1.3.1.3 Divisor de frecuencia**

Opera en el rango de 100 – 135.5 kHz. Los transpondedores constan de un microchip y una bobina de circuito resonante con un capacitor. El microchip recibe su suministro de energía del campo magnético del dispositivo de seguridad. La frecuencia recibida por el transpondedor es dividida en dos por el microchip y enviada de vuelta al transmisor.

### **1.3.1.4 Tipos electromagnéticos**

Los tipos electromagnéticos operan usando campos electromagnéticos fuertes en el rango de 10 Hz – 20 kHz. Los elementos de seguridad contienen una tira de metal magnética con una curva de histéresis con una marcada pendiente. La magnetización de estas tiras es revertida periódicamente y son llevadas a la saturación magnética por un fuerte campo magnético variante. La relación notoriamente no lineal entre la fuerza de campo aplicada  $H$  y la densidad de flujo magnético  $B$  en las cercanías de la saturación, más el cambio repentino de densidad de flujo  $B$  en la vecindad del cruce por cero de la fuerza de campo aplicada  $H$ , genera armónicos a la frecuencia base del dispositivo de seguridad, estos armónicos pueden ser recibidos y evaluados por el dispositivo.

Este esquema se optimiza al superponer señales adicionales con frecuencias sobre la frecuencia base. No sólo armónicos son generados sino también señales de suma y de resta, y son estas últimas las que son detectadas por el dispositivo de seguridad.

Por las bajas frecuencias este esquema es práctico únicamente para productos que contienen metal.

### **1.3.1.5 Acustomagnéticos**

Consiste en pequeñas cajas de plástico de 40 mm de largo, de 8 – 14 mm de ancho y 1 mm de altura. La caja contiene dos tiras metálicas, una tira metálica magnética fijada a la caja de plástico, y una tira de metal puesta de tal forma que se le permite vibrar libremente (Zechbauer, 1999).

Metales ferromagnéticos sufren sutiles cambios en su longitud en un campo magnético de fuerza de campo H. Este efecto se conoce como magneto constricción y es resultado de pequeños cambios en la distancia interatómica como consecuencia de la magnetización. En un campo magnético variante, una tira metálica magneto constrictiva vibra en el sentido longitudinal a la frecuencia del campo.

### **1.3.2 Procedimiento dúplex completo y medio**

En el procedimiento dúplex medio, la transferencia de datos desde el transpondedor al lector, se alterna con la transferencia de datos del lector al transpondedor. Para frecuencias menores a 30 MHz regularmente se utiliza modulación de carga con o sin portadora, lo cual simplifica la circuitería.

En el procedimiento dúplex completo, la transferencia de datos desde lector a transpondedor y la transferencia de datos desde transpondedor a lector ocurren simultáneamente, esto incluye procedimientos donde se transmite a una frecuencia distinta a la del lector desde el transpondedor.

Ambos procedimientos tienen en común el hecho de que la transferencia de energía entre lector y transpondedor es continua. Contrario a los sistemas SEQ o secuenciales, que interrumpen periódicamente el suministro de energía y es en estos lapsos que el transpondedor transmite su información.

#### **1.3.2.1 Acople inductivo**

Un transpondedor con acople inductivo consta de un dispositivo electrónico portador de datos, con microchip y una bobina que funciona como antena. Regularmente estos transpondedores son pasivos y el lector provee la energía necesaria para el funcionamiento. El lector genera un campo magnético fuerte que

induce voltaje en la bobina del transpondedor, este potencial es rectificado y se utiliza para alimentar al dispositivo electrónico. De ambos lados de este esquema hay capacitores en paralelo con las bobinas, cuyos valores determinan la frecuencia de resonancia común.

Este esquema puede ser considerado también como de acople de transformador. Su eficiencia está relacionada directamente con la frecuencia de operación  $f$ , el número de vueltas  $N$ , el área de bobina  $A$ , el ángulo entre las bobinas y la distancia entre las mismas.

La transferencia de datos desde el transpondedor hacia el lector ocurre por medio de la modulación de carga. Dado que el comportamiento de este sistema es como el de un transformador donde la bobina principal es la bobina del lector y la bobina secundaria es la bobina del transpondedor. Si un transpondedor resonante es puesto en un campo magnético variante de un lector, el transpondedor extrae energía del campo magnético. La retroalimentación resultante en la antena del lector puede ser representada como la impedancia transformada  $Z_t$  en la bobina del lector. La conmutación de una resistencia de carga en el transpondedor da lugar a cambios en  $Z_t$  y por ende el voltaje en el lector varía. Este tiene un efecto de modulación de amplitud del voltaje en la bobina del lector, por el transpondedor. Si la temporización del encendido y apagado de la resistencia de carga es controlada por la información del transpondedor, esta información puede ser transferida del transpondedor al lector. Esto es lo que se le conoce como modulación de carga.

Para la recepción de la información del lado del lector basta con un esquema de demodulación de AM, por ejemplo, la demodulación de diodo, para recuperar la información.

También se puede agregar una resistencia de carga adicional que debe conmutar a una frecuencia alta  $f_s$ , entonces aparecen dos líneas espectrales a  $\pm f_s$  de la frecuencia del lector, estas son fáciles de detectar. La nueva frecuencia es conocida como sub portadora. La modulación de la sub portadora se hace mediante ASK, FSK o PSK, mediante el flujo de los datos en el tiempo.



### 1.3.2.2 Acople por retro dispersión electromagnética

Los sistemas IDRF con alcances mayores a un metro son llamados sistemas de largo alcance, operan a frecuencias UHF y microondas, las longitudes de onda cortas facilitan la construcción de antenas pequeñas y eficientes. La eficiencia es determinada por la potencia emitida del lector y la recibida por el transpondedor, las pérdidas que se presentan guardan relación con la separación entre antenas, la frecuencia de operación y las ganancias de antena. Para aumentar el alcance de los transpondedores, pueden tener respaldo de batería.

Es sabido en el campo de la tecnología del radar, que las ondas electromagnéticas son reflejadas por objetos con dimensiones mayores que aproximadamente la mitad de su longitud de onda. La eficiencia con la cual un objeto refleja las ondas electromagnéticas es descrita por su sección transversal de reflexión. Objetos que tienen resonancia con la onda frontal que incide en ellos (antenas) tienen una sección transversal de reflexión alta.

Una potencia  $P_1$  se emite desde la antena del lector, una pequeña proporción de esta alcanza la antena del transpondedor, la potencia  $P_1'$  es rectificadas mediante diodos Schottky y sirve de suministro al transpondedor.

Cierta cantidad de  $P_1'$  es reflejada por la antena y devuelta como  $P_2$ . Las propiedades de reflexión (sección transversal de reflexión) pueden ser influenciadas al modificar la carga conectada a la antena del transpondedor. Se conecta una resistencia conmutable en paralelo con la antena del transpondedor. El flujo de información controla la conmutación de la carga adicionada y de esta manera se modula la potencia  $P_2$  reflejada desde la antena del transpondedor, transfiriendo así la información desde el transpondedor al lector.

Cierta cantidad de la potencia  $P_2$  reflejada es recibida por la antena del lector donde se determina la dirección de la potencia y posteriormente se le extrae la información. Mediante la ecuación del radar, la relación entre potencia transmitida y potencia recibida de vuelta y otras variables como el tiempo es posible determinar distancias entre lector y transpondedor.

### **1.3.2.3 Acople por proximidad**

El alcance efectivo de estos sistemas es de 0.1 – 1 cm, es decir que el transpondedor es insertado o puesto encima del lector para su operación. El principio de operación es la de un transformador, y la ventaja que presenta la inserción o puesta encima del transpondedor en el lector es el posicionamiento preciso de las bobinas principal (lector) y secundario (transpondedor). La corriente alterna del primario induce corriente alterna en el secundario, luego esta se rectifica para suministrar energía al chip.

Por su buena transferencia de potencia, este esquema de alimentación se utiliza en sistemas con mayor demanda de energía, por ejemplo aquellos equipados con microprocesadores.

La modulación de carga con subportadora se usa en la transferencia de datos por acople magnético desde el transpondedor hacia el lector.

También se puede utilizar el acople capacitivo para la transmisión de datos.

### **1.3.2.4 Acople eléctrico**

En los sistemas que utilizan el acople eléctrico (capacitivo), el lector genera un fuerte campo eléctrico de alta frecuencia. La antena del lector es un gran electrodo, regularmente una placa o lámina metálica. Si se le aplica un voltaje de alta frecuencia al electrodo se forma un campo eléctrico de alta frecuencia entre tierra y el electrodo. Los voltajes necesarios para crear estos campos varían desde unos ciento de voltios hasta unos miles, estos alimentan un circuito resonante en el lector que determina la frecuencia de transmisión del lector.

La antena del transpondedor es compuesta de dos superficies conductoras (electrodos), si el transpondedor se encuentra dentro del campo eléctrico del lector entonces aparece un voltaje entre los dos electrodos del transpondedor. Este voltaje se utiliza para suministrar energía al transpondedor.

La transferencia de información desde el transpondedor al lector se realiza mediante modulación de carga. Se adiciona una resistencia de carga conmutable en el

circuito del transpondedor, esta conmutación hace variar ligeramente el circuito resonante del lector, por ende varían los voltajes presentes en los componentes del circuito resonante del lector. Se obtiene una modulación de amplitud por el transpondedor, al sincronizar la conmutación de la resistencia de carga con la información en el tiempo, se logra transmitir información desde el transpondedor hacia el lector.

### **1.3.2.5 Transferencia de datos de lector a transpondedor**

Todas las técnicas de modulación conocidas se pueden usar para la transferencia de datos desde lector hacia transpondedor en sistemas dúplex completo y medio, independientemente de su frecuencia de operación o tipo de acople.

- ASK: modulación por desplazamiento de amplitud. Este esquema es especialmente popular por la facilidad de demodulación.
- FSK: modulación por desplazamiento de frecuencia.
- PSK: modulación por desplazamiento de fase.

## **1.4 Principios físicos de sistemas de IDRF**

### **1.4.1 Campo magnético**

#### **1.4.1.1 Intensidad de campo magnético H**

Toda carga en movimiento (electrones en conductores o en un vacío) es decir corriente, se asocia con un campo magnético. La magnitud del campo magnético es descrita por la intensidad de campo magnético  $H$  sin importar las propiedades del espacio.

En forma general se puede decir que la integral de contorno de la intensidad de campo magnético a lo largo de una curva cerrada es equivalente a la corriente que por ella circula (Krauss y Fleisch, 2000).

**Ecuación 1:**

$$\sum I = \oint \vec{H} \cdot \vec{ds}$$

Podemos usar esta ecuación para estimar H para distintos conductores.

En un conductor recto, la intensidad de campo a lo largo de la línea circular de flujo a una distancia r es constante. Lo siguiente es cierto (Krauss y Fleisch, 2000).

**Ecuación 2:**

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

Se puede utilizar la siguiente ecuación para estimar la intensidad de campo a una distancia x del centro de una espira circular de radio R en sentido perpendicular al área de la espira (Paul, 1993):

**Ecuación 3:**

$$H = \frac{I \cdot N \cdot R^2}{2 \sqrt{(R^2 + x^2)^3}}$$

**1.4.1.2 Flujo magnético y densidad de flujo magnético**

El flujo magnético que atraviesa un área superficial, es la integral de la componente normal del campo magnético por  $\mu$  sobre el área, para un campo uniforme, se reduce a un producto escalar dado en Webers (Krauss y Fleisch, 2000).

**Ecuación 4:**

$$\Phi = B \cdot A = \mu H \cdot A$$

Al dividir el flujo magnético entre el área A se obtiene la densidad de flujo magnético B. Para medio isotrópicos B y H tienen la misma dirección y son dados en Webers/m<sup>2</sup> o Teslas.

**Ecuación 5:**

$$B = \mu H = \mu_r \mu_0 H$$

Donde  $\mu$  es la permeabilidad del medio en H/m,  $\mu_0$  es la permeabilidad del aire o vacío con un valor de  $4\pi 10^{-7}$  H/m y  $\mu_r = \mu/\mu_0$  llamada la permeabilidad relativa.

**1.4.1.3 Inductancia L**

Un campo magnético y por ende un flujo magnético es generado alrededor de un conductor de cualquier forma. Esta será particularmente intensa si la forma es circular (espira). Usualmente hay N espiras con el mismo área A a través del cual circula la misma corriente I. Cada espira contribuye la misma cantidad de flujo  $\Phi$  al flujo total  $\Psi$  (Paul, 1993).

**Ecuación 6:**

$$\Psi = \sum_N \Phi_N = N \cdot \Phi = N \cdot \mu \cdot H \cdot A$$

La proporción de flujo que surge en un área encerrada por la corriente I, entre la corriente en el conductor que la encierra es denotada por la inductancia L

**Ecuación 7:**

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N \cdot \Phi}{I} = \frac{N \cdot \mu \cdot H \cdot A}{I}$$

**1.4.1.4 Inductancia mutua M**

Si una espira conductora 2 con área  $A_2$  está ubicada en la vecindad de la espira conductora 1 con área  $A_1$ , por el cual circula corriente, entonces la espira 2 estará expuesta a cierta cantidad del flujo magnético que atraviesa  $A_1$ . Ambos circuitos están conectados por medio de este flujo parcial o acoplamiento por flujo. La magnitud del flujo de acople  $\Psi_{21}$  depende de la geometría de las espiras, las posiciones relativas de las espiras y las propiedades magnéticas del medio (permeabilidad).

Parecido con la inductancia, la inductancia mutua  $M_{21}$  de la espira conductora 2 en relación con la espira conductora 1 se define como la tasa entre el flujo parcial  $\Psi_{21}$  encerrada por la espira 2 y la corriente  $I_1$  en la espira 1 (Paul, 1993).

**Ecuación 8:**

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}(I_1)}{I_1} = \oint_{A_2} \frac{B_2(I_1)}{I_1} \cdot dA_2$$

La inductancia mutua de la espira 1 con respecto a la espira 2 es la misma que la de la espira 2 con respecto a la 1.

Para un campo magnético homogéneo la inductancia mutua se simplifica de la siguiente manera.

**Ecuación 9:**

$$M_{12} = \frac{B_2(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} = \frac{\mu_0 \cdot H(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1}$$

Sustituyendo  $H(I_1)$  por la expresión en la ecuación 3 y reemplazando  $R^2\pi$  por A se obtiene:

**Ecuación 10:**

$$M_{12} = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot R_1^2 \cdot N_2 \cdot R_2^2 \cdot \pi}{2 \sqrt{(R_1^2 + x^2)^3}}$$

Para garantizar que el campo sea homogéneo en el área 2, se debe cumplir la condición  $A_2 \leq A_1$ . Esta ecuación únicamente es válida cuando los ejes x de las espiras comparten un mismo plano. Si se diera el caso de  $A_2 \geq A_1$ , bastará con sustituir el  $R_1$  del denominador por  $R_2$ .

**1.4.1.5 Coeficiente de acople k**

El coeficiente de acople k se utiliza para hacer una predicción cualitativa del acople de espiras conductoras independientemente de sus dimensiones geométricas.

**Ecuación 11:**

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

El coeficiente de acople  $k$  siempre varía entre dos casos extremos  $0 \leq k \leq 1$ .

- $k=0$ : desacople total debido a gran distancia o blindaje magnético.
- $k=1$ : acople total, ambas bobinas tiene el mismo flujo magnético.

Para dos espiras conductoras paralelas centradas en el mismo eje  $x$ , el coeficiente de acople puede ser aproximado mediante la siguiente formula, sin embargo esto es válido únicamente si los radios de las espiras cumplen con la condición  $r_{Transp} \leq r_{Lector}$ . La distancia que separa las espiras sobre el eje  $x$  es denotado por  $x$ .

**Ecuación 12:**

$$k(x) \approx \frac{r_{Transp}^2 \cdot r_{Lector}^2}{\sqrt{r_{Transp} \cdot r_{Lector}} \cdot (\sqrt{x^2 + r_{Transp}^2})^3}$$

Para casos donde  $r_{Transp} \geq r_{Lector}$  basta con sustituir  $r_{Transp}$  por  $r_{Lector}$  dentro del radical del denominador que está elevada a la tercera potencia.

**1.4.1.6 Ley de Faraday**

Cualquier cambio al flujo magnético genera un campo eléctrico. Esta característica del campo magnético es descrita por la ley de Faraday. El efecto del campo eléctrico generado depende de ciertas condiciones del ambiente (Paul, 1993).

- Vacío: el campo da lugar a un campo eléctrico rotacional. Cambios periódicos en el flujo magnético (corriente de alta frecuencia en la bobina de una antena) generan un campo electromagnético que se propaga en la distancia.
- Espira conductora abierta: aparece un voltaje inducido entre las terminales abiertas de la espira. Este voltaje corresponde a la integral de línea de la

intensidad de campo eléctrico que se genera a lo largo de la trayectoria de la espira en el espacio.

- Superficie metálica: se induce una intensidad de campo eléctrico en la superficie ocasionando el flujo de portadores libres en el sentido del campo eléctrico.

En su forma general la ley de Faraday establece:

**Ecuación 13:**

$$u_i = \oint E_i \cdot ds = - \frac{d\Psi(t)}{dt}$$

Una corriente variante en el tiempo  $i_1(t)$  en la espira 1 genera un flujo magnético variante en el tiempo. Según la ley de la inductancia un voltaje es inducido en las espiras 1 y 2 por las cuales atraviesa un flujo magnético, podemos distinguir dos casos:

- Auto-inductancia: el cambio en el flujo induce un voltaje en el mismo circuito.
- Inductancia mutua: el cambio en el flujo induce voltaje en el circuito adyacente acoplado por inductancia mutua.

Un flujo variante en el tiempo en la espira 1 induce voltaje en la espira 2 por la inductancia mutua  $M$ . La circulación de corriente por la resistencia  $R_2$  (resistencia de bobina de la antena del transpondedor) también ocasiona una caída de voltaje. La corriente que circula por la espira 2 también genera flujo magnético adicional. La corriente que circula por la resistencia de carga es igual a  $u_2/R_L$ . Lo anterior se resume en la ecuación:

**Ecuación 14:**

$$u_2 = + \frac{d\Psi_2}{dt} = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2$$



En la práctica ambas corrientes son alternas de alta frecuencia por lo que conviene usar notación compleja ( $\omega=2\pi f$ ). Si se sustituye  $i_2$  por  $u_2/R_L$  además del cambio de notación se obtiene la siguiente ecuación y su resultado:

**Ecuación 15:**

$$u_2 = \frac{j\omega M \cdot i_1}{1 + \frac{j\omega L_2 + R_2}{R_L}} \quad \begin{cases} R_L \rightarrow \infty: u_2 = j\omega M \cdot i_1 \\ R_L \rightarrow 0: u_2 \rightarrow 0 \end{cases}$$

#### 1.4.1.7 Resonancia

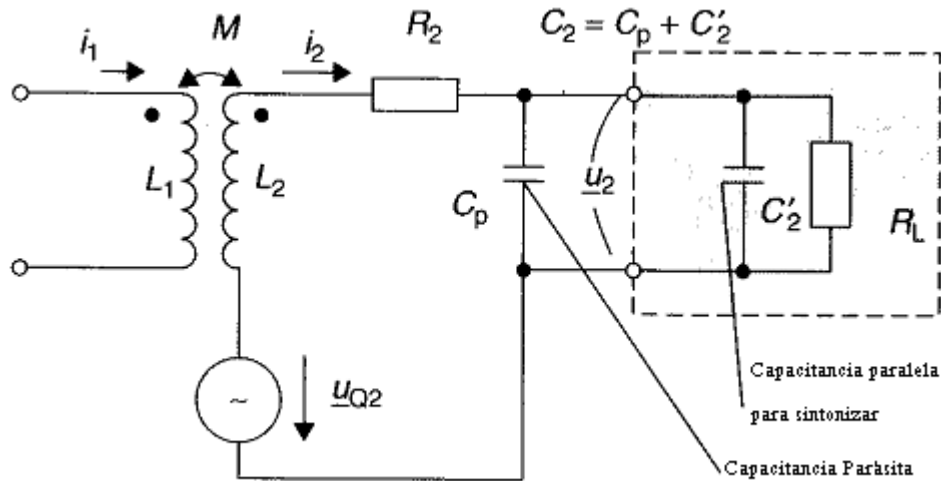
El voltaje  $u_2$  que es inducido en la bobina del transpondedor, se usa para suministrar energía a la memoria de datos (microchip) de un transpondedor pasivo. A manera de mejorar la eficiencia de esta transferencia de energía, un capacitor  $C_2$  se adiciona en paralelo con la bobina del transpondedor  $L_2$  para formar un circuito resonante en paralelo con una frecuencia de resonancia que corresponde con la frecuencia de operación del sistema de IDRF en cuestión. La frecuencia de resonancia para un circuito resonante paralelo se calcula mediante la ecuación de Thomson.

**Ecuación 16:**

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_2}}$$

En la práctica  $C_2$  incluye capacitancias parásitas en paralelo con la carga.

**Figura 1. Diagrama de circuito equivalente para espiras conductoras con acople magnético.**



La resistencia natural de la bobina  $L_2$  es  $R_2$ , y el consumo de corriente del chip es representado por la resistencia de carga  $R_L$ . Si el voltaje  $u_{Q2}$  es inducido en  $L_2$  entonces el siguiente voltaje  $u_2$  puede ser medido entre las terminales del resistor de carga:

**Ecuación 17:**

$$u_2 = \frac{u_{Q2}}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)}$$

Ahora sustituimos  $u_{Q2} = u_i = j\omega M \cdot i_1 = j\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 L_2} \cdot i_1$  basados en las ecuaciones 11 y 15, esto da lugar a la relación entre el voltaje  $u_2$  y el acople magnético de las bobinas de lector y transpondedor que se expresa así:

**Ecuación 18:**

$$u_2 = \frac{j\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 L_2} \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)}$$

El voltaje del circuito resonante es sustancialmente más grande que el voltaje de bobina en la frecuencia resonante.

El factor Q es una medida del voltaje y corriente aumentada en el circuito resonante a la frecuencia de resonancia. Su recíproco  $1/Q$  denota el amortiguamiento de circuito d. El factor Q es sencillo de calcular para el caso que se ha venido estudiando, sabemos que  $\omega=2\pi f$  entonces:

**Ecuación 19:**

$$Q = \frac{1}{R_2 \cdot \sqrt{\frac{C_2}{L_2}} + \frac{1}{R_L} \cdot \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}} = \frac{1}{\frac{R_2}{\omega L_2} + \frac{\omega L_2}{R_L}}$$

Por simple inspección se deduce que cuando  $R_2$  tiende a infinito y  $R_L$  tiende a cero, el factor Q también tenderá a cero. Cuando  $R_2$  tiende a cero y  $R_L \gg 0$  (lo que se traduce como bajo consumo de potencia en el chip del transpondedor), el factor Q tendrá valores elevados. Es evidente entonces que el voltaje  $u_2$  es dependiente de  $R_2$  y  $R_L$ .

Vale la pena comentar que cuando se varia el valor de  $L_2$  variando también  $C_2 = 1/\omega^2 L_2$  para mantener condiciones de resonancia, se puede observar claramente un valor máximo. Ahora bien si consideramos el factor Q como función de  $L_2$  se obtendrá el máximo para el mismo valor  $L_2$ .

Esto indica que para cada par de parámetros  $R_2$  y  $R_L$  existe un valor de  $L_2$  al cual el factor Q y por ende el voltaje  $u_2$  son máximos. Esto debe considerarse en el diseño de transpondedores, para optimizar el alcance de energía de un sistema con acople inductivo de IDRF.

### 1.4.1.8 Operación práctica de un transpondedor

#### Alimentación

Con lo que respecta al suministro de energía, los transpondedores activos poseen una batería de respaldo que alimenta a la portadora de datos. En estos transpondedores el voltaje  $u_2$  usualmente se utiliza solo como una señal de ‘wake up’, y ocasiona que el circuito pase del modo ‘sleep’ al modo ‘stand-by’. Al concluirse la transacción con el lector retorna al modo ‘sleep’ o ‘stand-by’ o cuando el voltaje  $u_2$  cae por debajo de cierto umbral.

En los transpondedores pasivos la energía para la portadora de datos debe provenir de  $u_2$ , para lograr esto se rectifica el potencial  $u_2$  mediante un puente rectificador y un capacitor.

#### Intensidad de campo de interrogación $H_{min}$

Ahora podemos hacer uso de los resultados del apartado 1.4.1.7 para calcular la intensidad de campo de interrogación de un transpondedor. Esto es la intensidad de campo mínima  $H_{min}$  (a una distancia máxima  $x$  entre transpondedor y lector) al cual el voltaje de suministro  $u_2$  es lo suficiente para la operación de la portadora de datos.

El voltaje inductivo (voltaje de suministro  $u_{Q2} = u_i$ ) de una bobina de transpondedor puede ser calculada mediante la ecuación 13, para un campo magnético homogéneo y sinusoidal en el aire, se deriva que:

#### Ecuación 20:

$$u_i = \mu_0 \cdot A \cdot N \cdot j\omega \cdot H_{eff}$$

Donde  $H_{eff}$  es la intensidad efectiva de campo del campo magnético sinusoidal,  $\omega$  es la frecuencia angular del campo,  $N$  el número de vueltas de la bobina del transpondedor  $L_2$  y  $A$  el área transversal de la bobina. Ahora sustituimos  $u_{Q2} = u_i$  de la ecuación 20 en la ecuación 17, lo cual nos da:

**Ecuación 21:**

$$u_2 = \frac{j\omega \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N \cdot H_{eff}}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)}$$

Realizando la multiplicación del denominador:

**Ecuación 22:**

$$u_2 = \frac{j\omega \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N \cdot H_{eff}}{j\omega \left(\frac{L_2}{R_L} + R_2 C_2\right) + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)}$$

Despejamos  $H_{eff}$  que es equivalente a  $H_{min}$ :

**Ecuación 23:**

$$H_{min} = \frac{u_2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{\omega \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N}$$

Podemos apreciar que la intensidad de campo de interrogación depende de la frecuencia angular, el área A de la antena, el número de vueltas N de la bobina, el voltaje mínimo  $u_2$  y la resistencia de entrada  $R_2$ . Esto no sorprende pues hemos determinado con anterioridad el aumento de  $u_2$  a la frecuencia de resonancia del transpondedor. Por ende cuando la frecuencia de transmisión del lector coincida con la frecuencia resonante del transpondedor, la intensidad de campo de interrogación  $H_{min}$  alcanza su valor mínimo.

La frecuencia resonante del transpondedor es  $L_2 C_2 = 1/(2\pi f_0)^2 = 1/\omega_0^2$  usando la ecuación 16. Además  $C_2 = (\omega_0^2 \cdot L_2)^{-1}$ , sustituyendo estas ecuaciones resulta que:

**Ecuación 24:**

$$H_{min} = \frac{u_2 \cdot \sqrt{\omega^2 \left( \frac{L_2}{R_L} + \frac{R_2}{\omega_0^2 L_2} \right)^2 + \left( \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega_0^2} + \frac{R_2}{R_L} \right)^2}}{\omega \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N}$$

Es evidente entonces que cuanto mayor sea la desviación de la frecuencia con respecto a la frecuencia resonante, mayor será la intensidad de campo de interrogación y por ende menor el alcance de lectura.

**Alcance de energía**

Si la intensidad de campo de interrogación es conocida entonces podemos estimar el alcance de lectura asociado a cierto lector. El alcance de energía de un transpondedor es la distancia de la antena del lector al cual hay suficiente energía para operar el transpondedor (definido por  $u_{2min}$  y  $R_L$ ). Sin embargo, surge la pregunta que si corresponde el alcance de energía con la distancia a la cual el lector puede recibir la información transmitida por el transpondedor.

Dada la corriente I, radio R y número de vueltas de la bobina de la antena  $N_1$ , la trayectoria de la intensidad de campo en la dirección x puede ser calculada mediante la ecuación 3. Despejando para x obtenemos la siguiente relación entre el alcance de energía y el campo de interrogación  $H_{min}$  de un transpondedor para un lector dado:

**Ecuación 25:**

$$x = \sqrt[3]{\sqrt{\left( \frac{I \cdot N_1 \cdot R^2}{2 \cdot H_{min}} \right)^2 - R^2}}$$

Al aumentar el consumo de energía del transpondedor, aumenta también la intensidad de campo de interrogación y disminuye el alcance de energía o de lectura.

## 1.4.2 Ondas electromagnéticas

### 1.4.2.1 Generación de ondas electromagnéticas

Con anterioridad vimos que un campo magnético, variante en el tiempo, en el espacio induce un campo eléctrico con líneas de campo cerradas (campo rotacional). El campo eléctrico rodea al campo magnético y varía en el tiempo. Debido a la variación del campo eléctrico rotacional variante en el tiempo un campo magnético con líneas de campo cerradas ocurre en el espacio (campo rotacional). Rodea al campo eléctrico y varía en el tiempo, generando otro campo eléctrico. Dada la dependencia mutua de los campos variantes en el tiempo, hay una reacción en cadena de los campos eléctricos y magnéticos en el espacio (Fricke et al., 1979).

Radiación puede darse únicamente a una velocidad de propagación finita (velocidad de la luz) para el campo electromagnético, lo que previene que un cambio en el voltaje de la antena sea seguido inmediatamente por el campo en la vecindad del cambio. Las líneas de campo de una longitud de onda después de la actual no pueden terminar en la antena, entonces se cierran formando remolinos. Los remolinos de la siguiente longitud de onda circulan en sentido contrario, esto ayuda a empujar (alejar) a la velocidad de la luz al remolino anterior y la energía almacenada en ella. El campo magnético está interconectado con el campo eléctrico variante que se propaga al mismo tiempo. Al alcanzar cierta distancia, los campos son liberados del emisor, es aquí donde empieza la radiación electromagnética (campo lejano). Para frecuencias altas (longitudes de onda pequeñas) la radiación generada es particularmente efectiva, porque en este caso la separación ocurre en la vecindad del emisor donde aun hay intensidades de campo altas (Fricke et al., 1979).

La distancia entre dos remolinos de campos con el mismo sentido de rotación se llama longitud de onda  $\lambda$  de la onda electromagnética, y se calcula dividiendo la velocidad de la luz  $c$  y la frecuencia de radiación:

**Ecuación 26:**

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

El campo magnético principal generado por una espira conductora empieza en la antena. Conforme el campo magnético se propaga un campo eléctrico, también creciente, aparece por inducción. El campo originalmente magnético es convertido en un campo electromagnético. A una distancia de  $\lambda/2\pi$  el campo electromagnético se empieza separar de la antena y a propagarse en el espacio en forma de una onda electromagnética. El área desde la antena hasta el punto donde se forma la onda electromagnética se llama campo cercano. El área después del punto donde ya se ha formado la onda y se separa de la antena se conoce como campo lejano.

**Tabla I. Frecuencia y longitudes de onda**

Frecuencia	Longitud de onda (cm)
433 MHz	69
868 MHz	34
915 MHz	33
2.45 GHz	12
5.8 GHz	5.2

**Tabla II.  $r_F$  y  $\lambda$  para diferentes frecuencias**

Frecuencia	Longitud de onda $\lambda$ (m)	$\lambda/2\pi$ (m)
<135 kHz	>2222	>353
6.78 MHz	44.7	7.1
13.56 MHz	22.1	3.5
27.125 MHz	11.0	1.7

Una onda electromagnética separada de la antena ya no puede interactuar con la antena por medio de acople inductivo o capacitivo. Se puede usar como regla general que el comienzo del campo lejano (radio  $r_F = \lambda/2\pi$ ) alrededor de la antena representa un límite insuperable del alcance de sistemas con acople inductivo.

#### 1.4.2.2 Densidad de campo de radiación S

Una onda electromagnética se propaga en el espacio esféricamente desde el punto de su creación. Al mismo tiempo, la onda transporta energía en el espacio que la rodea. Conforme la distancia desde la fuente de radiación aumenta, esta energía se divide entre el área superficial de una esfera creciente.



En un emisor esférico (isotrópico), la energía es radiada uniformemente en todas las direcciones. A una distancia  $r$  la densidad de radiación  $S$  puede ser calculada fácilmente como el cociente de la energía del emisor y el área superficial de la esfera.

**Ecuación 27:**

$$S = \frac{P_{EIRP}}{4\pi r^2}$$

### 1.4.2.3 Impedancia característica de onda e intensidad de campo E

La energía transportada por la onda electromagnética es almacenada en el campo eléctrico y magnético de la onda. Es evidente entonces que hay una relación entre la densidad de radiación  $S$  y las intensidades de campo  $E$  y  $H$  interconectadas. El campo eléctrico con intensidad  $E$  está a ángulos rectos con respecto al campo magnético  $H$ . El área entre los vectores  $E$  y  $H$  forma el frente de onda y está a ángulos rectos del sentido de propagación. La densidad de radiación  $S$  es hallada a partir del vector de radiación de Poynting  $S$  como producto vectorial de  $E$  y  $H$ .

**Ecuación 28:**

$$S = E \times H$$

La relación entre las intensidades de campo  $E$  y  $H$  es definida por la permitividad y constante dieléctrica del medio de propagación de la onda electromagnética. Para el caso de un vacío o en el aire, la siguiente ecuación es válida:

**Ecuación 29:**

$$E = H \cdot \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = H \cdot Z_F$$

$Z_F$  es denominada la impedancia característica de onda ( $Z_F = 120\pi\Omega = 377\Omega$ ). La siguiente relación es válida:

**Ecuación 30:**

$$E = \sqrt{S \cdot Z_F}$$

Por ende, la intensidad de campo E a una distancia r de la fuente de radiación puede ser calculada mediante la ecuación 27. Donde  $P_{EIRP}$  es la potencia de transmisión del emisor isotrópico:

**Ecuación 31:**

$$E = \sqrt{\frac{P_{EIRP} \cdot Z_F}{4\pi r^2}}$$

**1.4.2.4 Polarización de ondas electromagnéticas**

La polarización de una onda electromagnética es determinada por el sentido del campo eléctrico de la onda. La polarización puede ser lineal o circular. En la polarización lineal horizontal las líneas de campo son paralelas a la superficie terrestre, en la vertical son perpendiculares a la superficie terrestre.

En los sistemas de IDRF por lo regular no hay relación fija entre la posición de la antena del transpondedor portátil y la antena del lector. Esto puede ocasionar fluctuaciones significativas e impredecibles en el alcance de lectura. El uso de la polarización circular ayuda con esta situación. El principio de operación es el siguiente: se ubican dos dipolos de tal manera que formen una cruz, uno de los dipolos es alimentado con un retardo de  $90^\circ$  ( $\lambda/4$ ) el sentido de polarización de la onda electromagnética generada de esta manera rota  $360^\circ$  cada vez que el frente de onda avanza una longitud de onda. El sentido de la rotación puede ser determinado por el arreglo del retardo en la línea de alimentación. Se distinguen polarización circular derecha e izquierda.

**1.4.2.5 Antenas**

La creación de ondas electromagnéticas ha sido descrita con anterioridad. Las leyes de la física establecen que la radiación de ondas electromagnéticas se observa en todos los conductores que portan corriente o están sujetos a un voltaje. Mientras

que en una antena la radiación o recepción de ondas electromagnéticas ha sido optimizada para ciertos rangos de frecuencia mediante la calibración de ciertas propiedades del diseño. Es por esto que el comportamiento de una antena puede ser estimada y tiene definición matemática precisa.

Ganancia y efecto direccional

En la ecuación 27 apreciamos como la potencia  $P_{EIRP}$  se distribuye sobre una superficie esférica (radio  $r$ ). Si integramos la densidad de potencia  $S$  sobre el área superficial de la esfera, el resultado obtenido es la potencia  $P_{EIRP}$  emitida por la antena isotrópica.

**Ecuación 32:**

$$P_{EIRP} = \int_{A_{esfera}} S \cdot dA$$

Sin embargo, en la realidad una antena, por ejemplo un dipolo, no radia potencia uniformemente en todas las direcciones y en dirección axial no radia potencia alguna.

La densidad de radiación puede ser calculada de la siguiente manera, donde  $G_i$  es la ganancia de la antena en la dirección principal de radiación:

**Ecuación 33:**

$$S = \frac{P_1 \cdot G_i}{4\pi \cdot r^2}$$

$P_1$  es la potencia suministrada a la antena,  $G_i$  el factor de aumento de la densidad de radiación con respecto a una radiación isotrópica a la misma potencia. Un término común es la EIRP (potencia isotrópica efectivamente radiada).

**Ecuación 34:**

$$P_{EIRP} = P_1 \cdot G_i$$

La importancia de esta expresión se relaciona con las regulaciones de licencias de frecuencias porque indica la potencia de transmisión de un emisor isotrópico a suministrar a la cual se generaría cierta potencia de radiación a una distancia  $r$ . Una antena con ganancia  $G_i$  tiene como límite a su suministro una potencia  $P_1$  reducida en el factor de la ganancia, de tal manera que no se exceda el valor límite.

**Ecuación 35:**

$$P_1 = \frac{P_{EIRP}}{G_i}$$

EIRP e ERP

En la literatura técnica y regulaciones es común encontrar la abreviatura ERP (potencia equivalente radiada). La gran diferencia entre EIRP e ERP es que la segunda se refiere a una antena dipolar en vez de un emisor esférico, como tenemos el valor de  $G_i = 1.64$ , la conversión entre expresiones es sencilla.

**Ecuación 36:**

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 1.64$$

Impedancia de entrada

Una propiedad importante de una antena es la impedancia de entrada compleja  $Z_A$ . Está compuesta por una resistencia compleja  $X_A$ , una resistencia de pérdidas  $R_V$  (disipa la potencia en forma de calor) y una resistencia de radiación  $R_r$  (la potencia es convertida en ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio):

**Ecuación 37:**

$$Z_A = jX_A + R_V + R_r$$

Para la frecuencia resonante de la antena  $X_A$  tiende a cero, asumiendo cero pérdidas, tenemos que:

**Ecuación 38:**

$$Z_A(f_{RES}) = R_r$$

La impedancia de entrada de una antena ideal en el caso resonante es una resistencia real con valor  $R_r$ . Para un dipolo  $\lambda/2$  la resistencia de radiación  $R_r = 73\Omega$ .

**Apertura efectiva y apertura de dispersión**

La máxima potencia que puede ser recibida por una antena dado alineamiento óptimo y polarización apropiada, es proporcional a la densidad de potencia  $S$  de la onda entrante y un factor de proporcionalidad. Este factor tiene dimensiones de área y por ello se le conoce como apertura efectiva  $A_e$ :

**Ecuación 39:**

$$P_e = A_e \cdot S$$

Podemos imaginarnos a  $A_e$  como un área perpendicular al sentido de propagación, por el cual la potencia  $P_e$  pasa a una determinada densidad de radiación  $S$  (Meinke y Gundlach, 1992). La potencia que pasa por la apertura efectiva es absorbida y transferida a la impedancia conectada  $Z_T$ .

Las antenas también poseen una apertura de dispersión  $\sigma = A_s$  a la cual las ondas son reflejadas.

**Antenas dipolares**

En su presentación más elemental consta de un alambre recto de largo definido. Ciertas modificaciones en la forma pueden cambiar ancho de banda y resistencia de radiación de la antena. Una antena extendida de  $\lambda/2$  dipolar simple consta de un pedazo de alambre recto interrumpido a la mitad y alimentado en este punto. La conexión en paralelo de dos alambres de  $\lambda/2$  separados una pequeña distancia ( $d < 0.05\lambda$ ) crea el dipolo doblado de dos alambres. Este dipolo tiene alrededor de 4 veces la resistencia de radiación del dipolo normal ( $R_r = 240-280\Omega$ ). Según Rothammel (1981) la siguiente relación aplica:

**Ecuación 40:**

$$R_r = 73.2\Omega \cdot \left( \frac{\log\left(\frac{4D^2}{d_1 \cdot d_2}\right)}{\log\left(\frac{2D}{d_2}\right)} \right)^2$$

También existe el dipolo doblado de 3 alambres, con una resistencia de radiación ( $R_r=540-2000\Omega$ ). Según Rothammel (1981) la siguiente relación aplica:

**Ecuación 41:**

$$R_r = 73.2\Omega \cdot \left( \frac{\log\left(\frac{4D^3}{d_1^2 \cdot d_2}\right)}{\log\left(\frac{D}{d_2}\right)} \right)^2$$

**Antena Yagi-Uda**

Nombrada así por sus creadores, es posiblemente la variación más importante de una antena direccional en la tecnología de radio.

Es un arreglo de alineación, compuesto de un emisor y una serie de elementos parásitos. Los dipolos parásitos son puestos al frente del emisor en el sentido deseado de máxima radiación. Estos dipolos funcionan como directores mientras que una vara ubicada detrás del excitador actúa como reflector. Para crear la transmisión direccional, las varas directoras deben ser más cortas y la del reflector debe ser más larga que el excitador operando en resonancia (Meinke y Gundlach, 1992). Comparado con un emisor isotrópico, las antenas Yagi-Uda pueden obtener ganancias 9, 12, 15 dB mayores en su dirección principal de radiación dependiendo del número de elementos. Por su tamaño su uso está limitado como antena de lector.

**Antena de parche o micro tira**

Antenas de parche también conocidos como de micro tira o planares, en su forma más simple, es un lado de un PCB de dos caras, que es alimentado vía unos orificios en la placa que conectan al otro lado (que está aterrizado). El largo del

parche influye en la frecuencia de resonancia. El ancho del parche influye en la resistencia de radiación. Es relativamente sencillo crear grupos de antenas de parche, simplemente se reproducen las dimensiones de ancho y largo y se mantiene una separación entre parche de  $\lambda$ .

#### Antenas de ranura

Si cortamos una tira de longitud  $\lambda/2$  del centro de una superficie metálica, la ranura puede ser utilizada como emisor (Rothammel, 1981). El ancho de la ranura debe ser pequeño con respecto a su longitud. El punto base del emisor está ubicado en medio de su lado longitudinal.

### **1.5 Rangos de frecuencia**

#### **1.5.1 Rangos de frecuencia utilizados**

Dado que los sistemas IDRF generan y radian ondas electromagnéticas, son consideradas legalmente como sistemas de radio. La operación de IDRF bajo ninguna circunstancia debe interferir con el funcionamiento de otros servicios de radio. En particular es importante evitar que interfiera con señales de radio y televisión, servicios de radio móvil (policía, seguridad), servicios de radio marina y aeronáutica y teléfonos móviles.

Las frecuencias de operación disponibles para IDRF son limitadas por la necesidad de tener cuidado con interferir con los equipos mencionados anteriormente. Es por esto que se tiene a disposición el rango de frecuencias ICM (Industrial-Científico-Médico) para el uso de la IDRF.

Además del rango ICM, se dispone también de todas las frecuencias por debajo de 135 kHz (para Norteamérica, Sudamérica y Japón: por debajo de 400 kHz). Este rango permite el uso de campo magnéticos fuertes en sistemas IDRF con acople inductivo.

Los rangos más importantes son: 0-135 kHz, las frecuencias ICM 6.78 MHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz, 40.68 MHz, 433.92 MHz, 869.0 MHz, 915.0 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz y 24.125 GHz.

### **1.5.1.1 Rango 0-135 kHz**

Este rango es de amplio uso puesto que no ha sido reservado como un rango de frecuencias ICM. Las condiciones de propagación en este rango de frecuencias de onda larga permiten a los servicios de radio que operan en el rango alcanzar áreas con radio de hasta 1000 km continuamente a bajo costo. Servicios de navegación marinos y aeronáuticos operan en este rango (LORAN C, OMEGA, DECCA), así como servicios de señal de tiempo y servicios militares de radio.

### **1.5.1.2 Rango 6.78 MHz**

El rango 6.765-6.795 MHz pertenece a las frecuencias de onda corta. Las condiciones de propagación en este rango permiten alcances de algunos cientos de kilómetros durante el día. Por la noche la propagación transcontinental se hace posible. Los servicios de transmisión, estado del tiempo, aeronáutico y servicios de noticias operan en este rango.

### **1.5.1.3 Rango 13.56 MHz**

El rango de frecuencias 13.553-13.567 MHz está ubicado en el centro de las frecuencias de onda corta. Las condiciones de propagación permiten la propagación transcontinental durante el día. Utilizada por servicios de noticias y para las telecomunicaciones. También operan en este rango los sistemas de control remoto y localizadores.

### **1.5.1.4 Rango 27.125 MHz**

El rango de frecuencias 26.565-27.405 es parte de la banda civil. Sistemas de radio sin registro y no recargables con potencia de transmisión de hasta 4 Watts permite comunicación entre participantes privados con alcances de hasta 30 km. También operan en el rango aparatos diatérmicos (aplicación médica), equipo de soldadura de alta frecuencia (aplicación industrial), dispositivos de control remoto y localizadores. Tanto los aparatos diatérmicos como los de soldadura de alta frecuencia pueden causar interferencias en un sistema de IDRF que opera en el mismo rango de frecuencias.



#### **1.5.1.5 Rango 40.680 MHz**

El rango de frecuencias 40.660-40.700 MHz está ubicado en la parte baja del rango VHF. El amortiguamiento de la onda es bajo al atravesar obstáculos. Las frecuencias adyacentes a este rango son las que se utilizan para transmisión televisiva.

Principal aplicación que opera en este rango es la telemetría (transmisión de datos medidos) y aplicaciones de control remoto. No hay antecedentes de sistemas de IDRF en este rango, considerando los rangos de alcance de acople inductivo reducidos y las longitudes de onda de 7.5 m.

#### **1.5.1.6 Rango 433.920 MHz**

El rango de frecuencias 430.000-440.00 MHz está dada a los servicios de radio amateur mundialmente. Los amateurs de radio utilizan este rango para transmisión de voz y de datos. La propagación de ondas en este rango es aproximadamente óptico, ocurre bastante amortiguamiento y reflexión cuando se encuentran con obstáculos. Dependiendo de ciertos factores, se puede obtener entre 30 y 300 km de alcance.

Muchas aplicaciones están ubicadas en este rango de frecuencias, además de los sistemas de IDRF de retro dispersión, están los intercomunicadores de bebé, transmisores de telemetría, audífonos inalámbricos, control remoto de cerradura central de vehículos y muchas aplicaciones más se encuentran en este rango. Por esto no es raro que ocurran interferencias en este rango.

#### **1.5.1.7 Rango 869.0 MHz**

El rango de frecuencias de 868-870 MHz está disponible para dispositivos de corto alcance como los son los sistemas de IDRF.

#### **1.5.1.8 Rango 915.0 MHz**

El rango de frecuencias 888-889 y 902-928 MHz están disponibles para uso (salvo en Europa) de sistemas de IDRF con retro dispersión.

### **1.5.1.9 Rango 2.45 GHz**

El rango de frecuencias es 2.400-2.4835 GHz. Las condiciones de propagación para este rango son casi ópticos y son amortiguados o reflejados al encontrarse con obstáculos. Además de sistemas de IDRF con retro dispersión, otras aplicaciones en este rango son transmisores de telemetría y sistemas de PC LAN para las redes inalámbricas de computadoras.

### **1.5.1.10 Rango 5.8 GHz**

El rango de frecuencias es 5.725-5.875 GHz. Aplicaciones para este rango incluyen sensores de movimiento que pueden ser utilizadas para abrir puertas automáticamente y sistemas de IDRF con retro dispersión.

### **1.5.1.11 Rango 24.125 GHz**

El rango de frecuencias es 24.00-24.25 GHz. Aplicaciones para este rango incluyen sensores de movimiento y sistemas direccionales de radio para la transmisión de datos.

## **1.5.2 Selección de frecuencia apropiada**

Las características de los pocos rangos de frecuencias disponibles deben ser consideradas al momento de elegir una frecuencia para un sistema de IDRF con acople inductivo. La intensidad de campo utilizable en el rango de operación del sistema planeado ejerce una influencia decisiva en los parámetros del sistema. Por esto debe ser considerada especialmente esta variable y también el ancho de banda (dimensiones mecánicas de la bobina de antena) así como la disponibilidad del rango de frecuencia a utilizarse.

La intensidad de campo magnético disminuye en un factor de  $1/d^3$  (60 dB/década) conforme se aleja del emisor en el campo cercano y en un factor de  $1/d$  (20 dB/década) para campo lejano. Este comportamiento ejerce una marcada influencia en la intensidad de campo utilizable en el rango de operación del sistema. La normativa EN 300 330 especifica la máxima intensidad de campo magnético a una distancia de 10 m.

Si nos movemos hacia el lector, dependiendo de la longitud de onda, la intensidad de campo aumentara a una tasa de 20 dB/década. En un sistema de 6.78 MHz la intensidad de campo empieza a aumentar a 60 dB/década a una distancia de 7.1 m (la transición al campo cercano). Sin embargo en un sistema de 27.125 MHz el aumento empinado no empieza sino hasta 1.7 m del lector.

No es difícil inferir que dada la misma intensidad de campo a una distancia de 10 m. se pueden obtener intensidades de campo utilizables mayores dentro del rango de operación (0-10 cm) para una frecuencia menor. A menos de 135 kHz las relaciones son aun más favorables, primero porque el límite permisible de intensidad de campo es mucho mayor que para frecuencias mayores de 1 MHz, y segundo porque el aumento de 60 dB entra en efecto inmediatamente, dado que el campo cercano se extiende hasta al menos 350 m.

Si medimos el alcance de un sistema con acople inductivo con la misma intensidad de campo H a diferentes frecuencias, encontramos que el alcance es óptimo en la vecindad de los 10 MHz. A estas frecuencias la eficiencia en la transmisión de potencia es máxima.

Sin embargo este efecto es compensado por las intensidades de campo permisibles mayores a 135 kHz, y por ende en la práctica el alcance de los sistemas IDRF es aproximadamente igual para ambos rangos de frecuencias. A frecuencias mayores de 10 MHz la relación L/C del circuito resonante del transpondedor se torna desfavorable y el alcance en este rango empieza a disminuir.

Las siguientes preferencias existen para los diferentes rangos de frecuencia:

**<135 kHz.** Preferible para largo alcance y bajo costo.

- Alto nivel de potencia disponible para el transpondedor.
- Bajo consumo de potencia del transpondedor debido a su frecuencia de reloj reducida.
- Formatos miniaturizados de transpondedores son posibles debido al uso de bobinas con núcleo de ferrita en el transpondedor.
- Gran profundidad de penetración en objetos no metálicos y agua.

**6.78 MHz.** Puede ser usado para transpondedores de bajo costo y mediana velocidad.

- Frecuencia mundial para ICM.
- Potencia disponible ligeramente mayor a la disponible para 13.56 MHz.
- La mitad de la frecuencia de reloj que 13.56 MHz.

**13.56 MHz.** Puede ser utilizada para aplicaciones de alta velocidad/alto nivel y mediana velocidad/bajo nivel.

- Disponible mundialmente como frecuencia ICM
- Alta velocidad de transmisión de datos.
- Alta frecuencia de reloj que permite realizar funciones criptológicas o incorporar un microprocesador.
- Capacitancias en paralelo para la bobina del transpondedor pueden ser on-chip para el encaje de resonancia.

**27.125 MHz.** Sólo para aplicaciones especiales.

- No es una frecuencia ICM mundial.
- Gran ancho de banda, por ende muy alta velocidad de transmisión de datos.
- Alta frecuencia de reloj, por ende funciones criptológicas pueden ser realizadas o un microprocesador integrado.
- Capacitancias en paralelo para la bobina del transpondedor pueden ser on-chip para el encaje de resonancia.
- Potencia disponible ligeramente menor que la disponible para 13.56 MHz
- Su uso es apropiado para corto alcance.

## **1.6 Codificación y modulación**

La transferencia de datos entre lector y transpondedor ocurre en tres bloques funcionales. Desde el lector hacia el transpondedor:

1. Transmisor: a) codificación de señal (procesamiento de señal) y b) modulador en el lector (circuito generador de portadora).
2. Canal (medio de transmisión)

3. Receptor: a) demodulador (recuperador de portadora) y b) decodificación de señal (procesamiento de señal).

La codificación de señal busca darle algún grado de protección al mensaje (su representación de señales) contra interferencias, modificaciones intencionales y colisión de datos. La codificación de señal no debe ser confundida con la modulación, por ello se le denomina codificación en la banda base.

Modulación consiste en alterar los parámetros de una señal portadora de alta frecuencia (amplitud, frecuencia o fase) en proporción a la señal de mensaje (la señal de banda base).

El canal transmite el mensaje una determinada distancia, en sistemas de IDRF los medios de transmisión son campos magnéticos (acople inductivo) y ondas electromagnéticas.

La demodulación es un procedimiento para recuperar la señal de banda base. Con frecuencia hay un modulador y un demodulador en ambos extremos del sistema, a esto se le conoce como MODEM.

La decodificación de señal busca reconstruir el mensaje original de la señal de banda base codificada recibida, y reconocer cualquier error de transmisión y corregirlo si es posible.

### **1.6.1 Codificación en la banda base**

Ceros y unos binarios pueden ser representados en varios códigos. Los sistemas de IDRF regularmente utilizan uno de los siguientes esquemas: NRZ, Manchester, Unipolar RZ, DBP (bi-fase diferencial), Miller, codificación diferencial con codificación pulso-pausa.

**Código NRZ:** El uno binario es representado por un voltaje alto y el cero por un voltaje bajo. Este código se usa casi exclusivamente para modulación FSK o PSK.

**Código Manchester:** El uno binario es representado por una transición negativa (estado alto a bajo) y el cero binario por una transición positiva. También se le

conoce como codificación de fase partida (Couch, 1997). Frecuentemente se usa para la transmisión de datos del transpondedor al lector utilizando un esquema de modulación de carga con subportadora.

**Código Unipolar RZ:** El uno binario es representado por una señal alta durante la mitad del periodo del bit y una señal baja por la otra mitad, el cero binario es representado por una señal baja con duración del periodo completo del bit.

**Código DBP:** Un 0 binario es codificado por una transición de cualquier tipo a la mitad del periodo del bit, un 1 binario es representado por la ausencia de una transición. Adicionalmente el nivel es invertido al inicio de cada periodo de bit, para facilitar la reconstrucción en el receptor.

**Código Miller:** El uno binario es representado por una transición de cualquier tipo a la mitad del periodo del bit, el cero binario es representado por la continuidad del nivel del uno por una duración de un período de bit. Una secuencia de ceros crea una transición al comienzo del período de bit, para facilitar la reconstrucción en el receptor.

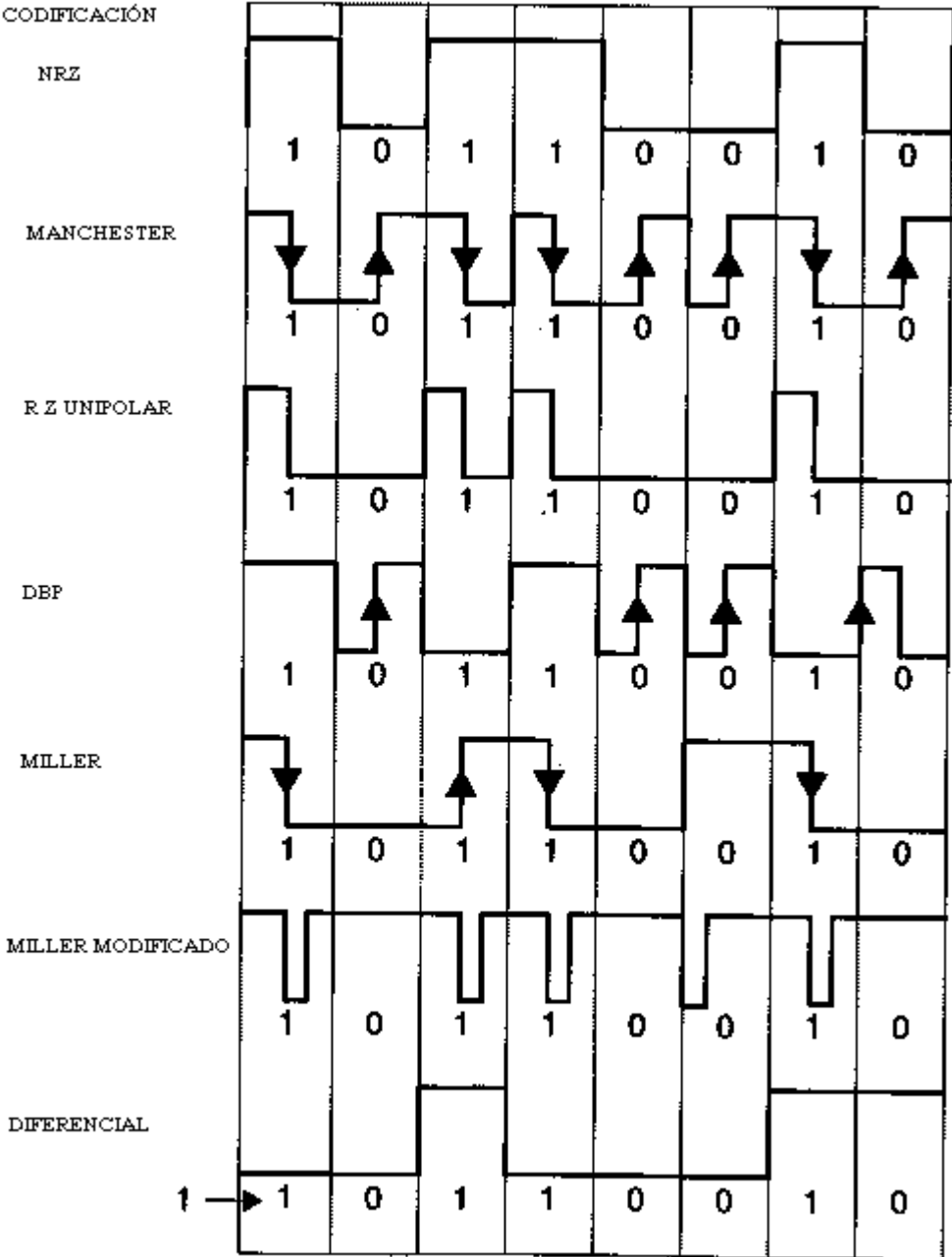
**Código Miller modificado:** En esta variante del código Miller, cada transición es reemplazada por un pulso negativo. Este esquema es apropiado para transferencia de datos desde lector a transpondedor en sistemas de IDRF con acople inductivo. Dada la corta duración de los impulsos ( $t_{pulse} \ll T_{bit}$ ) es posible asegurar una alimentación continua de energía aun cuando hay una transferencia de datos en progreso.

**Codificación diferencial:** Cada uno binario causa un cambio en el nivel de la señal, mientras que para un cero binario no ocurre cambio alguno. Codificación diferencial puede ser generada fácilmente de una señal NRZ mediante el uso de una compuerta XOR y un flip-flop tipo D.

**Código pulso-pausa:** El uno binario es representado por una pausa de duración  $t$  antes del siguiente pulso, el cero binario es representado por una pausa de duración  $2t$  antes del siguiente pulso. Este esquema es apropiado para transferencia de datos desde lector a transpondedor en sistemas de IDRF con acople inductivo. Dada la

corta duración de los impulsos ( $t_{pulse} \ll T_{bit}$ ) es posible asegurar una alimentación continua de energía aun cuando hay una transferencia de datos en progreso.

**Figura 2. Representación de señales codificadas**



Varios factores deben ser considerados cuando se selecciona un sistema de codificación de señal. Una consideración es el espectro de la señal luego de modularla (Couch, 1997; Mäusl, 1985) y susceptibilidad a errores de transmisión.

Para el caso de transpondedores pasivos, la alimentación no debe ser interrumpida por una combinación inapropiada de codificación de señal y procedimiento de modulación.

### **1.6.2 Procedimientos de modulación digital**

Energía es radiada desde una antena al área adyacente en forma de ondas electromagnéticas. Al variar cuidadosamente uno de los tres parámetros de una onda electromagnética (potencia, frecuencia, fase), mensajes pueden ser codificados y transmitidos a cualquier punto del área. El procedimiento de influenciar una onda electromagnética con un mensaje (datos) se llama modulación, y una onda electromagnética sin modular se llama portadora.

Al analizar las características de la onda electromagnética en cualquier punto del área podemos reconstruir el mensaje midiendo los cambios que presentan sus parámetros, este procedimiento se llama demodulación.

Los procedimientos que se utilizan en los sistemas de IDRF son ASK (amplitude shift keying), FSK (frequency shift keying) y PSK (phase shift keying). En todo procedimiento de modulación, aparecen productos de modulación simétricos (bandas laterales) alrededor de la portadora. El espectro y amplitud de las bandas laterales son influenciadas por el espectro de la señal del código en la banda base y por el procedimiento de modulación. Existe banda lateral superior (USB) y banda lateral inferior (LSB).

#### **1.6.2.1 ASK (amplitude shift keying)**

En la ASK (modulación por desplazamiento de amplitud), la amplitud de la oscilación de una portadora es conmutada entre dos estados  $u_0$  y  $u_1$  (keying o desplazamiento) por una señal binaria.  $U_1$  puede tener valores entre  $u_0$  y 0. La razón entre  $u_0$  y  $u_1$  se conoce como el factor de trabajo  $m$ .

Para encontrar el factor de trabajo  $m$ , calculamos la media aritmética de la amplitud de la señal desplazada y no desplazada:



**Ecuación 42:**

$$\hat{u}_m = \frac{\hat{u}_0 + \hat{u}_1}{2}$$

El factor de trabajo se calcula de la razón del cambio  $\hat{u}_0 - \hat{u}_1$  al valor medio  $\hat{u}_m$ :

**Ecuación 43:**

$$m = \frac{\Delta\hat{u}_m}{\hat{u}_m} = \frac{\hat{u}_0 - \hat{u}_1}{\hat{u}_m} = \frac{\hat{u}_0 - \hat{u}_1}{\hat{u}_0 + \hat{u}_1}$$

En modulación ASK 100%, la amplitud de la portadora oscila entre  $2\hat{u}_m$  y 0 (desplazamiento encendido-apagado). Esto corresponde a un factor  $m$  de 1. El factor de trabajo de ASK es análogo al factor de modulación de AM. En la literatura respectiva, el factor de carga es conocido a veces como el porcentaje de reducción de portadora  $m'$  durante desplazamiento.

**Ecuación 44:**

$$m' = 1 - \frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_0}$$

Desde un punto de vista matemático, la modulación ASK es el resultado de multiplicar un código de señales binarios  $u_{code}(t)$  (secuencia de 1's y 0's) por una señal de portadora  $u_{HF}(t)$ . Para factores  $m < 1$ , introducimos una constante adicional  $(1-m)$  para poder multiplicar  $u_{HF}(t)$  por 1 en el estado sin desplazar:

**Ecuación 45:**

$$U_{ASK}(t) = (m \cdot u_{code}(t) + 1 - m) \cdot u_{HF}(t)$$

El espectro de señales ASK se encuentra mediante la convolución del espectro de la señal codificada y la frecuencia de portadora  $f_{Cr}$ , o por medio de multiplicación de la expansión de Fourier de la señal codificada por la oscilación de la portadora. Contiene el espectro de la señal codificada en las bandas laterales superior e inferior, simétrico a la portadora (Mäusl, 1985).

### 1.6.2.2 FSK (frequency shift keying)

En la modulación por desplazamiento de fase, la frecuencia de la portadora es conmutada entre dos frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  por una señal binaria codificada. La frecuencia de portadora  $f_{CR}$  se define como la media aritmética de las dos frecuencias características  $f_1$  y  $f_2$ . La diferencia entre la frecuencia de portadora y las frecuencias características es denominada la desviación de frecuencia  $\Delta f_{CR}$ :

**Ecuación 46:**

$$f_{CR} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad \Delta f_{CR} = \frac{|f_1 - f_2|}{2}$$

Desde el punto de vista de la función de tiempo, la señal FSK puede ser considerada como la composición de dos señales de ASK de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ . Por ende el espectro lo obtenemos superponiendo los espectros de ambas oscilaciones ASK. La codificación en la banda base utilizada en sistemas de IDRF produce un FSK asimétrico para estos casos también hay una distribución asimétrica del espectro en relación a la frecuencia media  $\Delta f_{CR}$  (Mäusl, 1985).

### 1.6.2.3 PSK (phase shift keying)

En la modulación por desplazamiento de fase, los estados binarios 0 y 1 de una señal de código son convertidos en estados de fase de la oscilación de la portadora, con referencia a una fase determinada. En PSK la señal es conmutada entre los estados de fase  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

Matemáticamente hablando, el desplazamiento de fase entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  corresponde a multiplicar la portadora por 1 y -1. El espectro de potencia para PSK puede ser calculado como sigue para un ciclo de trabajo del 50% (Mansukhani, 1996):

**Ecuación 47:**

$$P(f) = \left(\frac{P \cdot T_s}{2}\right) \cdot [\sin^2 \pi(f - f_0)T_s + \sin^2 \pi(f + f_0)T_s]$$

Donde  $P$  es la potencia de transmisor,  $T_s$  es la duración del bit,  $f_0$  es la frecuencia central y  $\text{sinc}(x) = (\sin(x)/x)$ .

La envolvente de ambas bandas laterales alrededor de la frecuencia portadora  $f_0$  sigue a la función  $(\sin(x)/x)^2$ . Esto da ceros para las frecuencias  $f_0 \pm 1/T_s$ ,  $f_0 \pm 2/T_s$ ,  $f_0 \pm n/T_s$ . En el rango de frecuencia  $f_0 \pm 1/T_s$  el 90% de la potencia de transmisión es transmitida.

## 1.7 Integridad de datos

### 1.7.1 Procedimientos checksum

Durante la transmisión de datos en la tecnología sin contacto, es muy probable encontrar interferencia que cause cambios a los datos transmitidos y por ende errores de transmisión. Se puede usar un checksum para identificar errores en la transmisión e iniciar medidas correctivas, por ejemplo la retransmisión de bloques de datos erróneos, los procedimientos más comunes son chequeo de paridad, suma de XOR y CRC.

#### Chequeo de paridad

El chequeo de paridad es una manera sencilla y por ende muy popular de detectar errores de transmisión. Se le adiciona un bit de paridad a cada byte creando bytes de 9 bits, antes de transmitir, el receptor y el transmisor deben estar de acuerdo con respecto al tipo de paridad a chequear (par o impar).

El valor del bit de paridad es seleccionada de tal manera que cuando el tipo de paridad es impar el número de bits que valen 1 de los nueve bits es impar, y cuando es paridad par, el número de bits con valor 1 es par. Sin embargo la simplicidad de este método es balanceado por su deficiente detección de errores (Pein, 1996). Un número impar de bits erróneos siempre será detectado, mientras que un número par hará que el mensaje erróneo parezca correcto.

## **1.7.2 Procedimientos anticolisión o de acceso múltiple**

La operación de sistemas de IDRF a menudo involucra situaciones donde hay múltiples transpondedores en la zona de interrogación de un solo lector al mismo tiempo. En dicho sistema compuesto por una estación de control (lector) y los participantes (transpondedores) podemos distinguir entre dos tipos generales de comunicación.

El primero se usa para transmitir datos desde el lector hacia los transpondedores, los datos son recibidos por los transpondedores simultáneamente, esto es análogo a la recepción de señal de una radio emisora por cientos de receptores, a este tipo de comunicación se le conoce como de transmisión.

La segunda forma de comunicación involucra la transmisión de datos desde muchos transpondedores individuales en la zona de interrogación del lector hacia el mismo. Este tipo de comunicación es conocido como acceso múltiple.

Cada canal de comunicación tiene una capacidad definida, determinada por la máxima tasa del canal y el tiempo disponible. La capacidad debe ser repartida entre los participantes de tal manera que la información puede ser transferida de múltiples participantes a un solo receptor sin interferencia mutua (colisión).

Existen numerosos procedimientos para tratar de evitar colisiones. Básicamente son cuatro: SDMA (*space division multiple access*), FDMA (*frequency domain multiple access*), TDMA (*time domain multiple access*) y CDMA (*code division multiple access*).

### **1.7.2.1 SDMA (*space division multiple access*)**

El acceso múltiple por división de espacio se refiere a técnicas que re usan cierto recurso (capacidad de canal) en áreas separadas (Fliege, 1996). Básicamente consiste en mover la zona de interrogación a través de varias áreas donde están ubicados los transpondedores y realizar la comunicación con ellos. La principal desventaja de este esquema es el alto costo de implementación del sistema

sofisticado de antenas, es por ello que solo se usa para ciertas aplicaciones especializadas.

### **1.7.2.2 FDMA (*frequency domain multiple access*)**

El acceso múltiple por dominio de frecuencia consiste en la disponibilidad de varias frecuencias de portadora para varios canales de transmisión, que permite a varios participantes transmitir simultáneamente. Las frecuencias no deben ser armónicos. La alimentación de energía al transpondedor y la transmisión de señales de control ocurren a una frecuencia común a todos  $f_a$ . Los transpondedores responden a una de las múltiples frecuencias disponibles  $f_1 - f_N$ . Entonces podemos usar frecuencias completamente diferentes para la transferencia de datos desde y hacia los transpondedores. Por ejemplo, 135 kHz para lector hacia transpondedor y varias frecuencias en el rango 433-435 MHz para el transpondedor hacia lector.

La principal desventaja de FDMA es el elevado costo de los lectores puesto que un receptor dedicado debe ser incluido para cada canal de transmisión, este esquema anticolidión está limitado a ciertas aplicaciones especializadas.

### **1.7.2.3 TDMA (*time domain multiple access*)**

El acceso múltiple por dominio de tiempo consiste en dividir la capacidad de canal disponible cronológicamente entre los participantes. Este procedimiento anticolidión es utilizada sistemas de radio móvil digital. Para sistemas de IDRF, TDMA es el procedimiento anticolidión más popular. Podemos distinguir entre síncrono y asíncrono.

Para el asíncrono, el lector no controla la transferencia de datos, como ocurre para el procedimiento ALOHA. También podemos distinguir si el sistema es apagable o no apagable dependiendo si una señal del lector indicando fin de transmisión (transmisión exitosa) apaga el transpondedor.

Para el síncrono (controlado por lector) podemos apreciar que son lentos e inflexibles. Un transpondedor individual de un grupo es seleccionado e interrogado, luego un segundo y así sucesivamente. Los procedimientos síncronos pueden ser de

encuesta o de búsqueda binaria. Todos estos procedimientos se basan en transpondedores identificados con un número de serie único.

Los síncronos por encuesta, requieren de un padrón (listado de todos los números de serie que pueden darse). Todos los números son interrogados en serie hasta que un transpondedor coincide, es evidente porque puede ser lento este procedimiento.

Los síncronos con búsqueda binaria son más comunes y más flexibles. Se elige un transpondedor de un grupo al causar una colisión intencionalmente y luego ubicar la posición exacta del bit afectado, esto requiere de un sistema de codificación adecuado.

#### **1.7.2.4 Procedimiento ALOHA**

El más sencillo de los procedimientos de acceso múltiple es el procedimiento cuyo nombre se deriva del hecho que originalmente fue diseñado para el ALOHANET (red radial de transmisión de datos en Hawái) en los años 1970. En el momento que un paquete de datos está disponible, es enviado del transpondedor al lector. Es un procedimiento TDMA asíncrono.

El procedimiento se usa exclusivamente con transpondedores de solo lectura, que transmiten poca información (número de serie) en forma cíclica. El tiempo de transmisión de datos representa solamente una fracción del tiempo de repetición, así que hay pausas relativamente grandes entre transmisiones. Los tiempos de repetición para cada transpondedor varían entre sí. Por ende hay cierta probabilidad que dos transpondedores puedan transmitir sus paquetes de datos en momentos diferentes y no habrá colisión.

La carga ofrecida  $G$  corresponde al número de transpondedores que transmiten simultáneamente en un tiempo dado  $t$  (0, 1, 2, 3, ...). La carga ofrecida promedio corresponde a un promedio durante un período de observación  $T$  y es fácil de calcular a partir de la duración de transmisión de un paquete de datos  $\tau$ :

**Ecuación 48:**

$$G = \sum_1^n \frac{\tau_n}{T} \cdot r_n$$

Donde  $n = 1, 2, 3, \dots$  es el número de transpondedores en el sistema y  $r_n = 1, 2, 3, \dots$  es el número de paquetes de datos que son transmitidos por el transpondedor durante el periodo de observación.

**1.8 Seguridad de datos**

Los sistemas de IDRF han aumentado en su uso para aplicaciones de alta seguridad, tales como sistemas de acceso a instalaciones y sistemas de pago o emisión de boletos. Por esto se hace necesario tomar ciertas medidas para prevenir ataques maliciosos contra estos sistemas de IDRF que buscan acceder a instalaciones sin autorización u obtener servicios sin pagar por ellos.

Protocolos de autenticación modernos funcionan mediante la verificación del conocimiento de un secreto (una clave criptográfica). Podemos emplear ciertos algoritmos para evitar que se descifre la clave. Sistemas de IDRF de alta seguridad deben estar protegidos contra los siguientes ataques individuales:

- Lectura no autorizada de un portador de datos con el fin de duplicar o modificar los datos.
- La ubicación de un portador de datos foráneo dentro de la zona de interrogación de un lector con la intención de obtener acceso no autorizado a ciertas instalaciones o de recibir servicios sin pagar por ellos.
- Escuchar una comunicación de radio con la intención de reproducirla para imitar un portador de datos genuino.

**1.8.1 Autenticación simétrica mutua**

La autenticación mutua entre lector y transpondedor se basa en el principio de autenticación mutua de dos viajes de ida y vuelta según la norma ISO 9798-2, en el

cual ambos participantes en la comunicación verifican si el otro tiene conocimiento del secreto (clave criptológica secreta).

En este procedimiento, todos los transpondedores y lectores que forman parte de una aplicación, tienen la misma clave criptológica secreta  $K$  (procedimiento simétrico). Cuando un transpondedor ingresa en la zona de interrogación de un lector, no podemos asumir que pertenecen a la misma aplicación. Desde el punto de vista del lector, debemos proteger la aplicación de manipulación por medio de datos falsos. Y desde el punto de vista del transpondedor necesitamos protegerlo de la escritura y lectura no autorizada de datos.

La autenticación mutua empieza cuando el lector envía un comando de GET\_CHALLENGE al transpondedor. Un número aleatorio  $R_A$  es generado en el transpondedor y enviado de vuelta al lector. Ahora el lector genera un número aleatorio  $R_B$ . Haciendo uso de la clave secreta común  $K$  y un algoritmo de clave común  $e_K$ , el lector calcula un bloque de datos encriptado (token 1), el cual contiene ambos números aleatorios e información de control adicional, y luego envía este bloque de datos al transpondedor.

El token 1 es desencriptado al ser recibido en el transpondedor, el número aleatorio contenido en el texto  $R'_A$  es comparado con el transmitido anteriormente  $R_A$ . Si las figuras corresponden entonces el transpondedor ha confirmado que las dos claves comunes coinciden. Ahora se genera otro número aleatorio  $R_{A2}$  en el transpondedor y este se usa para calcular el bloque de datos encriptado (token 2), que contiene a  $R_B$  y datos de control. Token 2 es enviada desde el transpondedor al lector.

**Ecuación 49:**

$$Token\ 1 = e_K(R_B || R_A || ID_A || Text1)$$

$$Token\ 2 = e_K(R_{A2} || R_B || Text2)$$

El lector desencripta al token 2 y verifica si  $R_B$  coincide con  $R'_B$ , si coinciden, entonces le lector asume que la clave común ha sido verificada. En este



momento transpondedor y lector concluyen que pertenecen al mismo sistema y las comunicaciones futuras son legítimas.

La autenticación mutua presenta las siguientes ventajas:

- Las claves secretas nunca son transmitidas, sólo números encriptados aleatorios.
- Dos números aleatorios siempre son encriptados simultáneamente. Esto elimina la posibilidad de aplicar una transformada inversa usando  $R_A$  para obtener el token 1 con la finalidad de calcular la clave secreta.
- El token puede ser encriptado mediante cualquier algoritmo.
- El uso de números aleatorios de dos fuentes independientes (transpondedor y lector) significa que la grabación y reproducción de una comunicación con la intención de defraudar al sistema fallaría.
- Una clave aleatoria (clave por sesión) puede ser calculada de los números aleatorios generados para asegurar criptológicamente las transmisiones de datos siguientes.

### **1.8.2 Autenticación con claves derivadas**

Una desventaja del procedimiento descrito en el apartado anterior es que todos los transpondedores que pertenecen a una aplicación son aseguradas mediante la misma clave criptológica  $K$ . Si consideramos un sistema de pago de transporte público, con millones de transpondedores la misma clave  $K$  puede representar peligro. Aunque poco probable, en el caso que la clave fuera descubierta, el sistema quedaría vulnerable.

Una mejora con respecto al procedimiento anterior consiste en utilizar una clave criptológica distinta en cada transpondedor. Para lograr esto usamos el número de serie del transpondedor y una clave maestra  $K_M$  con un algoritmo para producir una clave  $K_X$ .

La autenticación mutua empieza cuando el lector solicita el número de identificación del transpondedor. En un módulo especial del lector, el módulo de autenticación de seguridad MAS, es calculada la clave específica del transpondedor

utilizando la clave maestra  $K_M$ . El MAS normalmente es una tarjeta inteligente con contactos con criptoprosesor incorporado, lo cual evita que la clave maestra almacenada sea leída.

### **1.8.3 Transferencia de datos encriptados**

Durante la transmisión de datos puede haber dos tipos de interferencias, por efectos físicos o por un atacante humano. Hay dos tipos de ataque, el pasivo, que sólo busca escuchar y descubrir información confidencial para su posterior uso maligno. Y el ataque activo que consiste en alterar datos para su beneficio.

Para darle seguridad a los datos transmitidos los alteramos (encriptamos) antes de transmisión para que el mensaje sea incomprensible al atacante.

La transmisión de datos encriptada siempre se ejecuta con el mismo patrón. Los datos a transmitir son transformados en datos cifrados mediante un clave secreta  $K$  y un algoritmo secreto. Sin conocimiento de la clave secreta  $K$  y del algoritmo secreto, un atacante no puede interpretar los datos interceptados.

Los datos cifrados son convertidos a su forma original en el receptor utilizando la clave secreta  $K'$  y el algoritmo secreto, si las claves  $K$  y  $K'$  son idénticas entonces es un procedimiento de clave simétrico. Si  $K$  es irrelevante para el descifrado, el procedimiento es de clave asimétrico.

Si cada carácter es individualmente encriptado previo a la transmisión, el procedimiento se conoce como cifrado secuencial (cifrado de torrente). Por el contrario, si varios caracteres forman un bloque se dice que es cifrado en bloque. Puesto que los cifrados en bloque requieren mucho cálculo, para los sistemas de IDRDF es preferente elegir cifrado de torrente.

## **1.9 Arquitectura de portadores electrónicos de datos**

Existen dos categorías de portadores de datos: aquellos que están basados en circuitos electrónicos integrados (microchips) y portadores de datos que hacen uso de efectos físicos para almacenar la información. Si tienen función puramente de

memoria o si incorporan un microprocesador programable es otra forma de clasificarlos.

### **1.9.1 Transpondedor con función de memoria**

Los transpondedores con función de memoria varían desde un transpondedor de sólo lectura hasta un transpondedor de alto nivel con funciones criptológicas avanzadas. La memoria que contienen estos transpondedores puede ser RAM, ROM, EEPROM o FRAM que en conjunto con una interfaz de alta frecuencia para proveer suministro de energía, permiten comunicación con el lector. El principal rasgo distintivo de esta familia de transpondedores es la realización de la lógica de seguridad y dirección en el chip mediante una maquina de estado.

#### **1.9.1.1 Interfaz de alta frecuencia**

La interfaz de alta frecuencia está compuesta por el canal análogo de alta frecuencia del lector hacia el transpondedor y la circuitería digital del transpondedor. Es evidente entonces que cumple funciones similares a las de un MODEM. La señal modulada de alta frecuencia es demodulada en el transpondedor y la información es utilizada para procesar condiciones de seguridad y de dirección. Un circuito generador de reloj produce una señal de reloj a partir de la frecuencia de portadora.

La interfaz de alta frecuencia utiliza un modulador de carga o modulador de retro dispersión (u otro como división de frecuencia) controlado por los datos digitales transmitidos del lector para devolver datos al lector.

#### **1.9.1.2 Lógica de seguridad y de dirección**

La lógica de seguridad y de dirección está al centro de la portadora de datos y controla todos los procesos del chip. La lógica de encendido asegura que la portadora de datos asume un estado predeterminado no más reciba suficiente energía del campo de alta frecuencia del lector. Registros especializados de E/S realizan el intercambio de datos con el lector. Una unidad criptológica es necesaria para autenticar y encriptar datos y administrar claves.

La memoria de datos, compuesta de ROM (para datos permanentes como números de serie), EEPROM o FRAM son conectados a la lógica de seguridad y de dirección mediante el bus de datos y de dirección dentro del chip.

El reloj del sistema necesario para controlar secuencias y sincronizar el sistema se deriva del campo de alta frecuencia de la interfaz de alta frecuencia y es entregada al módulo de lógica de seguridad y de dirección. El control dependiente de estado de todos los procedimientos es realizado por máquinas de estado (software construido en hardware). El potencial de las máquinas de estados es similar a la de un microprocesador, con la salvedad de que un microprocesador presenta mayor flexibilidad para los cambios.

Una máquina de estado es un arreglo utilizado para ejecutar operaciones lógicas, con capacidad de almacenar estados variables. La variable de salida Y depende de una variable de entrada X y de los resultados anteriores, representados por la conmutación del estado de flip-flops (Tietze y Schenk, 1985).

### **1.9.1.3 Arquitectura de memoria**

Transpondedor de solo lectura

Transpondedor de bajo nivel de bajo costo. Al ingresar en la zona de interrogación empieza a transmitir un número de identificación continuamente. Los datos no pueden ser alterados y la comunicación es unidireccional hacia el lector. Aplicaciones comunes: identificación de animales, control de acceso y automatización industrial.

Transpondedor de lectoescritura

Abarcan los transpondedores cuya memoria puede ser grabada con datos provenientes del lector. La lectura o escritura de datos regularmente se hace por bloques (agrupación de bytes). Antes de permitir un cambio a un bloque, se transmite completo al lector y luego el lector transmite de vuelta el bloque y los cambios. Tamaños de bloque común son 4 y 16 bytes. La estructura de bloques facilita el direccionamiento de memoria.

## Transpondedor con función criptológica

Para aplicaciones de mayor seguridad, no podemos permitir que cualquier lector escriba o lea la memoria del transpondedor. Es por esto que debemos prevenir el acceso no autorizado al transpondedor. Podemos proteger los datos mediante la verificación de una contraseña previamente almacenada en el lector y comparada contra una que envía el transpondedor. Si deseamos usar autenticación mutua para verificar que el lector y el transpondedor pertenecen a la misma aplicación, utilizamos un procedimiento de autenticación (como los descritos con anterioridad) consistente en la comparación de dos claves secretas. Este procedimiento es efectivo para contrarrestar las escuchas radiales. Además de la memoria de aplicación estos transpondedores vienen equipados con un área especial para almacenar la clave secreta y para un registro de configuración.

## Memoria segmentada

Con anterioridad vimos como proteger un transpondedor de una aplicación foránea. La memoria segmentada se refiere a transpondedores con grandes cantidades de memoria, dividida en diferentes segmentos para distintas aplicaciones, un procedimiento de autenticación es realizado para acceder a los diferentes segmentos mediante una clave de aplicación.

## EEPROM de dos puertos

En el pasado gozaron de gran popularidad los módulos de EEPROM con interfaz de bus serial  $I^2C$  (IIC, Inter IC Bus), puesto que se utilizaban para interconectar microprocesadores y otros integrados en una placa impresa.  $I^2C$  es un bus serial y requiere únicamente dos líneas bidireccionales, datos seriales (SDA), reloj serial (SCL). La lectura o escritura se realiza mediante el envío de comandos definidos por las líneas mencionadas.

En la actualidad estos módulos EEPROM cuentan también con un interfaz de alta frecuencia y pueden accederse también por las líneas SDA y SCL es por ello que se le denominan EEPROM de dos puertos.

## **1.9.2 Microprocesadores**

Los microprocesadores en los transpondedores así como coprocesadores matemáticos (unidad criptológica) se han vuelto componentes cotidianos de los transpondedores. Esto ha permitido que incorporen sus propios sistemas operativos.

### **1.9.2.1 Tarjeta de interfaz doble**

Las aplicaciones más comunes para las tarjetas inteligentes de contacto son aplicaciones de pago y telefonía móvil. Mientras que las tarjetas inteligentes sin contacto se usan para control de acceso y transacciones pequeñas. La tendencia de combinar aplicaciones de pago con aplicaciones sin contacto llevó al desarrollo de las tarjetas de interfaz doble. Donde está disponible la interfaz con contactos y sin contactos.

La mayor ventaja de este sistema es que puede hacer uso de infraestructura existente (lectores de tarjetas de contacto) mientras se hace la transición hacia la tecnología sin contacto. Para cuestiones de seguridad, son indistintas las interfaces.

La gran diferencia entre interfaces radica en la potencia disponible y la potencia que consume. Para un sistema sin contacto a una distancia máxima, la potencia disponible es 5 mW (Mühlbauer, 2001). Por el otro lado, una tarjeta inteligente con contactos puede tener 7.2 mW, 50 mW o hasta 300 mW dependiendo de la aplicación. Para los microprocesadores de aplicaciones sin contacto, se hace necesario utilizar una unidad de administración de potencia en el chip. También se puede poner en modo de bajo consumo al microprocesador cuando se está realizando una transferencia de un bloque de datos. La utilización de un coprocesador puede reducir el tiempo de descifrado por un factor de varios cientos, esto representa una mejora en el tiempo total de transacción y por ende en el consumo de potencia.

### **1.9.3 Tecnología de memoria**

Memoria tipo ROM es incorporada al momento de manufactura. Memoria tipo RAM, EEPROM o FRAM de ser necesaria la escritura de datos, es incorporada en el transpondedor.

### **1.9.3.1 RAM**

Esta memoria es para almacenar temporalmente los datos, ya que es volátil, es decir que sin suministro de energía pierde para siempre los datos que contenía. En transpondedores activos (con batería) a veces se usan como memoria de largo plazo.

### **1.9.3.2 EEPROM**

El principio de operación de una celda de EEPROM se basa en la habilidad de un capacitor de almacenar carga eléctrica por periodos largos. Es por esto que una EEPROM representa un pequeño capacitor que puede ser cargado o descargado. Uno cargado es un 1 lógico y uno descargado es un 0 lógico.

Una celda de EEPROM consiste básicamente de un transistor de efecto de campo modificado encima de un sustrato de silicón. Tiene una compuerta adicional entre el sustrato y la compuerta de control del FET, esta es llamada compuerta flotante y puede ser cargada o descargada mediante el sustrato utilizando el efecto túnel, por ende representa un capacitor.

Se requiere de altos voltajes para escribir en este tipo de memoria y los tiempos de escritura son grandes en comparación con otros tipos.

### **1.9.3.3 FRAM**

La memoria RAM ferro eléctrica o FRAM es aquella que utiliza el efecto ferro eléctrico, la habilidad de ciertos materiales de retener una polarización eléctrica sin la presencia de un campo eléctrico, para grabar datos en memoria. Tiempos de escritura de  $0.1 \mu s$  y bajo consumo de potencia hacen del FRAM una atractiva opción de memoria. Problemas al combinar esta tecnología con procesadores CMOS y circuitos analógicos han limitado el crecimiento de su popularidad.

## **1.10 Lectores**

### **1.10.1 Flujo de datos en una aplicación**

Una aplicación de software que está diseñada para leer datos de un portador de datos electrónicos (transpondedor), requiere de un lector sin contactos como

interfaz. Desde el punto de vista de la aplicación, el acceso al transpondedor debe ser lo más transparente posible.

Operaciones de lectoescritura que involucran a un transpondedor se basan en el principio maestro esclavo. Es decir que todas las actividades del lector y del transpondedor son iniciadas por la aplicación de software. Es un sistema jerárquico, puesto que la aplicación le da comandos al lector como su maestro y luego el lector actúa como maestro con el transpondedor.

Una instrucción de lectura por la aplicación de software puede conllevar varias etapas de comunicación entre un lector y un transpondedor. Un comando de lectura activa al transpondedor, se ejecuta la secuencia de autenticación y luego la transmisión de los datos solicitados.

### **1.10.2 Componentes de un lector**

Pese a las variaciones entre tipos de acople, secuencias de comunicación, el procedimiento de transmisión de datos y el rango de frecuencias, todos los lectores funcionan esencialmente de la misma manera.

Los lectores pueden ser reducidos a dos bloques de funcionamiento básicos: el sistema de control y la interfaz de alta frecuencia.

### **1.10.3 Interfaz de alta frecuencia**

La interfaz de alta frecuencia del lector realiza las siguientes funciones.

- Generación de potencia de transmisión de alta frecuencia para activar y suministrar potencia al transpondedor.
- Modular la señal de datos a transmitirse al transpondedor.
- Recepción y demodulación de señales de alta frecuencia provenientes de un transpondedor.

### **1.10.4 Unidad de control**

La unidad de control del lector es el encargado de realizar las siguientes funciones:



- Comunicarse con el software de aplicación y ejecutar los comandos que este le da.
- Control de la comunicación con un transpondedor (maestro esclavo).
- Codificación y decodificación de señal.
- Ejecución de un algoritmo anticolidión.
- Encriptado y desencriptado de datos transferidos entre transpondedor y lector.
- Verificación de autenticidad entre transpondedor y lector.

La unidad de control regularmente está basada en un microprocesador para cumplir estas funciones, y puede contar con el respaldo de un coprocesador para los procedimientos criptológicos.

El intercambio de datos entre el software de la aplicación y la unidad de control se realiza mediante una interfaz RS232 o RS485.

### **1.10.5 Antenas para sistemas inductivos**

Antenas para lectores en sistemas con acople inductivo generan flujo magnético  $\Phi$ , el cual se utiliza para alimentar al transpondedor y para enviar mensajes entre el lector y el transpondedor. Esto da lugar a tres requerimientos fundamentales de diseño para una antena de lector:

- Corriente máxima  $i_1$ , para un flujo magnético máximo  $\Phi$ .
- Correspondencia de potencia de tal manera que la cantidad de energía disponible pueda ser usado para generar flujo magnético.
- Suficiente ancho de banda para la transmisión sin distorsión de la señal portadora modulada con los datos.

Una antena de lector para un sistema de IDRf con acople inductivo se caracteriza por su frecuencia resonante y su factor Q. Un factor Q elevado conlleva corriente elevada en la bobina de la antena y por ende mejora la potencia de transmisión hacia el transpondedor. En contraste, el ancho de banda de transmisión de la antena es inversamente proporcional al factor Q. Un ancho de banda reducido causado por factor Q elevado puede reducir la banda lateral recibida desde el transpondedor.

## **2 CONSIDERACIONES DE SOFTWARE Y DE HARDWARE**

### **2.1 Consideraciones para brownout y blackout de suministro**

Tenemos tres tipos de falla de suministro comunes, el dropout (disparo de voltaje), brownout (variación de voltaje) y el blackout (pérdida total de voltaje). Para el caso del brownout, si la variación es mayor, puede llegar a alterar valores de frecuencia, lo cual modificaría la transmisión y los datos, es por ello que se buscaría aprovechar la energía disponible para almacenar los datos de programa en memoria no volátil, así como la posición del contador de programa y registros de control del microprocesador.

En el caso del dropout, si la selección del capacitor y la configuración del regulador de voltaje fueron apropiadas, no habrá interrupción de suministro. Si llega a descargarse el capacitor más allá de lo que permite la operación normal del transpondedor, la falla se considera blackout.

En el caso del blackout, es necesario poder predecir hasta cierto grado la pendiente del apagón y predecir el tiempo del que disponemos para almacenar variables volátiles. Para esto se hace necesario contar con un CAD (convertidor analógico digital) de alta velocidad y buena resolución para monitorear el ingreso de voltaje y calcular la pendiente de los cambios que se presenten en el microprocesador. Podemos interpretar un brownout, un dropout e incluso variaciones en la frecuencia como señales de aviso de un blackout eminente y tomar las acciones preventivas necesarias para que el sistema retome sus actividades cuando se restablezca el suministro.

Otra forma de reducir posibles pérdidas de datos, es aprovechar cuando el suministro de energía es óptimo para realizar las tareas que consumen más energía como la escritura en memoria de grandes bloques de datos. Realizar periódicamente grabaciones en memoria de datos de programa, nos pueden ahorrar valiosos milisegundos a la hora de una contingencia. Cortar cargas inútiles como por ejemplo el coprocesador matemático a la hora de una grabación de datos de emergencia.

## **2.2 Middleware y su importancia**

Middleware se define como un software que interconecta dos o más aplicaciones de software, permitiendo el intercambio de datos entre ellos. Puede ser utilizada para facilitar la creación de procesamiento distribuido que consiste en la conexión de múltiples aplicaciones para crear una aplicación más grande, mediante una red.

Las ventajas del middleware con respecto a sistemas operativos y servicios de red son que permiten a una aplicación:

- Ubicar recursos con transparencia en la red, por ende provee conectividad con otras aplicaciones y servicios.
- Ser independiente de servicios de red.
- Ser confiable y estar siempre disponible.

Un ejemplo de middleware aplicado a IDRF es el siguiente: supongamos que tenemos una base de datos al cual accedemos mediante un ordenador utilizando SQL. Al realizar la petición de datos, la base de datos se comunica con el middleware que a su vez se comunica con el o los lectores pertinentes que a su vez se comunican con el o los transpondedores pertinentes que transmiten la información solicitada al lector, el lector le entrega los datos al middleware, el middleware se los entrega a la base de datos y la respuesta a la petición es completada, para el usuario de SQL toda esta comunicación es transparente puesto que para él basta con solicitar los datos, sin tener que preocuparse de lo demás.

## **2.3 Redes de IDRF**

Tomando como referencia las generalidades de las redes que monitorean el comportamiento cardíaco como: CardioNet, Medtronic y Biotronik, estableceremos unos lineamientos para redes de IDRF.

En CardioNet el paciente es equipado con tres electrodos conectados a un electrocardiógrafo inalámbrico que transmite información continuamente a un PDA, el PDA a su vez envía la información por la red de telefonía celular a una

computadora que procesa la información y la clasifica según urgencia y es remitida a especialistas que la analizan, al detectar una situación de peligro le avisan al paciente.

En Medtronic el paciente periódicamente pone una antena sobre su marcapasos o desfibrilador, permitiendo la transferencia de datos almacenados hacia un monitor (dispositivo similar a un router). El monitor tiene una conexión de red segura por la cual transmite los datos a un ordenador que está conectado a la red. La información del paciente está disponible para su médico vía web.

En Biotronik el desfibrilador o marcapasos periódicamente o cuando detecta problemas envía datos a un dispositivo tipo teléfono celular que el paciente debe cargar con él. El dispositivo envía información vía la red de telefonía celular a un centro de servicio, la información es puesta a disposición del médico vía web.

Basado en los rasgos comunes de estos sistemas podemos definir unos lineamientos para redes de IDRF:

- Que el lector se comunique con un dispositivo conectado a la red de telefonía celular o conectado a una red de computadoras.
- Que el destino de la información sea una computadora desde la cual pueden acceder personas o programas que procesarán la información.

Es evidente que un teléfono celular capaz de comunicarse con un lector bastaría para cumplir la función del dispositivo mencionado con anterioridad. Cierta programabilidad, capacidad de procesamiento y de memoria son necesarios, pero con los avances dados en el campo de la telefonía celular, la dificultad de elegir un dispositivo radica en la diversidad de aparatos disponibles, y la facilidad de programación que presenta.

#### **2.4 Detector de IDRF**

El detector de IDRF se define como un dispositivo que busca detectar la presencia y determinar la ubicación de un transpondedor dentro de su zona de detección. Básicamente es un lector que avanza progresivamente por las frecuencias

disponibles a IDRF y secuencialmente por las formas de acople encontrando todo transpondedor que se encuentre en su zona de detección.

Para un transpondedor de un bit de radiofrecuencia o de divisor de frecuencia, la detección y respuesta del transpondedor depende del circuito LC del lector, podemos equipar este circuito LC con maneras físicas de variar el valor de sus parámetros, por ejemplo un motor a pasos que controle la rotación de un capacitor o inductor variable.

Vale la pena comentar que aunque el principio de operación de un detector de IDRF es simple, los gastos de construcción e implementación son elevados y las dimensiones físicas que tendrá son considerables.

Para los transpondedores microondas se hace necesaria una antena adicional, y se mantienen los principios de variar la frecuencia de la señal base mediante componentes externos que influyen en la frecuencia de operación. Para los transpondedores acustomagnéticos puede utilizarse algún dispositivo externo que controle la restricción de la base del filamento que vibra y así controlar la frecuencia.

Para los transpondedores con acople inductivo se puede utilizar un motor para controlar un extremo de la bobina, de tal manera que se comporte como un reóstato haciendo contacto con la espira N conforme se desee ese valor de inductancia, y la capacitancia puede ser controlada mediante la variación de su área y/o de la separación entre sus placas además del procedimiento descrito anteriormente.

Para los transpondedores con acople eléctrico podemos hacer uso de mecanismos para controlar las dimensiones del área de las placas.

En general vamos a necesitar de componentes pasivos variables cuyos valores puedan ser controlados por motores o accionadores que a su vez son controlados por un microprocesador. También se necesitan de múltiples antenas para cubrir varios rangos de frecuencia y también de motores que actúen sobre las dimensiones físicas de las antenas para mejorar condiciones de ganancia de acuerdo a las longitudes de onda que se están detectando en ese momento.

Otro factor importante para el detector de IDRF es el tiempo que el transpondedor que se desea detectar permanezca dentro de la zona de detección, puesto que el pasar secuencialmente por todas frecuencias para diferentes tecnologías y tipos de acople, tendrá una duración mucho mayor que una simple lectura de transpondedor donde la frecuencia es sabida.

Una última consideración es que al momento de recibir una respuesta de un transpondedor que está en la zona de detección, no debemos asumir que esa es la frecuencia de operación. Se procede a registrar la intensidad de la señal recibida, luego se sigue probando para los valores de frecuencia que siguen, al momento de detectar que la intensidad empieza a decrecer, podemos concluir que el valor medido con anterioridad corresponde a la frecuencia de operación del transpondedor.

## **2.5 Fuentes de poder alternativos**

### **2.5.1 Solar**

La conversión de energía solar a electricidad se logra mediante el uso de paneles fotovoltaicas compuestas de celdas fotovoltaicas. Una celda fotovoltaica convierte la energía del sol en una corriente que circula entre dos placas con cargas opuestas.

Silicio cristalino y arseniuro de galio son los materiales regulares para las celdas, el arseniuro de galio es fabricado especialmente para esta aplicación y por ende tiene un costo mayor que el silicio cristalino que también se utiliza comúnmente en la industria microelectrónica.

Con una exposición directa al sol, una celda puede producir 0.5 amperios a 0.5 Voltios, dependiendo del brillo solar y la eficiencia de la celda, el arseniuro de galio tiene mejor eficiencia, pero también tiene un costo mayor.

### **2.5.2 Movimiento (nano generadores)**

Investigadores del Instituto de Tecnología de Georgia encabezados por el Profesor Zhong Lin Wang han desarrollado una técnica para alimentar dispositivos de la escala nanométrica. Mediante la conversión de energía mecánica en energía

eléctrica a partir del movimiento. Producen corriente al doblar y desdoblar arreglos de nano cables de óxido de zinc, que son piezoeléctricos y semiconductores a la vez. El desarrollo de esta tecnología va de la mano con el desarrollo de la nanotecnología.

### **2.5.3 Agua salada**

Una celda electrolítica tiene tres componentes un electrolito y dos electrodos (ánodo y cátodo). El electrolito es usualmente una solución de agua u otros solventes en el cual se disuelven iones. Los electrodos son dos metales que tienen dos potenciales de reacción diferentes al electrolito, esta diferencia de potenciales crea una circulación de corriente y puede ser usada como suministro de energía.

## **2.6 Beneficios de procesadores y memoria basados en memristores**

Un memristor (resistencia con memoria) es un dispositivo pasivo de circuitos de dos terminales, considerado el cuarto elemento pasivo con la resistencia, el capacitor y el inductor. El memristor mantiene una relación funcional entre las integrales en el tiempo de la corriente (carga) y el voltaje (flujo). El resultado es una resistencia que varía en proporción con una función de memristencia. Los memristores son necesariamente no lineales, de ser lineales, serían una resistencia común.

La gran diferencia del memristor con los demás elementos pasivos de circuitos, es que puede retener una memoria de su pasado, cuando el circuito es desenergizado, el memristor se recuerda del voltaje al que estuvo sometido y la duración del sometimiento. Esta es una propiedad que no puede ser reproducida por cualquier cantidad y/o combinación de resistencias, capacitores e inductores, y es por esto que debemos considerar al memristor como un elemento fundamental de circuito.

La analogía clásica de la resistencia es una tubería por la cual circula agua (corriente). El área transversal del tubo es análogo a la resistencia al flujo de corriente, menor área transversal, mayor resistencia. Resistencias comunes tienen un área transversal fijada. En contraste, el memristor cambia su área transversal en proporción a la cantidad de agua que circula por la tubería. Si el agua circula en un sentido, la tubería se agranda, si circula en el sentido contrario, el diámetro del tubo

se reduce (aumento de resistencia). Cuando la circulación de agua se interrumpe, el tubo conserva el tamaño que tenía al momento de detener el flujo de agua. Es por esto que se dice que tiene memoria.

El mecanismo descrito con anterioridad puede ser reproducido mediante transistores y capacitores o amplificadores operacionales y capacitores, pero se requiere de gran cantidad de estos para simular un solo memristor.

Los procesadores basados en memristores, así como la memoria basada en memristores, presentan ciertas ventajas que hacen de ellos elementos ideales para integrar en sistemas de IDRf. La no volatilidad significa que al momento de una interrupción de la energía de suministro, todos los datos de memoria, de programa e incluso los cálculos que se están realizando, conservarán su estado hasta que se restablezca la potencia, y luego continuarán como si nada hubiese sucedido. Vale la pena hacer notar que con este esquema ya no son necesarios los procedimientos de brownout y blackout descritos con anterioridad, puesto que la memoria no corre riesgos de perder su información, ni el procesador de perder su configuración ni datos de programa.

La otra ventaja de gran beneficio para los sistemas de IDRf es que el único momento donde consume potencia es cuando está siendo fijado o leído su valor de impedancia. No disipa potencia. Para una aplicación tan sensible al consumo de energía como la IDRf, este tipo de dispositivos basados en memristores parecen ser una solución viable a varios de los problemas que aquejan a la IDRf.





## CONCLUSIONES

1. La IDRF en el futuro cercano será la tecnología de identificación dominante del planeta, dado que los precios de los componentes, transpondedores y lectores van bajando cada vez más.
2. El alcance del lector debe ser considerado cuando se selecciona un lector para una aplicación específica.
3. Un sistema que incorpora microprocesador y/o coprocesador matemático es recomendable que opere al menos en el rango de frecuencias de 13.56 MHz por su buena velocidad de transmisión de datos y aceptable velocidad de reloj.
4. Un estudio a fondo de la teoría electromagnética y los principios físicos de operación son indispensables para la comprensión del tema de IDRF.
5. La antena más eficiente aunque quizá la más costosa es la antena Yagi-Uda.
6. La seguridad de datos es un tema de mucha importancia para las aplicaciones que tienen que ver con el dinero o bienes materiales.
7. Las tarjetas de interfaz doble son una de las más versátiles presentaciones de transpondedores de IDRF.
8. Hay mucho campo en el desarrollo de middleware que traslade datos desde los lectores transparentemente hasta las aplicaciones populares de software actuales.



## RECOMENDACIONES

1. Investigar los beneficios y desventajas de la masiva incorporación de identificadores por radiofrecuencia a productos de consumo.
2. Estudiar a profundidad la viabilidad del detector propuesto y diseñar mejoras para los sistemas controlados por motores y accionadores, de tal manera que se pueda optimizar el tamaño del dispositivo y el tiempo requerido para la detección del transpondedor.
3. Realizar pruebas supervisadas de interrupción de energía en distintas condiciones controladas y con distintas rampas de apagado para verificar la eficacia de los circuitos y algoritmos para contingencias de suministro.
4. Realizar pruebas supervisadas de interrupción de energía en distintas condiciones controladas para verificar la no volatilidad y la continuidad del procesamiento de datos en procesadores y memoria basados en memristores.
5. Profundizar en la teoría electromagnética y los temas que conciernen a los sistemas de IDRFB, para mejorar nuestra comprensión global del asunto.
6. Saber reconocer qué frecuencias son mejores para las aplicaciones.
7. Simular redes de IDRFB con la ayuda de un ordenador para tener una mayor comprensión del comportamiento del flujo de datos y comandos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Finkenzeller, K. **RFID HANDBOOK: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS IN CONTACTLESS SMART CARDS AND IDENTIFICATION**. 2nda edición, John Wiley & Sons Ltd, 2003.
2. Taub H., Schilling D.L. **PRINCIPLES OF COMMUNICATION SYSTEMS**, 2nda edición, McGraw-Hill Book Company, 1986.
3. Stremmer F. G. **SISTEMAS DE COMUNICACIÓN**, Fondo Educativo Interamericano, 1989.
4. Kraus J.D., Fleisch D.A. **ELECTROMAGNETISMO CON APLICACIONES**, 5ta edición, McGraw-Hill, 2000.
5. Hayt W.H. hijo **TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA**, 5ta edición, McGraw-Hill, 1991.
6. Collin R.E. **ANTENNAS AND RADIO WAVE PROPAGATION**, no específica edición, McGraw-Hill Book Company, 1985.
7. Boylestad R.L. **ANÁLISIS INTRODUCTORIO DE CIRCUITOS**, 3ra edición, Editorial Trillas, 1995.