



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI-RUSB
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
FEC**

“Diseño e Implementación de un bastón portable lector de etiquetas RFID para la identificación del ganado y el ingreso de datos en los Sistemas de Trazabilidad Bovina que operan en Nicaragua”

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

Autores:

- **Br. Joseling Vanessa Sánchez Centeno**
 - **Br. Mario Rodolfo García Díaz**

Tutor:

MSc. María Virginia Moncada Balmaceda

Prof. Titular Dpto. Electrónica FEC

Managua, Nicaragua, Agosto 2017

DEDICATORIA

“Dedico esta tesis a mis padres, Elisa y Francisco, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional, de igual manera, a mis hermanos Maryeri y Bayardo”.

Joseling Vanessa Sánchez Centeno

“Con mucho cariño para: Johanna, Nohelia, Lucila, Jeffry y mi abuelo Mario”.

Mario Rodolfo Garcia Diaz

RESUMEN

El presente trabajo monográfico consiste en diseñar un bastón lector portátil que agilice la identificación del ganado de manera electrónica. Este surgió de las necesidades detectadas a través de las visitas a las comunidades rurales e instituciones relacionadas con el manejo del ganado. El lector portátil implementado, consiste en una estación base *RFID* portátil de baja frecuencia, la cual permite asociar un número electrónico único asignado a cada animal del hato con datos básicos como: peso, edad, vacunas, origen raza etc. Esta información pertinente a cada bovino es acumulada en una base de datos y resulta útil para: prevenir el abigeato y tener un control sanitario de los productos ganaderos. Contribuyendo así con el sector ganadero, que tendrá a su disposición un dispositivo de bajo costo desarrollado localmente con potencial para facilitar la adopción de este tipo de tecnología. Una estación base *RFID* portátil de este tipo debe cumplir con el estándar internacional de identificación animal descrito en los documentos *ISO 11784* e *ISO 11785*.

CONTENIDO

Contenido	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
JUSTIFICACIÓN	3
MARCO TEÓRICO	5
1. Introducción a la tecnología RFID	5
2. Estándar RFID <i>ISO 11784/85</i> para la identificación animal	64
3. Lectores RFID <i>ISO 11784/11785</i> en el mercado	75
4. Módulo transceptor RFID según <i>ISO 11784/85</i>	94
5. Trazabilidad bovina	122
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	157
BIBLIOGRAFÍA.....	159
ANEXOS	i

ÍNDICE

Contenido	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
JUSTIFICACIÓN	3
MARCO TEÓRICO	5
1. Introducción a la tecnología RFID	5
1.1. ¿Qué es RFID?	5
1.2. Breve reseña histórica del sistema RFID.....	7
1.3. Funcionamiento del sistema RFID.....	11
1.3.1. Transpondedores (etiquetas, “tags”).....	12
1.3.1.1. Transpondedores activos.....	13
1.3.1.2. Transpondedores semi-activos.....	15
1.3.1.3. Transpondedores pasivos	15
1.3.1.4. Transpondedores semi- pasivos	20
1.3.2. Clasificación del sistema RFID por la frecuencia de operación.....	20
1.3.2.1. Razón de transferencia (ancho de banda).....	24
1.3.2.2. Permeabilidad electromagnética.....	24
1.3.2.3. Distancia de lectura	25
1.3.2.4. Regulaciones del espectro radioeléctrico	25
1.3.3. Clasificación EPCglobal.....	26
1.3.4. Clasificación de los lectores RFID según su portabilidad	27
1.3.5. Transceptor (lector, interrogador).....	27
1.3.6. Comunicación transceptor-transpondedor	30
1.3.6.1. Acople inductivo	30
1.3.6.2. Bloques de comunicación de un sistema RFID pasivo	32
1.3.6.3. Métodos anticolisión	62
2. Estándar RFID <i>ISO 11784/85</i> para la identificación animal	64
2.1. ISO/IEC 11784 (estructura del código).....	64
2.1.1. Estructura completa del código para FDX-B (“ <i>Full-duplex-B</i> ”)	65
2.1.2. Estructura completa del código para HDX (“ <i>Half-duplex</i> ”).....	66
2.2. ISO/IEC 11785 (conceptos técnicos)	67

2.2.1.	Detalles del sistema FDX-B.....	69
2.2.2.	Detalles del sistema HDX	69
2.3.	ISO/IEC 14223 (transpondedores avanzados)	69
2.3.1.	Parte 1: Interfaz aérea	70
2.3.1.1.	FDX-B.....	70
2.3.1.2.	HDX-ADV	71
2.3.2.	Parte 2: Código y estructura de comandos.....	72
2.3.3.	Parte 3: Aplicaciones.....	73
2.4.	ISO/IEC 24631	73
2.5.	ISO/IES 3166-1.....	74
3.	Lectores RFID ISO 11784/11785 en el mercado	75
3.1.	Diseños modulares (producto prefabricado).....	75
3.1.1.	<i>ID-innovations</i>	75
3.1.2.	Priority 1 Design.....	76
3.1.2.1.	RFIDRW-E-TTL	76
3.1.2.2.	RFIDRW-E-USB	77
3.1.2.3.	RFIDLOG y RFIDLOG-AUX.....	78
3.2.	Diseños completos (producto final).....	80
3.2.1.	Allflex	80
3.2.2.	Gallagher	81
3.2.3.	Shearwell Data	82
3.2.4.	ALEIS.....	83
3.2.5.	Tru-test.....	85
3.2.6.	DATAMARS.....	86
3.2.7.	Agrindent	87
3.2.8.	Baqueano	88
3.2.9.	FAREAD	88
3.2.10.	Y-TEX	89
3.2.11.	I.D.ology	89
3.2.12.	Análisis de los lectores como productos finales	89
4.	Módulo transceptor RFID según <i>ISO 11784/85</i>	94
4.1.	Circuito integrado EM4095 para estación base RFID LF	94
4.1.1.	Características Técnicas	94

4.1.2.	Asignación de pines	94
4.1.3.	Funcionamiento	96
4.1.3.1.	General.....	96
4.1.3.2.	Bloques analógicos.....	96
4.1.4.	Configuraciones típicas del EM4095.....	99
4.1.5.	Recomendaciones de diseño con el EM4095	100
4.1.5.1.	Tolerancias	100
4.1.5.2.	Estabilidad de la fuente de poder	101
4.1.5.3.	Máxima corriente en los controladores de la antena.....	102
4.1.5.4.	Señal MOD	102
4.1.5.5.	Sintonización del filtro pasa banda.....	102
4.1.5.6.	Divisor capacitivo	103
4.1.5.7.	“Ground” analógico del sistema (AGND).....	103
4.1.5.8.	Recomendaciones de diseño para el PCB	103
4.1.6.	Ecuaciones	104
4.2.	Teoría de diseño para una bobina antena	105
4.2.1.	Corriente y campo magnético.....	105
4.2.2.	Voltaje inducido en la bobina antena	107
4.2.3.	Tipos de alambre y pérdidas óhmicas.....	110
4.2.4.	Cálculo de Inductancia para varios tipos de bobinas.....	111
4.2.5.	Configuración de bobinas como antenas RFID	114
4.2.6.	Circuitos de resonancia y factor de calidad Q.....	116
4.2.7.	Métodos de sintonización.....	120
5.	Trazabilidad bovina	122
5.1.	¿Qué es trazabilidad alimentaria?	122
5.2.	Origen de la trazabilidad	122
5.3.	¿Por qué es importante la implementación de sistemas de trazabilidad?..	124
5.4.	¿Quién está a cargo de la trazabilidad alimentaria?.....	124
5.5.	¿Porque la trazabilidad está relacionada con la electrónica?	125
5.6.	Métodos de identificación empleados en la trazabilidad bovina	125
5.6.1.	Métodos electrónicos de identificación ganadera	126
5.6.1.1.	Códigos de barra	126
5.6.1.2.	Sistema RFID para ganado	127

5.7.	Trazabilidad bovina en Nicaragua	132
5.8.	Sistemas de trazabilidad implementados en Nicaragua	133
5.8.1.	TRAZAR-Nic	133
5.8.2.	SNITB	134
	ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	135
I.	Requerimientos de diseño.....	135
II.	Diseño del lector RFID ISO 11784/ 11785	136
III.	Ejemplo de diseño de un lector con el chip EM4095 para transpondedores tipo FDX	137
A.	Aplicación para 125kHz	137
B.	Aplicación para 134.2kHz	139
IV.	Diseño de la fuente de poder.....	141
A.	Pack de baterías	141
B.	BMS HH-P3-10.8	142
C.	SY6912A.....	142
D.	LM7805	143
E.	Adaptador AC/DC, μ Panel solar y selector de alimentación	143
V.	Interfaz para exportar datos	144
A.	FTDI FT232RL	144
B.	Modulo Bluetooth HC-05	144
C.	Reloj de tiempo real	145
VI.	Antena utilizada	145
VII.	Algoritmos y Software.....	149
A.	ATmega2560	149
B.	Atmel Studio 7.0.....	150
C.	AVR DRAGON y ATMEL ICE.....	151
D.	Algoritmos y Aplicaciones	152
VIII.	Diseño de la carcasa.....	153
IX.	Diseño del PCB	154
X.	Costo de fabricación.....	155
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	157
	BIBLIOGRAFÍA.....	159
	ANEXOS	i

Anexo I: Diagramas de un lector RFID NFC que opera a 13.56MHz	i
Anexo II: Lectores RFID ISO 11784/85 en el mercado (manuales)	iii
Anexo III: Principales fabricantes de tecnología de RFID para animales a nivel mundial....	lxxxvii
Anexo IV: EM4095.....	lxxxviii
Anexo V: Fuente de poder	xciii
Anexo VI: Interfaz para exportar datos.....	cviii
Anexo VII: Diseño de la antena bobina	cxv
Anexo VIII: Algoritmos y Software	cxxix
Anexo IX: Diseño de carcasa	cxxxvi
Anexo X: Diseño del PCB	cxli
Anexo XI: Costos de fabricación.....	cliii
Anexo XII: Trazabilidad bovina.....	clv
Anexo XIII: Fotos variadas del trabajo realizado.....	clxii

INTRODUCCIÓN

El presente documento monográfico fue estructurado en cinco capítulos. El *Capítulo 1* ha sido destinado como una introducción general a la tecnología RFID, asimismo, el *Capítulo 1* se enfoca principalmente en los dispositivos RFID pasivos ya que es la tecnología de interés para el diseño del lector. Luego, el *Capítulo 2* está dedicado a explicar en qué consiste el estándar internacional de identificación animal *ISO 11784/85*, de igual manera, para poder comprender el *Capítulo 2* es necesario auxiliarse del *Capítulo 1* ya que el *Capítulo 2* no define conceptos básicos y solo se limita a exponer todos los parámetros técnicos de operación que deben cumplir los transceptores y transpondedores RFID regidos por el estándar *ISO 11784/85*. Igualmente, el *Capítulo 3* toma los aspectos expuestos en el *Capítulo 2* y realiza un estudio de mercado, el cual nos brinda información acerca de los costos versus beneficios proporcionados por los lectores *RFID ISO 11784/85* que se comercializan actualmente a nivel global. A continuación, en el *Capítulo 4* se desarrolla la teoría de diseño para elaborar un lector *RFID ISO 11784/85*. Cabe señalar que, el *Capítulo 4* es una recopilación aplicada de todos los capítulos anteriores, de esa manera, se utiliza el *Capítulo 1* para la teoría básica de los sistemas RFID, el *Capítulo 2* para completar la normativa *ISO 11784/85* y el *Capítulo 3* para extraer los requerimientos de precio y funcionalidades que debe cumplir un prototipo lector RFID *ISO 11784/85* para que pueda competir en el mercado ganadero nacional e internacional. Por último, el *Capítulo 5* está dedicado a la *trazabilidad bovina*. En este último capítulo se expone que es la trazabilidad, porque es importante y además, porque guarda íntima relación con la ingeniería electrónica.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar una estación base RFID portátil de bajo costo para digitar datos de trazabilidad bovina, que sea compatible con los protocolos FDX-B y HDX establecidos en el estándar *ISO 11784* e *ISO 11785*.

Objetivos Específicos

- Diseñar una interfaz compatible con las topologías RFID FDX-B y HDX.
- Diseñar el dispositivo para que opere con baterías y que de esa manera sea portable.
- Validar el funcionamiento del prototipo con las entidades pertinentes.

JUSTIFICACIÓN

El proyecto del bastón lector para el manejo del ganado en Nicaragua surgió de las actividades de cooperación entre la *Universidad de Villanova* de los Estados Unidos y la *Universidad Nacional de Ingeniería* en el año 2015. Las cuales tenían como objetivo encontrar una problemática del entorno y proponer una solución. Durante los viajes que hicimos en el entorno ganadero, nos enteramos que el problema del abigeato es grave dentro del país ya que los animales que son hurtados difícilmente son recuperados y eso resulta en pérdidas monetarias para los dueños. Así nació la idea del presente proyecto e inicialmente las posibles soluciones tecnológicas para el problema eran variadas, como por ejemplo: collares GPS, rastreo por telemetría, perímetros de seguridad o manejo del ganado por métodos genéticos. Sin embargo, conforme indagamos en el tema y luego de avocarnos con las autoridades correspondientes, en este caso **IPSA** (*Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria*) y **APEN** (*Asociación de Productores y Exportadores de Nicaragua*), la idea de proyecto se fue delimitando hasta llegar a la solución actualmente propuesta la cual es adecuada de acuerdo con las normativas nacionales y las buenas prácticas internacionales.

Descubrimos que para 2008 se estimaba que Nicaragua poseía aproximadamente 3.5 millones de cabezas de ganado y a su vez exportaba aproximadamente 51,537 toneladas métricas de carne, de esa forma *Nicaragua* se posicionaba como el país con más potencial a nivel centroamericano en cuanto a ganadería. Asimismo, según el *CENAGRO 2011 (Censo Nacional Agropecuario 2011)*, Nicaragua poseía para ese entonces alrededor de 4.2 millones de cabezas de ganado, lo cual, a nivel poblacional equivaldría a casi una cabeza de ganado por persona. Igualmente, a nivel económico, esta cifra representa el 10% del *PIB* Nacional y casi el 50% del *PIB* agropecuario. En cuanto a las exportaciones, hasta Diciembre del 2012 la ganadería había generado más de 659 millones de dólares. No obstante, a pesar del potencial ganadero que el país posee, este enfrenta dos problemas básicos: el primero es *el abigeato (problema encontrado inicialmente al visitar las comunidades)* y el segundo es *la carencia de un sistema de trazabilidad robusto (problema encontrado al contactar con IPSA y APEN)*. Según estadísticas de la *Policía Nacional*, en el año 2012 se registraron 2,671 casos de abigeato, además, según información proporcionada por el diario *La Prensa*, para ese mismo año, los animales que se lograron recuperar fueron menos del 30% del total robado y las pérdidas para el primer trimestre ascendían a casi 4 millones de córdobas. De esa forma, según *IPSA* y *APEN*, una de las soluciones para este problema es la identificación de los animales mediante aretes, sin embargo, los aretes utilizados hasta el día de hoy en las fincas del país son del tipo *visual-visual*, los cuales permiten identificar cada cabeza de ganado con un código único, pero estos números de ID deben ser manejados con ayuda de papel y lápiz, además, los códigos deben ser digitalizados manualmente mediante un computador en caso de querer insertarlos en una base de datos. Cabe señalar que, los identificadores del tipo *visual-visual*, llamados también aretes simples, son adecuados cuando se desean monitorear pocos animales, pero no son propicios para grandes cantidades (<10), ya que no permiten auditar rápidamente las cabezas de ganado para saber si hay animales faltantes y tampoco permiten registrar datos de trazabilidad de los animales de manera automática. Hoy en día, la trazabilidad es muy importante ya que la mayoría de los países del mundo la exigen para garantizar el origen salubre de los alimentos y la calidad de estos. Es por eso que las exportaciones ganaderas nacionales

son limitadas a cierto número de países debido a que no se posee un sistema de trazabilidad robusto que garantice el origen saludable de los productos derivados de la ganadería. Actualmente, la solución más viable para los problemas de abigeato y manejo de la trazabilidad es implementar un sistema electrónico de identificación que agilice el proceso de gestión ganadero para evitar el robo de los bovinos y asimismo evitar el error humano de no digitar adecuadamente los códigos de identificación asociados a cada semoviente. Además, este sistema debe ser compatible con la normativa internacional *ISO 11784/85* la cual es la tecnología *RFID* dedicada para este tipo de aplicaciones.

Al presente, nuestro país cuenta con dos bases de datos para la identificación del ganado y manejo de trazabilidad bovina, un sistema es llamado *TRAZAR-Nic* dirigida por la organización no gubernamental *APEN* y el otro es llamado *SNITB (Sistema Nacional de Información y Trazabilidad Bovina)* promovido por el gobierno mediante el *IPSA*. Sin embargo, ambos proyectos lidian con la poca aceptación de sus sistemas de monitoreo debido a la falta de asesoría técnica relacionada con la tecnología electrónica de identificación animal. Además, debido a los altos costos de los lectores *RFID ISO 11784/85* que se encuentran en el mercado internacional, se vuelve poco atractivo para los productores comprar este tipo de instrumentos para llevar registros de manera automática. Por ello, a pesar que se dispone de una base de datos, toda la información de los bovinos debe ser registrada mediante papel y transcrita a su respectiva base de datos manualmente lo cual no es eficiente. En una entrevista con el Ing. *Juan Carlos Miranda*, Director de Trazabilidad Pecuaria del *IPSA*, se nos mencionó que existe disponibilidad de identificadores del tipo *visual-electrónico* o arete *RFID* los cuales tiene un costo de *USD3* a *USD5* cada uno, pero actualmente se siguen utilizando aretes simples debido a que no ha sido posible distribuir los dispositivos lectores a los productores. *IPSA* actualmente utiliza lectores *DATAMARS* que tienen un costo de aproximado de *USD450*, pero existe interés de lectores más baratos y con más funcionalidades orientadas a la trazabilidad para poder distribuirlos con más facilidad. En la actualidad *IPSA* urge de los lectores *ISO 11784/85* ya que según el Ing. *Ricardo Somarriba*, Director General del *IPSA*, este instituto implementará un sistema llamado *SSPB (Sistema Segregado de Producción Bovina)* en los municipios de Boaco, Camoapa, Matiguas, Rio Blanco, Mulukukú y Paiwas, el cual tiene como objetivo juntar fincas que deseen adoptar el estándar que exige el mercado europeo para empezar a competir en un mercado de más valor. Según información cedida por el Ing. *Leonardo Garcia*, encargado del Área de Trazabilidad de *APEN*, el valor de la carne puede incrementar al doble al agregar la trazabilidad, lo cual es beneficioso para las divisas del país. Por ese motivo, este trabajo monográfico trata del diseño de un sistema lector y digitador de datos de bovinos accesible económicamente a los productores pecuarios y a las entidades que promueven la trazabilidad, con la finalidad de implementar el sistema de monitoreo electrónico que evite al abigeato y a la vez que permita implementar la trazabilidad bovina en Nicaragua para abrir las puertas de la exportación hacia mercados más competitivos.

MARCO TEÓRICO

1. Introducción a la tecnología RFID

1.1. ¿Qué es RFID?



Figura 1.1 Método de pago **TUC** que opera con tecnología RFID.

“RFID” son las siglas de identificación por radio frecuencia o “Radio Frequency Identification” en inglés. La tecnología RFID es el proceso y estructura física por medio del cual un identificador único dentro de un protocolo ya definido es transmitido desde cierto dispositivo hacia un terminal identificador usando ondas de radio frecuencia. Cronológicamente, ha tomado muchos años de desarrollo el diseño de un sistema funcional de este tipo, pero los principios básicos de operación no son diferentes del ya conocido código barras, el cual consiste en cifrar un número identificador en

lenguaje de máquina para que pueda ser leído rápida y confiablemente de manera automática sin intervención humana. No obstante, no resulta justo decir que la tecnología RFID es solo un código de barras que opera en radio frecuencia, ya que el simple hecho que la tecnología de radio identificación implique el uso de un chip procesador con espacios de memoria, le confiere a esta tecnología aplicaciones inimaginables las cuales no podrían lograrse con el código de barras. Un ejemplo contundente sería identificar productos dentro de una caja sellada sin abrirla. No sería posible con el código de barras ya que implicaría abrir la caja para identificar lo que hay dentro, mientras que con RFID, fácilmente se podría leer que productos hay dentro porque las ondas de radio penetrarían la caja sin abrirla. Y este ejemplo es tan solo una de las muchas aplicaciones que el sistema RFID podría tener.

Imaginarse un mundo donde una compañía no tiene problemas para encontrar su inventario en un almacén o asegurarse que los productos que entregan concuerden exactamente con la orden de entrega o conocer el actual estado de producción de un bien en particular a lo largo de la cadena productiva sin importar el tipo de producto que sea, no son aplicaciones ajenas a la tecnología RFID. De hecho, la tecnología RFID la vemos a diario, pero no nos damos cuenta que está ahí. Por mencionar algunos ejemplos, tenemos presente la tecnología RFID en: tarjetas de pago electrónicas como las tarjetas de transporte urbano colectivo utilizadas en Managua como muestra la **Figura 1.1**, también, en algunos “smartphones” y computadoras portátiles que usan la tecnología NFC o en tarjetas de débito/ crédito las cuales poseen un chip RFID. A continuación, la **Figura 1.2** muestra las partes básicas que componen un sistema RFID, estas son: el transpondedor (etiqueta, “tag”), el transceptor (lector o interrogador) y la interfaz de aplicación para almacenar o visualizar los datos (computadora, “smartphone”, servidor etc.)

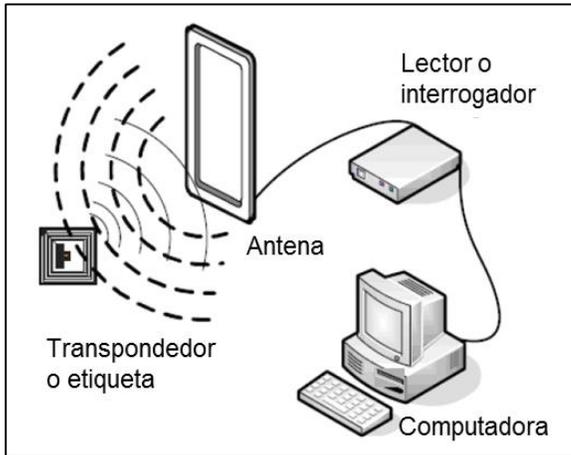


Figura 1.2 Representación gráfica de un sistema *RFID* básico.



Figura 1.3 Varios transpondedores en diferentes formatos y encapsulados.

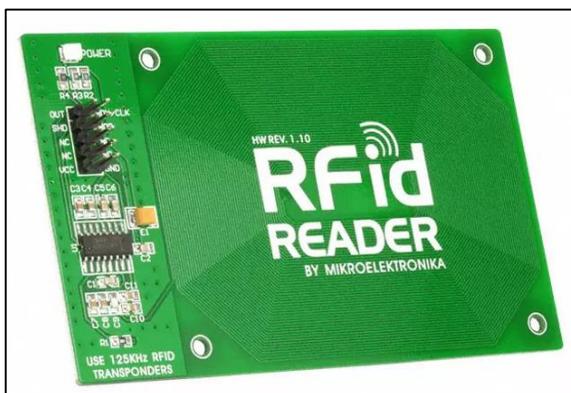


Figura 1.4 Modulo lector RFID fabricado por "Mikroelektronika".

Los transpondedores RFID, también llamados etiquetas o "tags", suelen ser de formas y tamaños variados. Por ejemplo, en la **Figura 1.3** se muestran diferentes tipos de transpondedores, entre ellos: tarjetas, llaveros, placas, botones etc. La forma del transpondedor suele adecuarse a la aplicación a la que está destinado. Por ejemplo, para sistemas de seguridad y de identificación del personal es más adecuado usar tarjetas de PVC, donde es fácil imprimir en forma de carné los datos de la persona como su foto, nombre u otra información. Del mismo modo, los transpondedores *RFID* suelen ser pasivos, es decir, no tienen una fuente de poder propia, sino que extraen energía inalámbricamente del lector cuando están en presencia de este, y de esa manera responden al sistema transceptor con el código único que los caracteriza. Esto provee una enorme ventaja, ya que al no tener una fuente de alimentación, el tamaño que poseen los transpondedores es reducido y pueden ser acondicionados para caber muy bien en cualquier lugar. Por otro lado, la **Figura 1.4** muestra el diseño modular de un lector o transceptor *RFID*, donde se aprecia: la antena integrada en el PCB, el circuito integrado que realiza la función de estación base para comunicarse con los "tags" que es compatible y la interfaz de salida para exportar datos. Asimismo, la interfaz de un lector puede variar según su aplicación. Pero las formas más utilizadas para exportar los datos hacia un ordenador o teléfono pueden ser: *Bluetooth*, *USB*, *RS232*, *Wi-Fi* y algunas veces *Ethernet*. Además, los lectores pueden ser puestos en el mercado como productos finales que ya poseen funciones finitas, o pueden ser modulares, como el de la **Figura 1.4**, el cual está abierto a ser aplicado en cualquier proyecto que vaya de acuerdo con los transpondedores con los que es compatible.

1.2. Breve reseña histórica del sistema RFID

La identificación por radio frecuencia se remonta a los descubrimientos hechos por *Faraday* a mediados del siglo *XIX* y los descubrimientos hechos entre 1900 y 1940 en las tecnologías de radio y radar. *Faraday* descubrió el fenómeno de inducción mutua, lo cual forma las bases para alimentar los transpondedores de manera inalámbrica cuando están en el campo cercano del lector. Los avances tecnológicos que habilitaron el desarrollo de transpondedores de largo alcance ocurrieron durante la primera mitad del siglo *XX* [4].

Volviendo al siglo *XIX*, luego de los trabajos de *Faraday*, el matemático y físico escocés *James Clerk Maxwell* publicó las primeras teorías acerca de la radiación electromagnética en “*Un tratado acerca de electricidad y magnetismo*”. Las ecuaciones de *Maxwell* se construyeron sobre los trabajos de *Coulomb*, *Ampere*, *Faraday* y *Gauss*. Hoy las fórmulas de *Maxwell* son llamadas “*Ecuaciones de Maxwell*”. Estas ecuaciones describen muy aproximadamente el fenómeno de la radiación electromagnética. *Maxwell* teorizó que la radiación electromagnética viaja a la velocidad de la luz en la forma de ondas. Más tarde en 1888, el físico alemán *Heinrich Rudolf Hertz* fue el primero en probar la existencia de la radiación electromagnética y las teorías de *Maxwell*. *Hertz* logró esto al construir un dispositivo que producía ondas de radio. Después de ello, en 1901, *Guglielmo Marconi* transmitió un radio-telegrama de manera transatlántica. *Marconi* había enviado la primera transmisión inalámbrica a larga distancia marcando el inicio de una nueva era en la historia humana. Luego, 20 años más tarde, la cadena *BBC (British Broadcasting Corporation)* ya estaba transmitiendo a través de Inglaterra y Europa. El logro de *Marconi* obligó a los ingenieros y científicos alrededor del mundo a encontrar nuevas formas de hacer uso de la tecnología que empezaba a emerger. Investigaciones entre 1920 y 1930 eventualmente llevaron al desarrollo del *radar (radio detection and ranging)*. El radar en un principio fue desarrollado como un sistema anticolidión. De esa manera, el radar podía determinar la localización de un objeto usando tres pasos básicos: primero, una onda de radio direccionada es transmitida, segundo, la onda de radio se propaga desde la fuente y es reflejada por cualquier objeto con el cual entre en contacto, por último, cuando la fuente recibe la onda reflejada, un simple cálculo es realizado para determinar la distancia del objeto con respecto a la fuente.

Uno de los pioneros del radar fue un científico británico llamado *Robert Watson-Watt*. Aunque *Watson-Watt* no fue el inventor del radar, él fue acreditado como uno de los mayores exponentes de esta tecnología cuando el gobierno británico le concedió el desarrollar un radar aéreo en los días de inicio de la segunda guerra mundial [4]. *Watson-Watt* propuso que el radar podría localizar aviones aproximándose al rebotar ondas de radio en sus cascos. Este sistema de radio fue lanzado por todas las Islas Británicas y fue el responsable directo de la victoria de la “*Royal Air Force*” británica que era sobrepasada en número por la “*German Luftwaffe*” alemana, durante la batalla de Gran Bretaña. La transmisión por radio y el radar son las tecnologías fundamentales que dieron vida a la tecnología de radio identificación por frecuencia. La primera implementación conocida de RFID se cree es la de: “identificación de amigo o enemigo” o por sus siglas en inglés *IFF*, sistema que fue desarrollado durante la segunda guerra mundial. El sistema *IFF* permitió al ejército británico detectar si los aviones que se acercaban eran amigos o enemigos. Usando tecnología de radar, una señal era transmitida desde una base militar hacia un avión aproximándose, esta señal excitaría el radio transpondedor del avión y si

el avión era amigo, entonces se esperaba que el transpondedor respondiera a la base militar un código secreto que identificaba al avión como amigo. Si el avión respondía con un código erróneo o el avión fallaba al responder, la milicia británica consideraría al avión como una posible amenaza. El sistema *IFF* fue luego mejorado para evitar el fuego entre aviones amigos y aviones aliados. El sistema *IFF* mejorado aún está en uso hoy en día por la mayoría de las fuerzas militares del mundo. La diferencia es que hoy en día se transmiten mucho más datos en comparación con el código antiguo, pero el concepto es casi el mismo de 1940 [4].

La evolución de la ciencia y las aplicaciones de radio comunicaciones continuaron hasta mediados de 1900. Los ingenieros rápidamente aprendieron como transmitir, controlar y recibir ondas de radio de manera precisa y con ello nació un conocimiento más amplio de la ingeniería *RF*. En 1948, *Harry Stockman* publicó un documento titulado: “*Comunicación por medio de la potencia reflejada*”. *Stockman* descubrió que las ondas de radio podrían poseer suficiente energía electromagnética para alimentar un transmisor remoto. De esa manera, el transmisor remoto podría usar energía electromagnética recolectada de las ondas de radio recibidas y generar una transmisión de radio [4]. Este descubrimiento es el fundamento principal de la tecnología *RFID* con transpondedores pasivos. No obstante, hubo muchas barreras que impidieron el desarrollo práctico de las aplicaciones *RFID* antes que un transpondedor *RFID* pudiera ser como lo conocemos hoy.

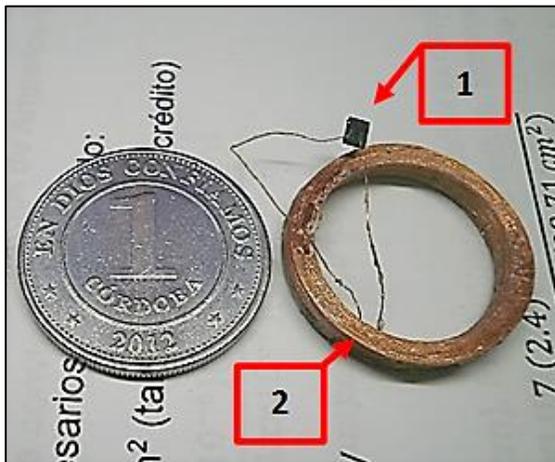


Figura 1.5 Chip de un transpondedor *HDX ISO 11784/85* con respecto a un córdoba nicaragüense. (1) Chip transpondedor, (2) bobina antena.

La **Figura 1.5** muestra la sección interna de un transpondedor utilizado para la identificación y manejo del ganado, el cual cumple con el estándar *RFID ISO11784* e *ISO11785* que corresponde a la identificación de animales. Más adelante se explicará con detalles este estándar y sus características, por el momento en la figura se puede apreciar que este tipo de etiquetas (*transpondedores*) son pasivos por lo cual extraen energía del lector o transceptor con el cual son compatibles y su encapsulado es en forma de aretes impermeables para ubicarse en las orejas de los bovinos y otros animales de corral. El tamaño del chip transpondedor no sobrepasa los 2mmx2mm de tamaño. De esa manera, etiquetas como la de la

Figura 1.5 nunca hubieran sido posibles sin los avances en la electrónica de los años 50, como la invención del transistor en 1947 en los laboratorios Bell por *John Bardeen*, *Walter Brattain* y *William Shockley*. Siguiendo la línea temporal, tenemos que en 1948, *Raytheon Corporation* produjo el primer transistor de contacto el *CK722*. La invención del transistor pavimentó el camino para la invención del circuito integrado, lo que revolucionó las tecnologías de producción y diseño de circuitos. La manufactura de circuitos integrados permitió el desarrollo de transpondedores pequeños y flexibles que no eran posible antes.



Figura 1.6 Sistema de detección moderno tipo “EAS” en un negocio.

Inicialmente, las primeras aplicaciones *RFID* estuvieron relacionadas con la seguridad y la vigilancia. Estas aplicaciones comenzaron a florecer al final de 1960 y al principio de 1970. La vigilancia electrónica de artículos (“*EAS*” por sus siglas en inglés¹) es una de las aplicaciones más básicas del sistema *RFID*. Las etiquetas *EAS* simplemente transmiten una señal de: “*Estoy aquí*” cuando están en proximidad del campo electromagnético que alimenta el transpondedor. La señal emitida por el transpondedor no solamente identifica de manera única un bien o producto, sino que

la señal da información de la localización de este. Esta aplicación hoy en día está en uso en casi todos los negocios donde las mercancías pequeñas pueden ser un problema. Las etiquetas tipo *EAS* pueden ser encontradas en libros, cajas de discos compactos, ropa, zapatos, perfumes etc. Estas etiquetas activan una alarma o notifican a la seguridad de los negocios cuando estos productos son detectados en la salida sin haber sido pagados. En las aplicaciones *EAS* la fuente de poder de las etiquetas está posicionada en cada lado de la salida como muestra la **Figura 1.6**. Cuando el transpondedor *EAS* pasa entre las dos antenas de alta ganancia puestas en la salida, este recibe suficiente energía para transmitir la señal de: “*Estoy aquí*” lo cual activa la alarma. *EAS* también ha sido aplicado para monitorear municiones y personal. Las primeras aplicaciones comerciales de *EAS* fueron desarrolladas entre finales de 1960 y 1970 por: *Checkpoint*TM y *Sensormatic*TM. Ambas compañías aun juegan roles importantes hoy en día en el mercado de *EAS*.

Por otra parte, a pesar que los lectores y etiquetas eran fabricados exitosamente y usados en 1960, no eran muy prácticos debido a su tamaño. La tecnología *RFID* se volvió práctica cuando *Intel Corporation* introdujo el procesador *4004* en 1971. El *Intel 4004* fue el primer procesador del mundo de un solo chip. No obstante, el *4004* no revolucionó los componentes *RFID* de la noche a la mañana, pero si encendió la chispa de una revolución tecnológica. La carrera era para construir circuitos integrados cada vez más pequeños y rápidos. De esa manera el mercado de los procesadores creció exponencialmente, dotando a los ingenieros de nuevas herramientas que permitieron construir soluciones *RFID* más



Figura 1.7 Transpondedores modernos tipo “*EAS*” utilizados para proteger productos y mercancías.

¹ *EAS*= Electronic article surveillance

sofisticadas como las que habían soñado años antes. Y conforme los microprocesadores se volvieron cada vez más pequeños también los transpondedores RFID se volvieron cada vez más avanzados. Igualmente, las nuevas etiquetas eran fabricadas con funcionalidades periféricas como sensores de humedad y temperatura, además que poseían memoria extra integrada para almacenar información diferente a su número de identificación.

En 1978 *Matt Lezin* y *Tom Wilson* exitosamente implementaron transpondedores RFID bajo la piel de vacas lecheras, de esa manera, este hecho marcó el nacimiento de la identificación animal tal como lo conocemos hoy. Las etiquetas que *Lezin* y *Wilson* emplearon contenían funcionalidades periféricas además del código estándar identificador [4]. Sus etiquetas eran capaces de transmitir la temperatura corporal del animal. Una vaca etiquetada con ese tipo de transpondedores podía ser monitoreada por posibles asuntos como: salud, ciclos de ovulación y patrones alimentarios. Desde que *Lezin* y *Wilson* etiquetaron la primera vaca, una amplia variedad de animales han sido etiquetados, incluyendo: peces, monos, gatos, perros etc. Muchos dueños de mascotas han cambiado sus etiquetas identificadoras en forma de collar por microchips subcutáneos y muchos gobiernos de muchos países ahora exigen que los animales sean identificados electrónicamente. Las transpondedores más avanzados pueden almacenar el nombre de la mascota, su dirección y sus récords de vacunas.

Por otro lado, el departamento de defensa de los Estados Unidos (DoD) fue una de las primeras entidades en interesarse comercialmente en el sistema RFID. El DoD fue uno de los primeros que adoptó la tecnología RFID por el potencial que tenía para la logística. Las primeras pruebas se llevaron a cabo con bienes entregados en contenedores. La adopción de la tecnología RFID en el sector comercial se dio después que el DoD empezara a hacer uso de esta tecnología. Con la revolución de las computadoras, el mundo se volvió más pequeño y los negocios empezaron a sentir el impacto. La era de la información permitió a las compañías manejar negocios fácilmente con clientes y proveedores en otras partes de la nación y alrededor del mundo. Las órdenes y volúmenes de ventas se volvieron elevados, la cadena productiva y los requerimientos de logística se volvieron cada vez más importantes conforme la era de la información incrementaba el paso en los negocios. Los códigos de barra llenaron el vacío por muchos años, pero ahora las industrias están empezando a reconocer los beneficios de la tecnología RFID y las capacidades en tiempo real que este sistema ofrece. Cuando *Wal-Mart* exigió que sus 100 proveedores más importantes deberían proporcionar contenedores etiquetados mediante *RFID* para finales del 2006, el RFID en el mercado minorista tomó rápido auge. Pronto, después de *Wal-Mart*, muchas otras compañías como *Best Buy* siguieron los mismos pasos. Hoy en día las compañías alrededor del mundo implementan soluciones *RFID* que van desde el monitoreo de la cadena productiva hasta en el manejo del flujo del personal. Un ejemplo claro de la evolución del sistema RFID se vivió en 1991 en la autopista 407 en Toronto, Canadá, ya que fue la primera carretera con peaje electrónico. Lo que se hace es ubicar un transpondedor RFID en la placa o en otro lugar del vehículo para identificar cuando el auto pasa por la autopista que es de carácter “expres”, luego es debitado un monto de una cuenta bancaria asociada con el identificador del vehículo por haber usado la “autopista expres”.

La **Figura 1.8** muestra el crecimiento de las aplicaciones RFID en el mercado global desde el año 2000 hasta el 2005 en millones de dólares estadounidenses. Como se puede apreciar en la **Figura 1.8** y en el resto de este apartado, la tecnología RFID es de suma importancia para el mundo, ya que su concepto es muy versátil y puede ser implementado en aplicaciones tan sencillas como identificar un producto al por menor o en condiciones mucho más complejas como llevar el control total de la cadena productiva de cualquier empresa. Además, es un sistema que está abierto a mejoras lo cual da lugar a que sus posibles aplicaciones no tengan limite. De hecho, es muy probable que la **Figura 1.8** ya este desactualizada y hoy en día existan aún más aplicaciones que las detalladas en el gráfico.

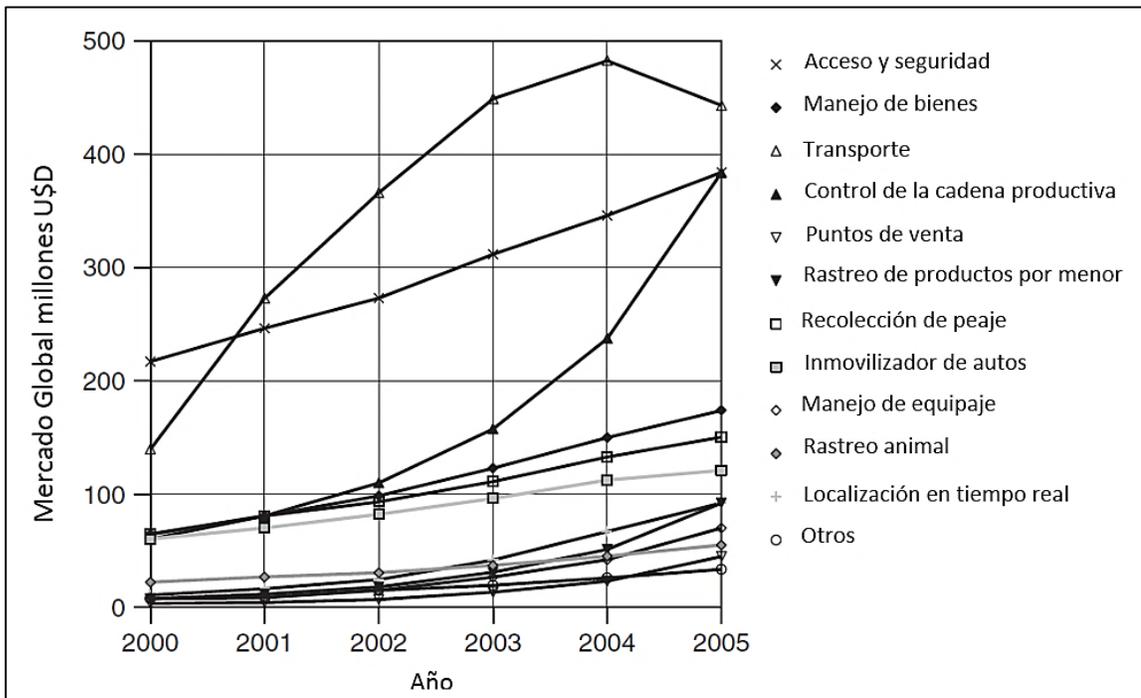


Figura 1.8 Crecimiento en el mercado mundial de la tecnología *RFID* en 5 años.

1.3. Funcionamiento del sistema RFID

La **Figura 1.9** muestra de manera más detallada los componentes de un sistema *RFID* y la forma de operación del sistema. Como se había mencionado anteriormente, el sistema consta de transpondedor y lector, no obstante, hay una etapa muy importante que se omitió previamente y es la comunicación entre ambos dispositivos. Para el acople RFID entre lector y transpondedor es necesario una antena en ambos extremos. Las antenas RFID varían su forma según la frecuencia de operación del sistema. La antena puede ser una simple bobina o puede ser una antena para microondas en aplicaciones más complejas. Asimismo, lo que se envía entre antena y antena es:

- Datos
- Señal de sincronización (Reloj)
- Energía.

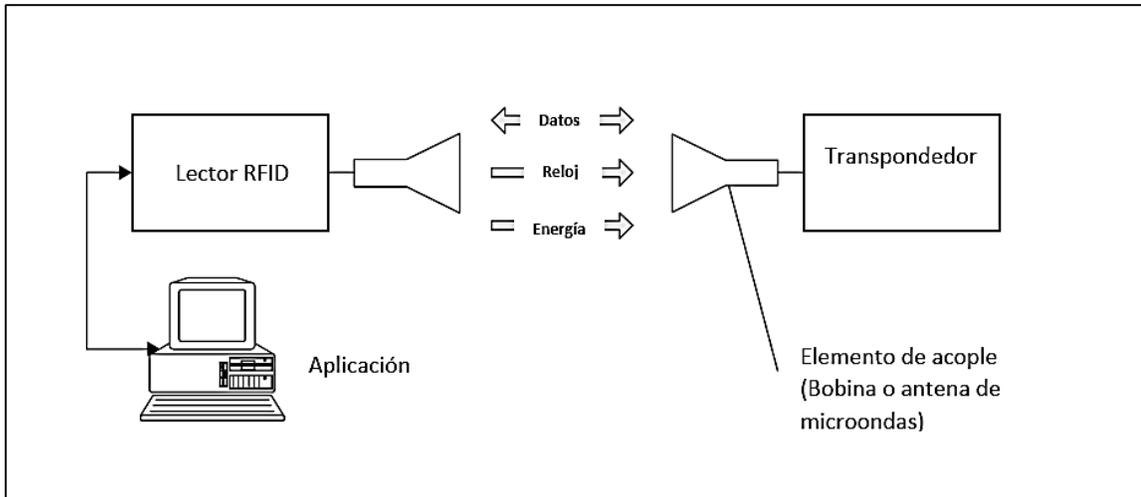


Figura 1.9 Diagrama operativo del sistema RFID.

Los datos son la información que la etiqueta contiene, y para enviar esos datos debe hacerse uso de una señal de reloj que permita decodificar esa información. La codificación de los datos y la señal de reloj dependerán mucho del tipo de modulación que se use en el sistema RFID, igualmente, el tipo de modulación RFID está asociada con el estándar² bajo el cual opera el sistema de radio identificación [5]. Por otra parte, en ciertos casos también debe transmitirse energía mediante inducción electromagnética de parte del lector hacia el transpondedor, en caso que este último sea pasivo. De esa manera, la etiqueta se energiza y con esa energía entregada resulta suficiente para que el transpondedor transmita la información que contiene en forma de señal modulada, luego el lector demodula y decodifica esa información para que sea enviada después a la aplicación, que como ya se explicó anteriormente, puede tratarse de un ordenador personal, teléfono etc. En las siguientes secciones explicaremos más detalladamente acerca de los transpondedores, lectores y su funcionamiento, también se discutirá acerca de las diferentes clasificaciones existentes para el sistema RFID.

1.3.1. Transpondedores (etiquetas, “tags”)

Como se mostró anteriormente, los transpondedores existen en diferentes tamaños, formas y capacidades (Ver **Figura 1.10**). Cuando se diseña una solución RFID, el diseñador antes de elegir el tipo de transpondedor RFID debe tomar en cuenta los requerimientos de la aplicación a diseñarse y el costo de esta. Esta sección está orientada a establecer diferencias técnicas entre los diferentes transpondedores RFID existentes. Si tuviéramos que categorizar los transpondedores, estos pueden clasificarse según su fuente de alimentación en los siguientes grupos:

- Transpondedores activos.
- Transpondedores semi-activos.
- Transpondedores pasivos.
- Transpondedores semi-pasivos.

² En el siguiente capítulo se detallará el estándar ISO 11784/85 que es de interés en el presente trabajo.

El presente trabajo se centra en los transpondedores pasivos, no obstante, describiremos información relacionada con cada tipo para comprender mejor el trabajo elaborado, luego se describirán con más detalle los transpondedores pasivos los cuales conforman nuestro interés principal.

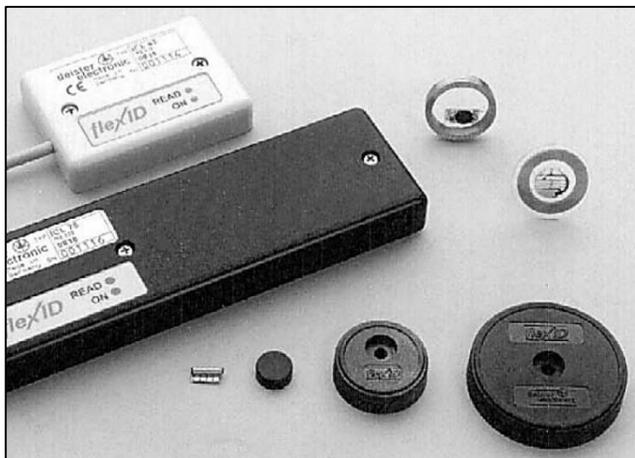


Figura 1.10 Otro grupo de transpondedores con diferentes formas. Cada uno adecuado a la aplicación a la que es destinado.

1.3.1.1. Transpondedores activos

La característica que define a un transpondedor activo es que este contiene su propia fuente de poder [5]. Usualmente esta es una batería como muestra la **Figura 1.11**. La fuente de poder integrada permite que este tipo de transpondedores sea muy flexible en cuanto a las funcionalidades que puede ofrecer. La batería le otorga un mayor rango de lectura y le permite comunicarse con el transceptor o lector a través de materiales los cuales serían impenetrables para otro tipo de transpondedores y transceptores. No obstante, las etiquetas activas no se hacen mucha publicidad hoy en día en comparación con las etiquetas pasivas, ya que la fuente de alimentación las obliga a ser más grandes y la vez más caras en con respecto a las pasivas [4].

Las etiquetas activas más básicas envían una señal regularmente con un horario programado. Esto es conocido como la “razón de faro”³ del transpondedor. Las etiquetas pueden ser configuradas para tener una *razón de faro* que vaya desde sub-segundos hasta varios minutos. La selección del tiempo de faro depende de la solución que se esté diseñando. La mayoría de los transpondedores activos tienen una razón de faro de 1 a 15 segundos. Cada señal de faro es codificada con el identificador único del transpondedor junto con cualquier otra información telemétrica que la etiqueta posea para exportar. La fuente de poder integrada también le permite a la etiqueta activa soportar diferentes funcionalidades periféricas como sensores de temperatura, humedad y presión, además de espacios de memoria para escritura. Cabe señalar, que el tamaño del transpondedor incrementa conforme se incrementa el número de periféricos externos. Las etiquetas activas que usan baterías como fuente de poder tienen un tiempo de vida limitado. El tiempo de vida de un transpondedor activo usualmente se mide en años de operación.

³ “Beacon rate” en inglés.

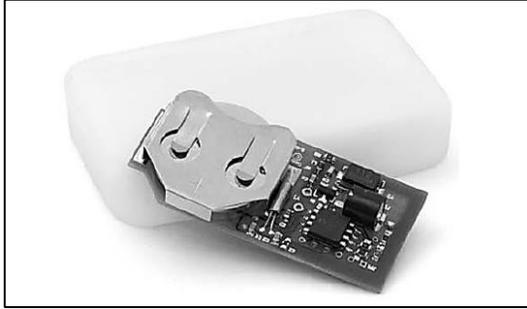
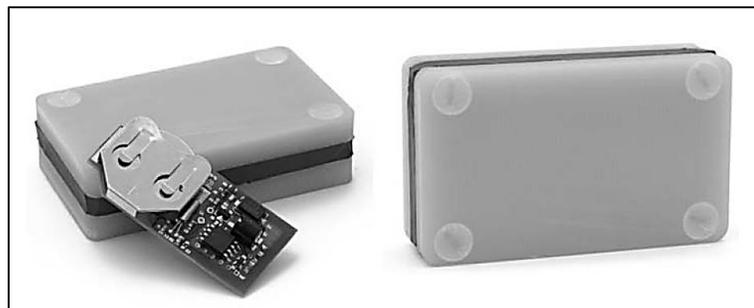


Figura 1.11 Transpondedor activo fabricado por *RFCode Corporation*. Se puede apreciar la batería de 3.3V que usa como fuente de poder y su caja para encapsularlo (atrás).

La mayoría de los transpondedores activos están diseñados para operar con una batería reemplazable. Igualmente, el tiempo de vida de la batería está determinado por: la razón de faro, la potencia de transmisión de la etiqueta, el consumo de los periféricos conectados y la vida útil de la batería en cuestión. Por ejemplo, si un transpondedor transmite con una razón de faro de 2 segundos, esta agotará su batería antes que un transpondedor con una razón de faro de 5 segundos, esto claro, asumiendo que ambas etiquetas consumen la misma potencia en cada ciclo de transmisión. Los fabricantes de este tipo de etiquetas activas incluyen la expectativa de vida del producto en sus hojas de datos. Además, los transpondedores que tengan un rango de lectura de 1 kilómetro agotarán más rápidamente sus baterías que las que tienen un rango de lectura de 100 metros.

Compañías que ya manufacturan puntos de acceso inalámbricos como *Cisco Systems Inc.* lideran el mercado de los transpondedores activos basados en **802.11**. Por ejemplo, la línea de productos *Aironet™* ofrece a los negocios la capacidad de integrar RFID dentro de sus redes inalámbricas, lo cual reduce la infraestructura y los costos de instalación. Algunas de las críticas contra los sistemas basados en *Aironet™ 802.11* son: su costo, el hecho que cada etiqueta requiera una dirección IP en el sistema, la baja resolución en la localización, el corto rango de lectura de las etiquetas y el corto tiempo de vida de las baterías [4]. Por ello, las etiquetas activas son la solución en casi cualquier aplicación donde el costo, el tamaño y tiempo de vida de la batería no son un problema. De esa manera, los transpondedores activos permiten arquitecturas más flexibles debido a la potencia para transmitir que poseen en comparación con las etiquetas pasivas. La potencia de transmisión resulta útil cuando se desea implementar un sistema RFID en un entorno áspero como en el sitio de alguna construcción o en una línea de ensamble con condiciones extremas de manufactura, sin embargo, los componentes delicados del transpondedor deben protegerse. La **Figura 1.12** muestra el mismo transpondedor de la **Figura 1.11** pero con un encapsulado diferente diseñado para condiciones extremas.

Figura 1.12 Encapsulado dedicado para ambientes hostiles.



Los transpondedores activos son comúnmente usados en los sistemas de localización en tiempo real **RTLS** [4]. **RTLS** permite a las organizaciones saber instantáneamente la localización de una etiqueta porque está siendo constantemente monitoreada por una red de antenas y lectores. Las etiquetas están asociadas con bienes como “laptops” u otros tipos de equipos médicos vitales o muy caros. En la mayoría de los sistemas **RTLS** los bienes etiquetados deben ser visibles para el sistema todo el tiempo. Si un bien desaparece, el sistema notificará al propietario que el bien ha desaparecido y se informará del último lugar donde el bien estuvo. Otra aplicación para los transpondedores activos es en el análisis de procesos, para esta aplicación los transpondedores son puestos en lugares claves del proceso productivo como en las personas, herramientas o productos. De esa manera, el sistema **RFID** se encarga de recolectar los datos de la ejecución del proceso y luego estos datos son analizados por los ingenieros industriales o los equipos de gestión de calidad para refinar los procesos en cuestión y mejorar la calidad del producto.

Las antenas en los transpondedores activos no hacen las mismas funciones que en los transpondedores pasivos. Esto debido a que en una aplicación pasiva la antena es utilizada para alimentar el transpondedor, no obstante, en los transpondedores activos, la antena solo tiene la responsabilidad de transmitir y recibir información. La antena más importante de un sistema **RFID** activo es la antena del lector, ya que esta es la que define el área de cobertura que tendrá el sistema **RFID**.

1.3.1.2. Transpondedores semi-activos

Los transpondedores semi-activos son una mezcla entre las etiquetas pasivas y las activas [4]. Estos transpondedores contienen una batería integrada como las etiquetas activas, pero esta batería no es usada a menos que la etiqueta sea interrogada por un lector. Un transpondedor semi-activo tiene un corto rango de lectura en comparación con una etiqueta activa, ya que como en el caso de las etiquetas puramente pasivas las señales deben de estar muy cerca de la antena para activar la batería. Una vez que la batería es activada, la etiqueta se comporta como un transpondedor activo y envía toda su información. Si este transpondedor tiene sensores integrados, entonces la batería alimentará los sensores igual a como lo hace un transpondedor puramente activo [4]. También, la batería le permite al transpondedor transmitir al mismo nivel de potencia que un transpondedor activo, lo cual mejora el rango de transmisión del dispositivo. Por otro lado, las etiquetas semi-pasivas gozan de un tiempo de vida más largo en comparación con las etiquetas puramente activas porque estas no transmiten a una razón de faro en intervalos constantes. Sin embargo, debe seguirse tomando en cuenta que están limitadas por el tiempo de vida de la batería integrada, aun cuando esta se agote más lento.

1.3.1.3. Transpondedores pasivos

Usualmente cuando alguien habla de etiquetas **RFID**, se refiere a transpondedores pasivos ya que estos son los más extendidos en el mercado. Los transpondedores **RFID** pasivos son los más baratos en comparación con el resto, por ello, son las etiquetas de elección para soluciones de gran volumen como en la cadena productiva donde millones de productos y otros objetos deben ser etiquetados [4]. Las etiquetas pasivas no contienen una fuente de poder integrada, esto equivale a una reducción significativa de

costos y tamaño en comparación con las etiquetas activas. Además, las etiquetas pasivas pueden comunicarse solo hasta varios centímetros de distancia, no obstante, pueden ser del grosor de una hoja de papel a diferencia de las etiquetas activas.

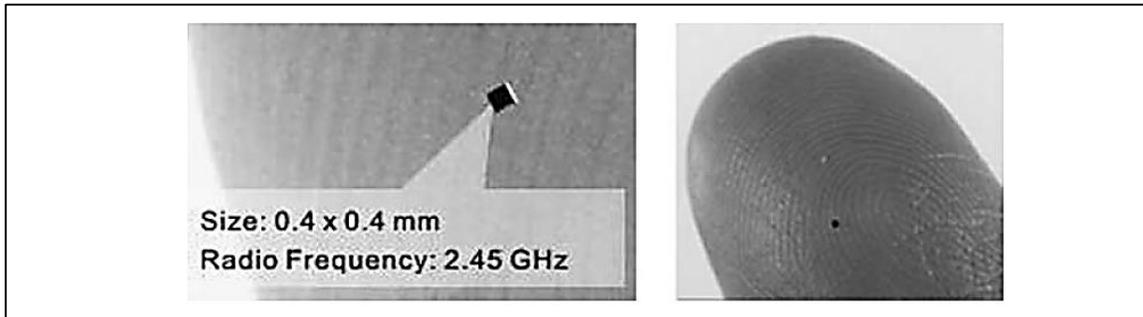


Figura 1.13 μ -Chip™ Hitachi™ midiéndolo con respecto a la punta de un dedo.

Los transpondedores pasivos, como se mencionó anteriormente, extraen la energía del campo electromagnético suplido por la antena de proximidad de un transceptor. La falta de una fuente de poder integrada en el sistema limita el rango de lectura ya que la energía entregada por el lector hacia la etiqueta decrece conforme la antena del transpondedor se aleja de este. La distancia de lectura del transpondedor es directamente proporcional a la cantidad de energía que la etiqueta puede absorber del campo electromagnético generado por la antena del lector. Además, la cantidad de energía que se puede absorber es directamente proporcional a la longitud la antena del transpondedor. Algunas etiquetas pasivas como el μ -Chip™ de Hitachi™, mostrado en la **Figura 1.13**, pueden ser más pequeños que un grano de arroz. Por ello, rango de lectura de este chip está limitado hasta 25cm por el tamaño máximo de la antena que soporta, e inclusive, el rango podría ser aún menor si algún objeto se interpusiera entre el lector y el transpondedor. La mayoría de los transpondedores están diseñados para ser eficientes en la recolección de energía, lo cual produce una antena que no es muy buena para transmitir, por ello los lectores RFID para etiquetas pasivas deben ser muy sensibles con el fin de detectar los pequeños cambios en el campo magnético alrededor de la antena creados por el transpondedor. Las etiquetas pasivas son encapsuladas en maneras diferentes. Las dos formas más comunes podríamos clasificarlas en desnudas⁴ y rotuladas⁵. La forma desnuda como se muestra en la **Figura 1.14 (arriba)** no tiene protección ni rotulo identificador, solo posee el sustrato donde descansa el chip identificador. Las etiquetas rotuladas son la combinación de un transpondedor desnudo y un rótulo adhesivo o cualquier otro encapsulado que protege al

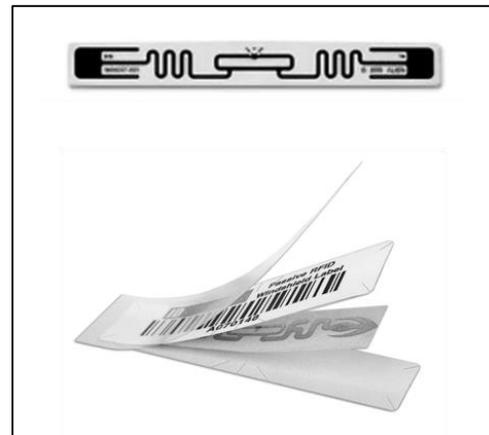


Figura 1.14 Etiqueta RFID “desnuda” (arriba) versus etiqueta “rotulada” y empacada (abajo).

⁴ En inglés se refiere a una etiqueta desnuda como “inlaid”.

⁵ En inglés una etiqueta rotulada es llamada “labeled”.

transpondedor o que brinda información relacionada con lo que contiene internamente. La misma **Figura 1.14 (abajo)**, muestra un transpondedor rotulado y las capas que lo componen.



Figura 1.15 Etiquetadora RFID.

Para poder rotular los transpondedores RFID desnudos se usan impresoras especiales que se encargan de crear el transpondedor rotulado. La impresora es cargada con rollos de transpondedores desnudos y rollos de papel “sticker” rotulador. La impresora tiene un lector integrado que interroga a cada transpondedor desnudo conforme va pasando en el rollo, luego, la información leída por la maquina es impresa en el papel del rollo de “stickers” junto con un código de barras que representa el número del transpondedor y luego la “sticker” rotuladora es adherida al transpondedor. Por último, la máquina impresora corta el transpondedor ya rotulado y

está listo para ser adjuntado al producto que se desea monitorear. Algunas compañías especializadas en este tipo de impresoras son: *Avery Dennison CorporationTM*, *IBM CorporationTM*, *Intermec CorporationTM*, *Sato CorporationTM* y *Zebra TechnologiesTM*. La **Figura 1.15** muestra una impresora de este tipo fabricada por *Zebra TechnologiesTM*.

1.3.1.3.1. Partes básicas de un transpondedor pasivo



Figura 1.16a Transpondedor en forma de arete para ganado.

Por otro lado, un transpondedor pasivo sin importar su formato, siempre está compuesto por un grupo de partes. A diferencia de lo que podría creerse, un transpondedor no está compuesto solo por el chip que contiene el número que lo caracteriza, sino que está conformado por otros componentes electrónicos y dependiendo de la complejidad que tenga, a veces estará conformado por subsistemas. Por ejemplo, la **Figura 1.16a** muestra un transpondedor en forma de arete para ganado y la **Figura 1.16b** muestran la sección interna de este transpondedor. Igualmente, la **Figura 1.17a** muestra un transpondedor subcutáneo en forma de cápsula de cristal y la **Figura 1.17b** muestra la sección

interna de este tipo de transpondedor. Como se aprecia, la composición de ambos transpondedores está muy lejos de ser solo el chip que contiene el código de identificación de cada uno. Si tuviéramos que definir las partes básicas que son indispensables para que un transpondedor pasivo opere, estas serían: *la antena*, *el circuito integrado RFID (chip RFID)*, y *el PCB o substrato*. A continuación en los próximos epígrafes se explicará acerca de estas tres partes básicas.

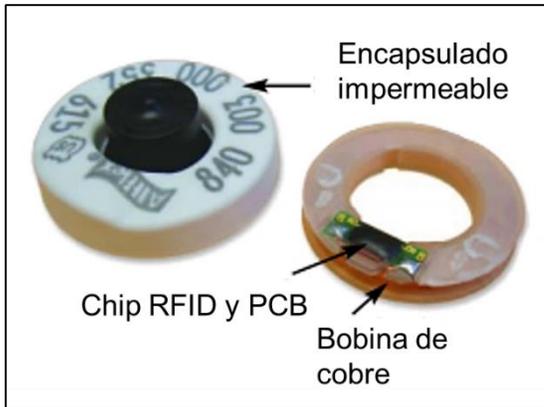


Figura 1.16b Sección interna de un tag arete como el que se muestra en **Figura 1.16a**.

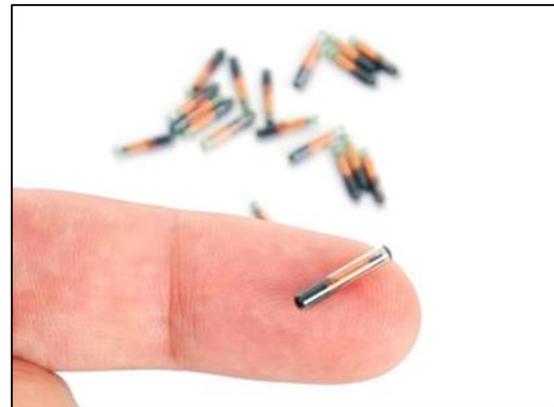


Figura 1.17a Transpondedor cápsula de cristal subcutánea de 32mm fabricado por *Texas Instruments*.

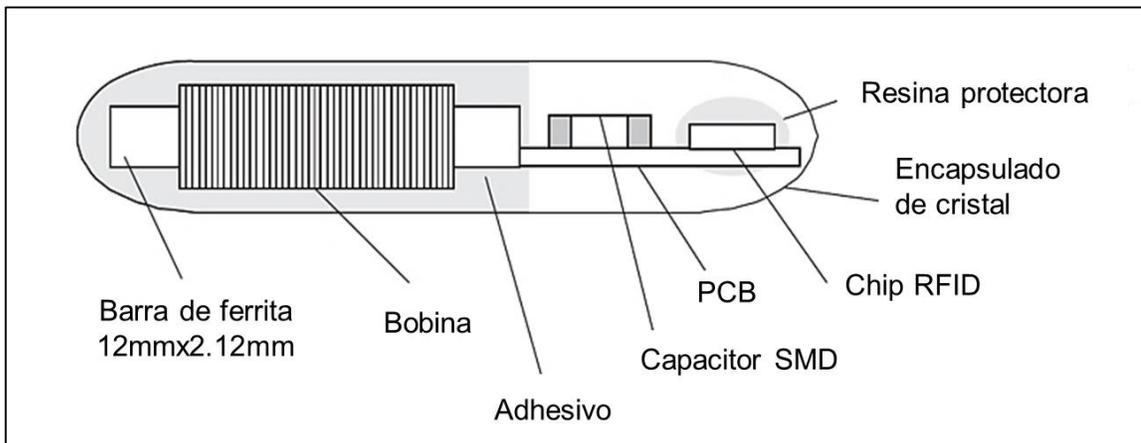


Figura 1.17b Sección interna un transpondedor cápsula como el de la **Figura 1.17a**.

1.3.1.3.1.1. Antenas para transpondedores pasivos

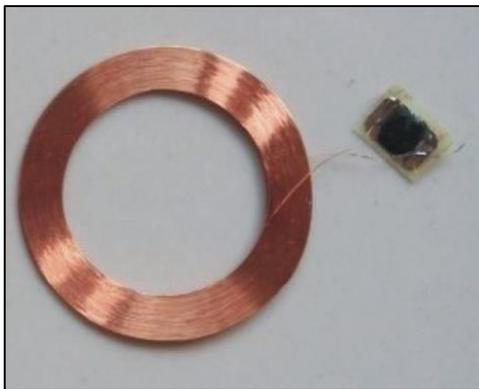


Figura 1.18 Antena para etiqueta RFID pasiva fabricada con alambre magnético.

En el caso de las aplicaciones RFID pasivas, la antena es la responsable del mecanismo de acople. El mecanismo de acople consiste en transferir energía del lector hacia el transpondedor para alimentarlo y que este pueda operar sin necesidad de una batería u otra fuente propia de alimentación. De igual manera, las antenas para los transpondedores RFID pasivos pueden ser de muchas formas y tamaños diferentes. Las formas más comunes de antena son en forma de bobina como se muestra en la **Figura 1.18** y **Figura 1.19**. Las bobinas pueden fabricarse con alambre magnético o pueden integrarse en la PCB donde descansa el chip

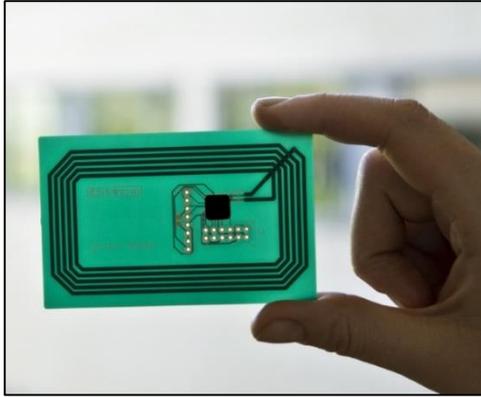


Figura 1.19 Antena para etiqueta RFID pasiva integrada en un PCB.

RFID. En el *Capítulo 4* se detallará la teoría de diseño para antenas bobinas con diferentes formas. Cabe señalar que, se omitirá el diseño de antenas integradas en la PCB como la de la **Figura 1.19** ya que no es adecuado usar una antena integrada en el lector del presente trabajo. Por otra parte, se especificará que características deben cumplir las antenas dedicadas para el transpondedor versus las antenas dedicadas para el lector.

1.3.1.3.1.2. Circuito integrado RFID

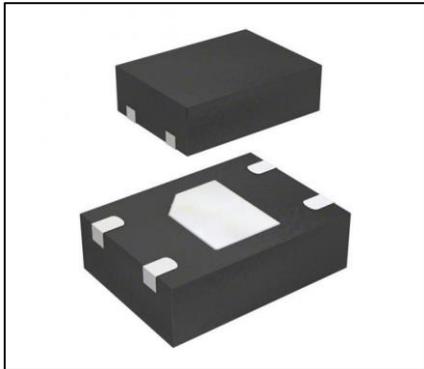


Figura 1.20a Encapsulado del chip **NTAG213F**

El chip RFID o circuito integrado RFID es una colección de componentes discretos que proveen de lógica y funciones al transpondedor. El chip en un transpondedor RFID es como un microprocesador encontrado en un celular o en una computadora, pero no es tan sofisticado ya que está orientado a cumplir solo ciertas funciones finitas. El propósito principal del chip es almacenar y transmitir el código identificador del transpondedor, pero si el transpondedor soporta periféricos entonces debe transmitir la información que estos le proveen. Para asegurarse que los transpondedores no hablen al mismo tiempo, los chips implementan ciertos protocolos de comunicación que evitan los problemas de colisión⁶. El chip de la **Figura 1.20a** muestra un transpondedor **NTAG213F** fabricado por *NXP Semiconductors™*. Este chip es del tipo pasivo y opera a 13.56MHz bajo el estándar *NFC*, asimismo, posee espacios extra para escritura y almacenamiento interno. La **Figura 1.20b** muestra su configuración de pines y la **Figura 1.20c** muestra el diagrama de conexión recomendado, como es de apreciarse, necesita que se le adjunte una bobina antena además de acondicionarlo en una PCB o sustrato como en la **Figura 1.16b**. El chip RFID usualmente es la parte más cara del transpondedor ya que es un semiconductor moderadamente avanzado.

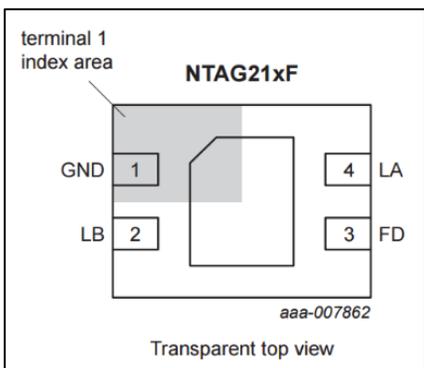


Figura 1.20b Salida de pines del chip **NTAG213F**

⁶ La “*Colisión RFID*” no es motivo de estudio en este trabajo monográfico, pero si es muy importante ya que es una de las principales debilidades de los sistemas RFID.

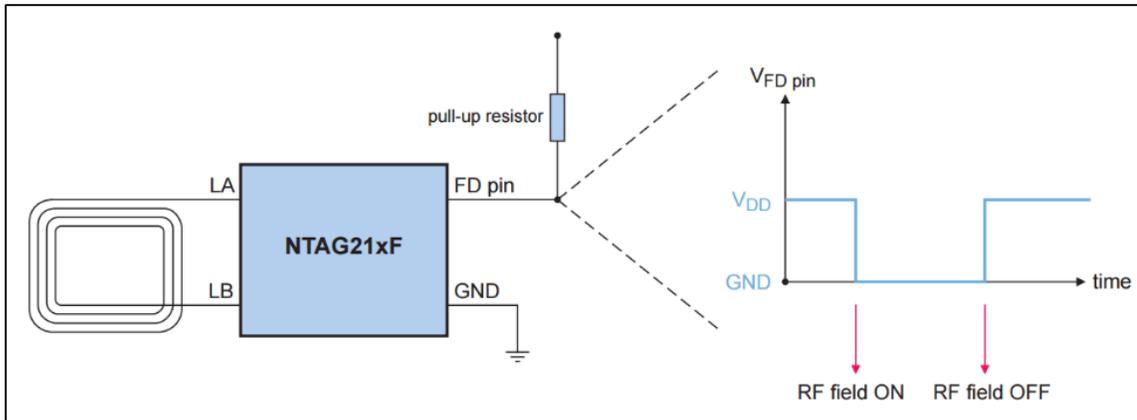


Figura 1.20c Conexión del chip *NTAG213F*

1.3.1.3.1.3. PCB o sustrato

El circuito impreso (PCB) es la parte que mantiene al transpondedor unido. El circuito impreso puede ser rígido o flexible y está compuesto de diferentes tipos de materiales dependiendo del tipo y propósito de la etiqueta. Por ejemplo los transpondedores que deben soportar condiciones extremas deben ser diseñados con tarjetas más rígidas que los que están destinados a ser usados en etiquetas de productos convencionales. Las PCBs utilizadas en el rastreo de documentos o tarjetas deben ser flexibles, pero a la vez lo suficientemente resistentes para proteger el chip y resto de componentes.

1.3.1.4. Transpondedores semi-pasivos

Podrá parecer que los transpondedores semi-pasivos son el mismo tipo que los transpondedores semi-activos, no obstante, tienen sus diferencias. Si recordamos, los transpondedores semi-activos usaban la batería para labores de transmisión, sin embargo, los transpondedores semi-pasivos nunca usan la batería para transmitir. Los transpondedores semi-pasivos responden a los lectores con la energía que extraen del campo electromagnético, y la batería sirve solo para alimentar las funcionalidades periféricas. También, se pueden alcanzar mayores rangos de lectura ya que la energía recolectada del lector es totalmente utilizada exclusivamente para transmitir y no para alimentar la operación interna del transpondedor.

1.3.2. Clasificación del sistema RFID por la frecuencia de operación

La tecnología RFID ha sido adaptada para operar en casi todo el espectro radioeléctrico utilizable hasta el día de hoy como muestran la **Figura 1.21** y la **Tabla 1.1**. No obstante, como es de saber, las ondas electromagnéticas tienen características distintivas que influyen en la manera en la que se propagan a través del vacío y los diferentes materiales. La longitud de onda λ es la distancia de cresta a cresta en la onda y la frecuencia de una onda está determinada por el número de crestas que suceden en un periodo dado de tiempo. Por ejemplo una onda con una frecuencia de 10kHz tendría 10,000 crestas de

onda sucediendo en un 1 segundo. La longitud de onda es calculada al dividir la velocidad de la luz⁷ con la frecuencia de la onda. Esto es:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

La frecuencia de operación puede ser clasificada en categorías estándares como se muestra en la **Tabla 1.1**. Las ondas de 1GHz hasta 300GHz son llamadas microondas. Asimismo, la mayoría de los transpondedores RFID operan en el rango de **LF** hasta **UHF**. Pero existen algunos sistemas RFID especiales que operan en el espectro de microondas. Cuando se diseña una aplicación RFID se debe tomar en cuenta el comportamiento de la frecuencia a usarse. La **Tabla 1.2** muestra los tipos de antena posibles en función de la frecuencia de operación y la **Tabla 1.3** resume los detalles de las frecuencias de operación de algunos transpondedores así como sus ventajas y desventajas, las cuales deben ser tomadas en cuenta para diseñar una solución RFID.

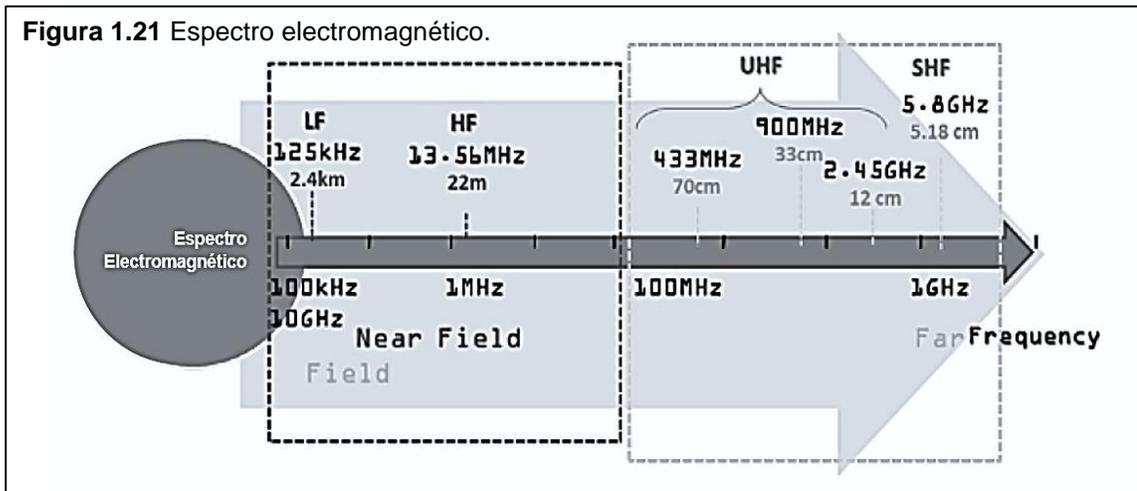


Tabla 1.1 Clasificación de las frecuencias. *LF* es el rango de interés para la ID animal.

Siglas	Designación	Frecuencia	Longitud de onda
<i>ELF</i>	Extremely low frequency	3Hz-29Hz	100,000km-10,000km
<i>SLF</i>	Super low frequency	30Hz-299Hz	10,000km-1000km
<i>ULF</i>	Ultra low frequency	300Hz-2999Hz	1000km-100km
<i>VLF</i>	Very low frequency	3kHz-29kHz	100km-10km
<i>LF</i>	Low frequency	30kHz-299kHz	10km-1km
<i>MF</i>	Medium frequency	300kHz-2999kHz	1km-100m
<i>HF</i>	High frequency	3MHz-29MHz	100m-10m
<i>VHF</i>	Very high frequency	30MHz-299MHz	10m-1m
<i>UHF</i>	Ultra high frequency	300MHz-2999MHz	1m-10cm
<i>SHF</i>	Super high frequency	3GHz-29GHz	10cm-1cm
<i>EHF</i>	Extremely high frequency	30GHz-299GHz	1cm-1mm

⁷ c=299,792,458 m/s

Tabla 1.2 Tipo de antena según la frecuencia.

Frecuencia	Campo	Tipo de transpondedor	Tipo de antena
LF	Cercano	Inductivo	Bobina
HF	Cercano	Inductivo	Bobina
UHF	Lejano	Radioactivo	Lineal

En la **Tabla 1.4** se clasifican las aplicaciones más comunes de la tecnología RFID según la frecuencia de operación del sistema. Cabe señalar que este grupo de aplicaciones ya están definidas es sus respectivas frecuencias para explotar al máximo las ventajas de la **Tabla 1.3**.

Tabla 1.3 Características de los diferentes sistemas RFID según la frecuencia de operación.

Banda	Espectro	Ventajas	Desventajas
LF	<135kHz	<ul style="list-style-type: none"> Rango típico para etiquetas LF pasivas <10cm, etiquetas activas hasta 5 metros. Capacidad de lectura sobre o cerca de superficies metálicas y húmedas. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo. Baja tasa de transferencia. Corto rango de lectura para los transpondedores pasivos.
HF	13.56MHz	<ul style="list-style-type: none"> Rango de hasta 0.5 metros para etiqueta pasivas de 4cmx4cm. Bajo costo. Mayor tasa de transferencia que LF. Se comporta mejor alrededor de líquidos que UHF. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor consumo de energía.
UHF	433MHz	<ul style="list-style-type: none"> Rango <100 metros con etiquetas activas. Velocidad moderada de transferencia. Opera bien alrededor de metales. 	<ul style="list-style-type: none"> Pobre penetración a través de líquidos y tejidos.
UHF	860MHz-960MHz	<ul style="list-style-type: none"> Rango <10 metros para etiquetas pasivas. Bajo costo. Altas tasas de transferencia. Efectivo alrededor de metales. Permite integrar la antena fácilmente. Permite lecturas simultáneas de más de 100 etiquetas. Se pueden implementar antenas dipolo pequeñas. 	<ul style="list-style-type: none"> Señales atenuadas por objetos. (ej. El efecto sombra donde una etiqueta opaca a otra.). Atenuación por agua. Sujetos a reflexiones.

Tabla 1.3 Características de los diferentes sistemas RFID según la frecuencia de operación (continuación...).

Banda	Espectro	Ventajas	Desventajas
MW	2.400GHz-2.4835GHz	<ul style="list-style-type: none"> Rango <20 metros para etiquetas activas. Muy altas tasas de transferencia. Efectivo alrededor de metales. 	<ul style="list-style-type: none"> Espectro compartido con aplicaciones de microondas. Más susceptibilidad al ruido.

Tabla 1.4 Distribución de las aplicaciones RFID según la frecuencia de operación.

Rango de frecuencia	Frecuencia de operación	Usos comunes
<i>LF</i>	<ul style="list-style-type: none"> 30kHz 	<ul style="list-style-type: none"> Control de acceso.
	<ul style="list-style-type: none"> 125kHz 	<ul style="list-style-type: none"> Control de acceso. Identificación de lotes.
	<ul style="list-style-type: none"> 134.2kHz (ISO 11784/ ISO 11785) 	<ul style="list-style-type: none"> Identificación animal.
	<ul style="list-style-type: none"> 300kHz 	<ul style="list-style-type: none"> Procesos químicos.
<i>HF</i>	<ul style="list-style-type: none"> 3MHz 	<ul style="list-style-type: none"> Distribución. Logística y manejo de almacén. Manufactura automotriz. Ventas al por menor. Hospitales. Chequeo de equipaje. Manejo de biblioteca. Rastreo de paquetes. Seguridad. Tarjetas inteligentes.
	<ul style="list-style-type: none"> 13.56MHz 	
	<ul style="list-style-type: none"> 30MHz 	
<i>UHF</i>	<ul style="list-style-type: none"> 300MHz 	<ul style="list-style-type: none"> Ventas al por menor. Peaje en autopistas. Logística en fábricas y en la cadena productiva.
	<ul style="list-style-type: none"> 433MHz 	
	<ul style="list-style-type: none"> 866MHz (Europa) 	
	<ul style="list-style-type: none"> 915MHz (USA) 	

Tabla 1.4 Distribución de las aplicaciones RFID según la frecuencia de operación (continuación...)

Rango de frecuencia	Frecuencia de operación	Usos comunes
<i>MW</i>	• 2.45GHz	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de largo alcance. • Rastreo de cosas. • Rastreo de carga.
	• 3.0GHz	

En caso de diseñarse una aplicación RFID diferente a las que aparecen en la **Tabla 1.4** se deben tomar en cuenta aspectos muy importantes que se desprenden de la **Tabla 1.3** como por ejemplo:

- Ancho de banda (razón de transmisión).
- Permeabilidad electromagnética.
- Distancia de lectura.
- Regulaciones del espectro radioeléctrico.

A continuación describiremos brevemente cada uno de estos parámetros para dar una idea de lo que se necesita tomar en cuenta para el diseño de una aplicación RFID.

1.3.2.1. Razón de transferencia (ancho de banda)

La cantidad de datos que pueden ser enviados usando ondas de radio incrementa así como incrementa la frecuencia de transmisión [5]. A frecuencias más altas, se recibirán más crestas de onda que a bajas frecuencias. Asimismo, si se codificara en cada longitud de onda piezas de datos entonces a más altas frecuencias se podrían leer más datos, claro, esto siempre y cuando el lector tenga la capacidad de atrapar esos datos de más alta frecuencia. Ejemplo de lo dicho anteriormente, es el transpondedor de la **Figura 1.20a** en comparación con el transpondedor de identificación animal de la **Figura 1.5**. El transpondedor *NFC* de la **Figura 1.20a** que opera a 13.56MHz tiene una tasa de transferencia de 106 kbit/s mientras que el de la **Figura 1.5** que opera a 134.2kHz no puede transmitir más de 9 kbit/s. En aplicaciones donde el objetivo a leer se moverá a gran velocidad es necesario utilizar sistemas RFID de alta frecuencia ya que así el lector puede atrapar los datos del transpondedor antes que este deje el rango de lectura. Ejemplos de aplicaciones que requieren altas frecuencias son: una banda transportadora de alta velocidad o un marcador de peaje en autopista. Hay que tener en cuenta que la razón de transferencia incrementa conforme incrementa el ancho de banda, no obstante dar más ancho de banda en una aplicación de baja frecuencia tiene sus inconvenientes por ello es preferible usar un transpondedor diseñado para un rango de frecuencia mayor. Cabe señalar, que un mayor ancho de banda permite comunicarse con varios transpondedores de manera simultánea, combatiendo de esa manera los problemas de colisión ya antes mencionados.

1.3.2.2. Permeabilidad electromagnética

Cuando se diseña una aplicación RFID, se debe mantener en mente los materiales que estarán cerca de los transpondedores, además de los materiales que estarán entre lector

y transpondedor. Cada material absorberá ciertas frecuencias debido a su densidad molecular y estructura atómica, lo cual resultará en atenuaciones o retardos en la propagación de las ondas.

Los transpondedores RFID que operan en frecuencias microondas no deberían ser ubicados en lugares cerca de líquidos. Por esta razón la industria farmacéutica ha decidido usar etiquetas HF, específicamente las *NFC* que operan a 13.56MHz en lugar de UHF. Esto se debe a que muchos productos farmacéuticos contienen suficientes líquidos como para atenuar las frecuencias de lectura y transmisión de los sistemas RFID a altas frecuencias.

1.3.2.3. Distancia de lectura

La cantidad de energía que puede ser absorbida de una onda electromagnética es directamente proporcional a su frecuencia, por ello, los transpondedores pasivos que operan a altas frecuencias tienen mayor rango de lectura que los transpondedores pasivos de baja frecuencia como los del **ISO 11784/85** que operan a 134.2kHz. Por ello la mayoría de los transpondedores pasivos operan en altas frecuencias. Aunque existen algunos casos como el del estándar RFID para animales el cual está definido en **LF** y por ende el diseñador debe ingeniárselas para desarrollar sistemas que extiendan el rango al máximo. Otros factores que inciden en el rango de lectura pueden ser:

- El diseño o tipo de antena que se use⁸.
- El esquema de modulación que se utiliza en el protocolo transceptor-transpondedor.
- El entorno de operación.
- La potencia máxima que pueden entregar el lector al transpondedor en caso que este último sea activo.

1.3.2.4. Regulaciones del espectro radioeléctrico

Como muestra la **Tabla 1.3** la identificación animal opera en **LF** y su máximo rango de lectura es de decenas de centímetros hasta un máximo de 1.5 metros para equipos especiales que tengan esa capacidad. El corto alcance de la tecnología RFID **LF** y la antena de carácter inductivo permiten que no se interfiera en otros dispositivos que operan con mayor potencia. La **Tabla 1.5** muestra la asignación de las frecuencias según *TELCOR* para el rango de 100kHz-150kHz que es el rango de operación de la identificación animal por radio frecuencia.

Tabla 1.5 Distribución del espectro radioeléctrico en Nicaragua de 90kHz-160kHz.

Banda	Nacional
90kHz-110kHz	Radionavegación
110kHz-130kHz	Fijo, móvil, marítimo, radionavegación marítima, radiolocalización. ⁹
130kHz-160kHz	Fijo, móvil, marítimo.

⁸ En el *Capítulo 4* se mostraran los parámetros de antena para el rango de lectura.

⁹ En las bandas 70-90kHz y 110-130kHz los sistemas de radionavegación por impulsos tienen categoría secundaria.

Con respecto a las demás bandas de frecuencias desde **HF** hasta **MW** mostradas en la **Tabla 1.3** tenemos que conforme incrementa la frecuencia de operación incrementa la capacidad para transmitir a datos. Asimismo, conforme los transpondedores se vuelven más sofisticados, especialmente los activos, estos tienden a incrementar su rango de transmisión. El problema con incrementar el rango de transmisión es que se puede interferir con otros protocolos de comunicación circundantes. Al revisar el espectro asignado por **TELCOR** en ningún momento se toman en cuenta las aplicaciones de radio identificación, esto debido a que la tecnología es poco explotada en el país.

1.3.3. Clasificación EPCglobal

EPCglobal es una empresa formada por **GS1** (anteriormente “*EAN International*”) y **GS1 US** (anteriormente “*Uniform Code Council Inc.*”). Esta organización fue formada para conseguir la adopción de un estándar internacional llamado “**Electronic Product Code**” (**EPC**). El objetivo de la tecnología **EPC** es crear un estándar RFID internacional el cual use el internet para compartir los datos mediante la red de **EPCglobal** [4].

EPCglobal ha definido seis categorías para dispositivos RFID que van desde 0 a 5. La **Tabla 1.6** muestra la clasificación EPC, la cual se basa en características como: fuente de poder, rango de lectura, capacidad de memoria, protocolo de comunicación y sistemas periféricos. En la clasificación de 0 a 3 corresponde a los transpondedores pasivos, 4 describe los transpondedores activos y 5 está reservado para los lectores y transpondedores activos que pueden interrogar a otros transpondedores. Esto significa que el lector a diseñarse en el presente trabajo corresponde a un dispositivo de categoría 5 en la clasificación **EPCglobal**.

Tabla 1.6 Clasificación *EPCglobal*TM

Clase	Fuente de poder	Rango	Memoria	Comunicación	Periféricos	Costo
0	No	<3m	1-96 bits	Backscatter/ Load modulation	No	Bajo
1	No	<3m	1-96 bits	Backscatter/ Load modulation	No	Bajo
2	No	<3m	1-96 bits	Backscatter/ Load modulation	Seguridad	Medio
3	Batería	<100m	<100 kbits	Backscatter/ Load modulation	Seguridad, sensores	Alto
4	Batería	<300m	<100 kbits	Transmisión activa	Seguridad, sensores	Alto
5	Batería/ Conexión AC/DC	Ilimitado	Ilimitado para escribir o leer	Transmisión activa	Seguridad, sensores y comunicación con otros transpondedores	Muy alto

1.3.4. Clasificación de los lectores RFID según su portabilidad

Un lector RFID puede ser clasificado de muchas maneras según sus parámetros técnicos. Por mencionar una clasificación tenemos la de “*dispositivo de categoría 5*” dada por *EPCglobal™* en la **Tabla 1.6**. Sin embargo, en el presente trabajo clasificaremos los lectores por su portabilidad. De esa manera, podemos catalogar los lectores según su movilidad en dos tipos:

- **Lector Estacionario**

Este tipo de lectores están ubicados en paredes, entradas o zonas adecuadas de lectura. La característica primordial de este tipo de lectores es que su fuente de alimentación es fija y permanente. Pero como su nombre lo dice son “*estacionarios*” y no pueden ser movidos de su lugar con facilidad. Sin embargo, una de sus ventajas es que pueden implementar antenas más grandes y circuitos más potentes para tener mejor rango de lectura ya que no tienen por qué preocuparse de los problemas de alimentación con baterías desechables o recargables. El lector de la **Figura 1.22** es un lector estacionario para control de acceso. En el *Capítulo 3* se mostrará que también existen lectores RFID *ISO 11784/85* que son estacionarios.

- **Lector Portátil**

Este tipo de lector puede ser llevado en toda ocasión. Su característica principal es que opera con baterías y tiene un tamaño adecuado para ser portable sin problema. No necesita de una fuente de alimentación fija y su forma se adapta a la aplicación a la que este destinado. Su desventaja es que las baterías se agotan y debe haber un balance entre potencia consumida por la antena y tiempo de vida de la batería. El lector a diseñarse en el presente trabajo monográfico es un “*Lector Portátil*”. La **Figura 1.23** muestra un lector portátil.



Figura 1.22
Lector estacionario para seguridad.



Figura 1.23
Lector portátil para identificación de productos.

1.3.5. Transceptor (lector, interrogador)

Una de las partes más importantes del sistema RFID es lector, ya que sin este no sería posible comunicarse con los transpondedores y por ende, estos no tendrían propósito alguno de existir. El lector es el manejador de los transpondedores y es la herramienta necesaria para conectarse con una interfaz virtual ya sea: una aplicación, base de datos

o software de análisis. La **Figura 1.24** muestra los bloques internos de un lector RFID para *LF/HF*.

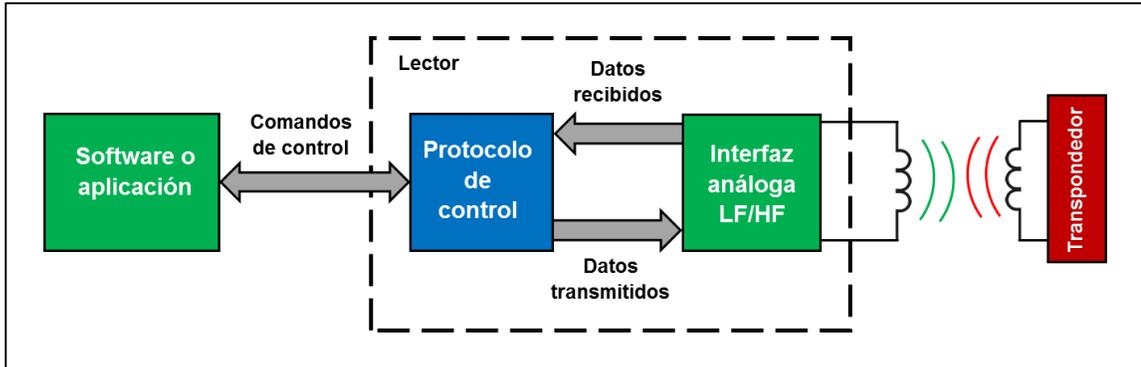


Figura 1.24 Bloques funcionales de un sistema lector RFID LF/HF.

La arquitectura de este lector es similar a la del lector a diseñarse en el presenta trabajo monográfico, no obstante, para otras aplicaciones de mayor frecuencia los bloques pueden variar, por lo cual, se recomienda revisar los bloques funcionales para otras frecuencias de operación. Además, como se ve en la **Figura 1.24** tenemos 2 partes básicas en el sistema:

- **Interfaz análoga LF/HF:** Este bloque es la interfaz de frecuencia del lector y realiza la función de controlador de antena [6], de tal forma que, se encarga de alimentar inalámbricamente los transpondedores con la energía de la señal portadora de frecuencia LF o HF, asimismo, este bloque debe sintonizar la frecuencia del lector a la frecuencia del transpondedor. Cabe señalar que, si la frecuencia del lector no está sintonizada a la frecuencia del transpondedor entonces la comunicación no tendrá éxito, ya que no ocurrirá el fenómeno de “**resonancia**” entre ambos dispositivos, por la cual la información no podrá transmitirse correctamente. La *Interfaz análoga LF/HF* también realiza las tareas de modulación y demodulación.
- **Protocolo de control:** Esta es la parte digital del lector, y se encarga de coordinar la comunicación entre lector-transpondedor y viceversa [5]. Asimismo, este bloque es el responsable de decodificar la información extraída en la demodulación. La interfaz de control también, se encarga de controlar los modos de operación del lector, como por ejemplo: modular, demodular, dormir, escribir etc. Usualmente la interfaz de control opera como esclavo de una aplicación externa, ya sea un procesador o un microcontrolador, quienes brindan instrucciones precisas de lo que el lector debe hacer. Comúnmente no es necesario hacer modificaciones en la interfaz de control de los lectores ya que estos pueden obtenerse como productos finales o como diseños modulares, pero en el presente trabajo si es necesario configurar la interfaz de control del lector con un microcontrolador para que esta realice las instrucciones necesarias según lo acordado en el *ISO 11784/85* que será expuesto en el siguiente capítulo.

Ahora bien, si descomponemos las dos partes principales de la **Figura 1.24** en bloques funcionales más simples, tendríamos lo que muestra la **Figura 1.25**. La única diferencia entre la **Figura 1.24** y la **Figura 1.25** es que la **Figura 1.25** incluye un bloque bidireccional para conectar periféricos al lector. Es importante mencionar que no todos los lectores RFID incluyen opción para periféricos, pero en ciertos casos, puede aparecer esta opción al ser necesario incluir mediciones de datos como: tiempo, temperatura, humedad, presión, presencia de los transpondedores etc.

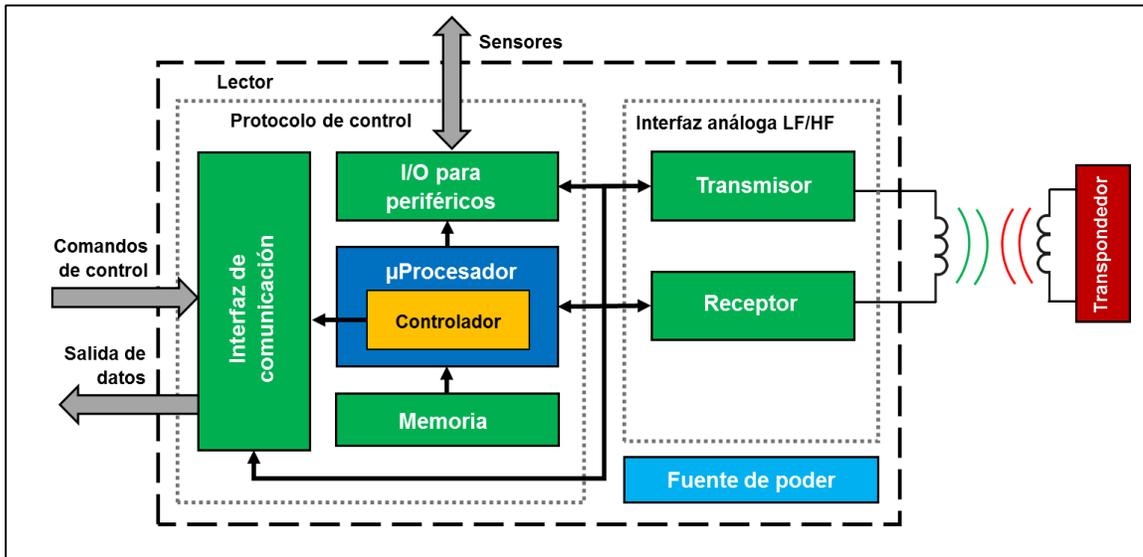


Figura 1.25 Bloques funcionales detallados de un sistema lector RFID LF/HF.

Para la **Figura 1.25** la interfaz analógica LF/HF contiene:

- **Transmisor:** Se encarga de enviar información modulada hacia el transpondedor.
- **Receptor:** Recibe, amplifica, demodula y envía las señales codificadas hacia el microcontrolador para ser procesadas.
- **Fuente de poder:** Esta deriva de una fuente de poder externa, y debe proporcionar la alimentación adecuada a todos los bloques funcionales.
- **Antena:** Esta tiene la función de enviar y tomar las señales que van a transmisor y receptor respectivamente. También tiene la función de alimentar al transpondedor de manera inalámbrica si este es pasivo o semi-pasivo

En el caso del protocolo de control, este está compuesto por:

- **Microprocesador:** Dentro del microprocesador esta implementado el protocolo de comunicación del lector. El microprocesador da las órdenes al receptor y transmisor, además se comunica con el bloque controlador y de memoria con los cuales realiza operaciones lógicas.

- **Controlador:** El controlador se encarga de recibir órdenes externas y convertirlas a lenguaje de máquina para que el microprocesador las interprete y las ejecute. Estas órdenes suelen venir de un microcontrolador externo o pueden ser botones o un teclado externo para ejecutar funciones del lector.
- **Interfaz de comunicación:** La interfaz de comunicación permite enviar o recibir información. La información enviada puede ser el código decodificado de un transpondedor o pueden ser datos relacionados con el estado del lector. Las salidas de datos de un lector hacia otro dispositivo externo se pueden realizar mediante: Bluetooth, Wi-Fi, RS232, USB o simplemente mediante un display. Asimismo, este bloque se encarga de recibir datos que luego irán al bloque controlador.
- **Memoria:** La memoria es responsable de almacenar la información extraída de los transpondedores para su posterior utilización. Los tipos de memorias usados pueden ser: *EEPROM*, *FRAM* o una *SD* externa.
- **Entrada y salida para sensores externos:** Se pueden usar muchos tipos de sensores externos o periféricos para un lector. Sin embargo, uno de los periféricos más atractivos es el “*detector de transpondedores*”. Cuando un lector está en presencia de un transpondedor, el bloque de comunicación intentará hablar con la etiqueta de la manera que sea, pero si el transpondedor no está en rango de lectura entonces solo se desperdiciará energía. El sistema detector de transpondedor permite comunicarse con el transpondedor solo cuando exista la posibilidad de una lectura exitosa, de lo contrario se aborta la operación con la finalidad de ahorrar energía.¹⁰

1.3.6. Comunicación transceptor-transpondedor

Este apartado está enfocado a describir los métodos utilizados en la comunicación de un lector RFID con un transpondedor. Para el caso de los transpondedores pasivos, los cuales son de nuestro interés, explicaremos el fenómeno de acople inductivo.

1.3.6.1. Acople inductivo

Para explicar el acople inductivo¹¹ es necesario definir la inducción electromagnética. *La inducción electromagnética es el fenómeno por medio del cual un cambio en el campo magnético de una fuente, como la de un transceptor, crea un nivel de voltaje en un circuito remoto, como un transpondedor.* Un circuito resonante paralelo o serie, es usado para sintonizar la frecuencia del lector a la del transpondedor o viceversa. Este circuito está compuesto por un capacitor y un inductor. El inductor realiza la función de antena, de esa manera, a cierta frecuencia la antena del transpondedor intercambia energía con la del lector. La frecuencia a la que se lleva a cabo la máxima transferencia de energía es llamada **frecuencia de resonancia**. La frecuencia de resonancia depende de varios parámetros como el tamaño de la bobina antena, número de vueltas, capacitancia de resonancia etc. La resonancia solo ocurre cuando la frecuencia de la señal transmitida

¹⁰ El **Anexo I** muestra un ejemplo del diseño interno de un lector NFC MFRC-522 fabricado por “Elektor”.

¹¹ El “**Acople inductivo**” es válido para las aplicaciones que RFID que usan una bobina como antena, la **Tabla 1.2** muestra el tipo de antena según la frecuencia de operación.

se vuelve similar a la frecuencia del circuito del transpondedor [5]. Esto explicaría porque no todos los lectores pueden comunicarse con todos los transpondedores. Asimismo, una vez alcanzada la máxima transferencia de energía, el transpondedor convierte esa energía electromagnética a eléctrica con ayuda de un rectificador integrado y la utiliza para generar una respuesta que el lector luego podrá interpretar. Cabe señalar, que la transferencia de energía de manera inductiva es el mismo método usado por los transformadores, por lo tanto, podemos decir que un sistema RFID inductivo es como un transformador acoplado con un núcleo de aire.

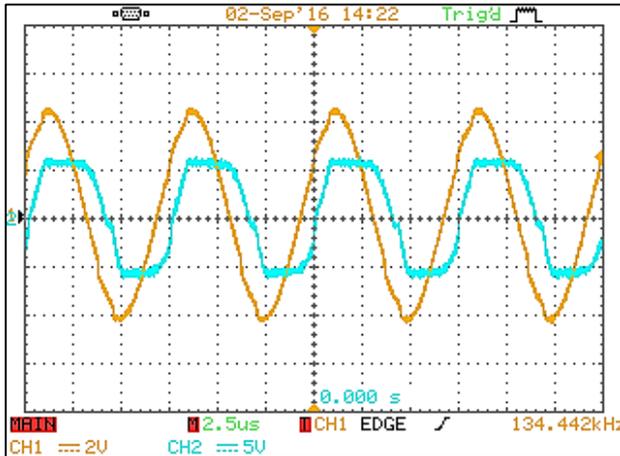


Figura 1.26a Contacto directo (*Celeste*= señal en la antena del transceptor; *Amarillo*= señal en la bobina del transpondedor).

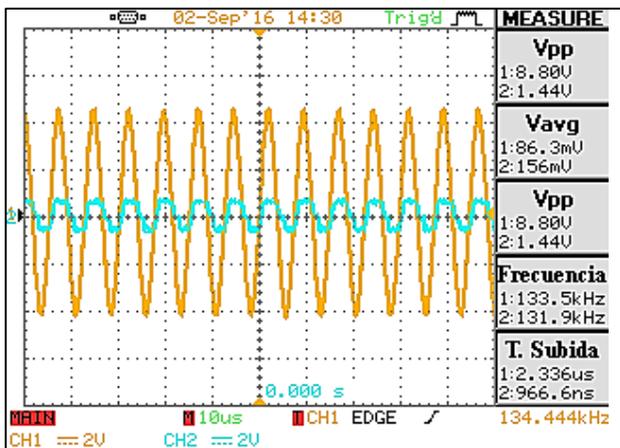


Figura 1.26b 5cm de diferencia (*Amarillo*= señal en la antena del transceptor; *Celeste*= señal en la bobina del transpondedor).

La **Tabla 1.2** muestra el tipo de comunicación según el tipo de antena y frecuencia de operación del sistema RFID, y como se aprecia la banda *LF* opera en el campo cercano. Esto significa que el rango de lectura para un transceptor LF será corto. Y la transferencia de energía se dará a la proximidad de lector-transpondedor. Esto se puede comprobar en la **Tabla 1.3** donde se muestra el rango de lectura para LF. La **Figura 1.26a** muestra la transferencia de energía para el primer prototipo de identificador animal el cual debería operar a *134.2kHz*, la frecuencia registrada en el osciloscopio es de *134.44kHz* y la señal amarilla es muy próxima a la señal celeste en magnitud, esto es debido a que el sistema transceptor-transpondedor se encuentra en la frecuencia de resonancia y la distancia de lectura está dentro del campo cercano.

Por otro lado la **Figura 1.26b** muestra las mismas condiciones anteriores, salvo por la distancia de comunicación entre transceptor-transpondedor, la cual es de aproximadamente 5cm. Aquí se puede observar como la energía recibida en el transpondedor empieza a desvanecerse por la

distancia ya que el sistema LF no está capacitado para operaciones en el campo lejano. A continuación, la **Figura 1.27** compara la comunicación de lector-transpondedor en un sistema RFID inductivo que opera en el campo cercano y un sistema RFID de microondas que opera en el campo lejano.

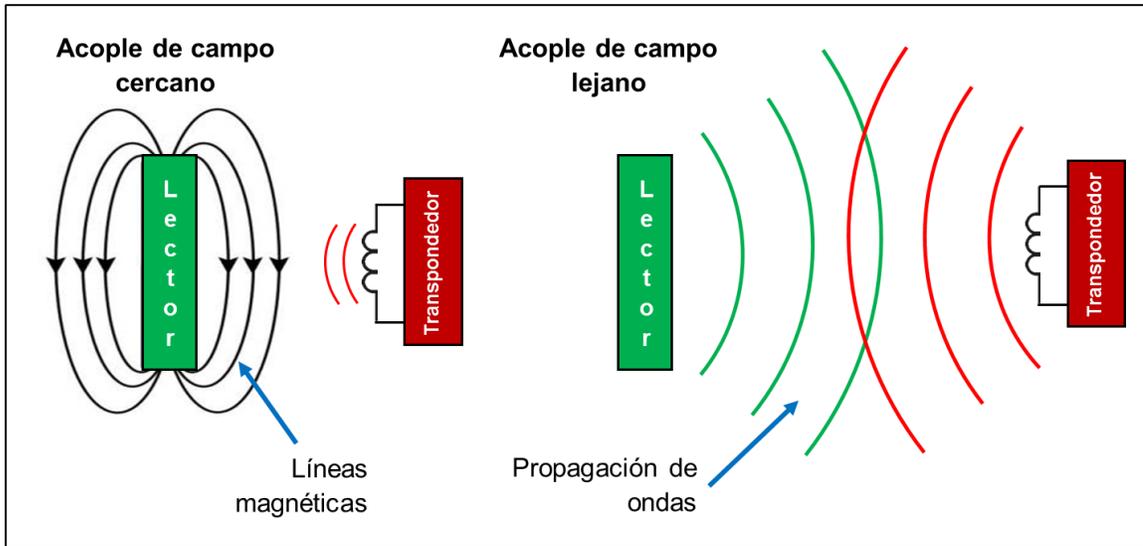


Figura 1.27 Campo cercano vs campo lejano.

1.3.6.2. Bloques de comunicación de un sistema RFID pasivo

Los bloques de la **Figura 1.28** describen el sistema de comunicación digital entre lector-etiqueta. Este conjunto de bloques desde la entrada de la señal $m(t)$ consiste en:

- **Procesamiento de señales del transmisor:** Esta es la codificación digital de la señal banda-base o mensaje $m(t)$.
- **Modulador:** La señal banda-base se convierte en una señal pasa-banda con la frecuencia de la portadora. La salida de este bloque la llamamos $s(t)$.
- **Canal:** La señal modulada $s(t)$ se mezcla con el ruido $n(t)$ del canal de transmisión. La salida de este bloque la llamamos $r(t)$.
- **Demodulador:** Este bloque corresponde al receptor, en esta etapa el demodulador arranca la señal pasa-banda y extrae la señal codificada digitalmente.
- **Procesamiento de señales del receptor:** En este bloque se filtra la señal que esta codificada digitalmente y es procesada para convertirla de nuevo a $m(t)$.

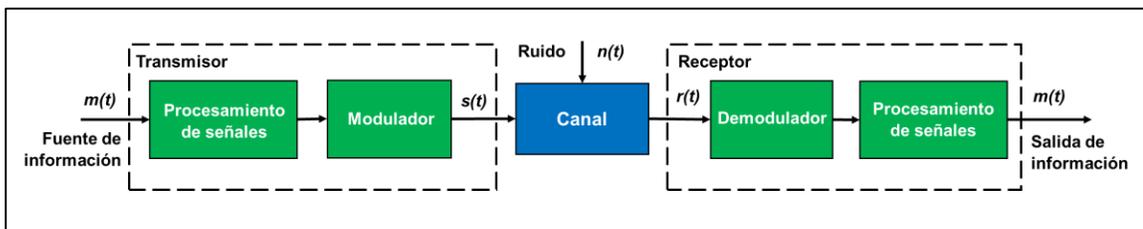


Figura 1.28 Bloques de comunicación entre transpondedor-transceptor y viceversa.

La operación de los bloques en la **Figura 1.28** es invertible entre transceptor-transpondedor, esto debido a que el transceptor a veces realiza funciones de escritura sobre el transpondedor y por ello este último debe funcionar como receptor.

1.3.6.2.1. Codificación en banda base

Los ceros y unos que portan la información en la comunicación entre *lector-etiqueta* pueden ser representados por varios métodos de codificación [6]. La codificación corresponde al sub-bloque de *procesamiento de señales* en el bloque de transmisión de la **Figura 1.28**. La codificación en un sistema RFID puede ser cualquiera de los métodos mostrados en la **Figura 1.29**. A continuación explicaremos brevemente cada método:

- **NRZ (“No return to zero”)**: Un “1” binario es representado por una señal en alto y un “0” binario es representado por una señal en bajo. El código “No return to zero” se usa casi exclusivamente para las modulaciones *FSK* y *PSK*.
- **Manchester (Bi-fase)**: Un “1” binario es representado por una etapa de transición negativa¹² en la mitad del periodo del bit y un “0” binario es representado por una etapa de transición positiva en la mitad del periodo del bit. Es por esta razón que la codificación *Manchester* es también llamada codificación de fase dividida¹³. Este tipo de modulación es comunmente utilizada en el protocolo de comunicacion desde el “tag” o transpondedor hacia el lector.

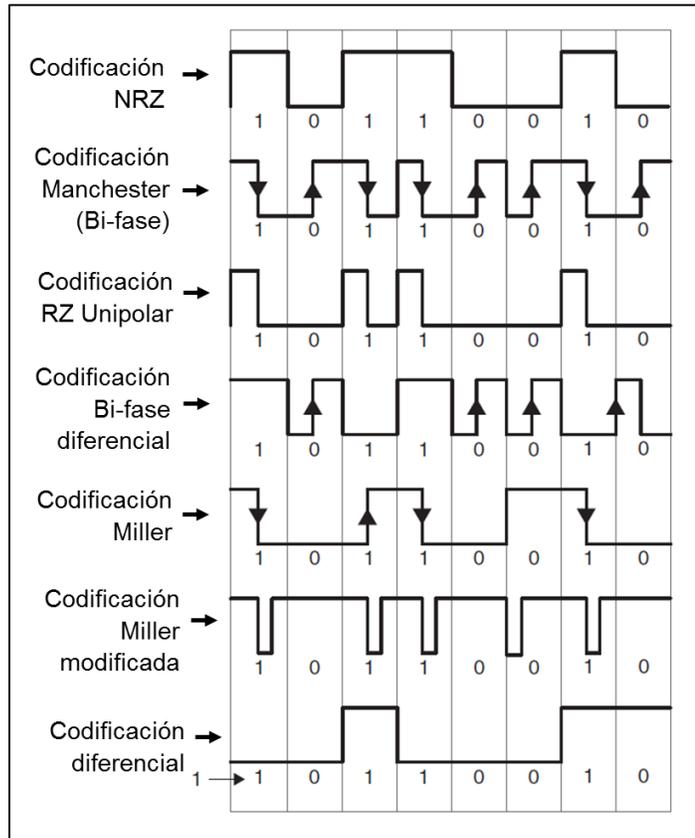


Figura 1.29 Métodos de codificación digital.

- **RZ Unipolar (Return to zero unipolar)**: Un “1” binario es representado por una señal en alto durante la primera mitad del periodo del bit, un “0” binario es representado por una señal en bajo que dura el periodo entero del bit.
- **Bi-fase diferencial (DBP)**: Un “0” binario es representado por una transición de cualquier tipo en medio del periodo de un bit y un “1” binario es representado por una ausencia de transición en medio del periodo del bit. Además, el nivel es invertido al inicio de cada periodo de bit para que este pueda ser reconstruido más fácilmente en el receptor si es necesario.

¹² **Transición negativa**= flanco de bajada; **Transición positiva**= flanco de subida

¹³ “*Split-phase coding*”

- **Miller:** Un “1” binario es representado por una transición de cualquier tipo en la mitad del periodo del bit y un “0” binario es representado por la continuidad del nivel del “1” sobre el próximo periodo de bit. Una secuencia de ceros crea una transición al inicio del periodo de un bit, de tal manera, que el pulso pueda ser más fácilmente reconstruido en el receptor.
- **Miller modificado:** Esta es una variante del código *Miller*, cada transición es reemplazada por un pulso negativo. El Miller modificado es adecuado para ser usado en sistemas RFID acoplados inductivamente para la transferencia de datos del lector hacia el transpondedor. Debido a la corta duración de los pulsos ($t_{\text{pulse}} \ll T_{\text{bit}}$) es posible asegurar una fuente de poder continua para el transpondedor sin interrumpir el campo magnético RF durante la transmisión de datos.
- **Diferencial:** Cada “1” binario a ser transmitido causa un cambio en el nivel de señal, donde el nivel de señal permanece sin cambios para un “0” binario. El código diferencial puede ser generado de manera muy simple a partir de una señal *NRZ* al usar una compuerta *XOR* y un flip-flop tipo D.
- **Pulso-pausa:** En la codificación pulso-pausa (*PPC*¹⁴) un “1” binario es representado por una pausa de duración de valor t antes del siguiente pulso; un “0” binario es representado por una pausa de duración $2t$ antes del siguiente pulso, tal como se muestra en la **Figura 1.30**. Este método de codificación también es popular entre los sistemas RFID acoplados inductivamente para transmitir desde el lector hacia el transpondedor.

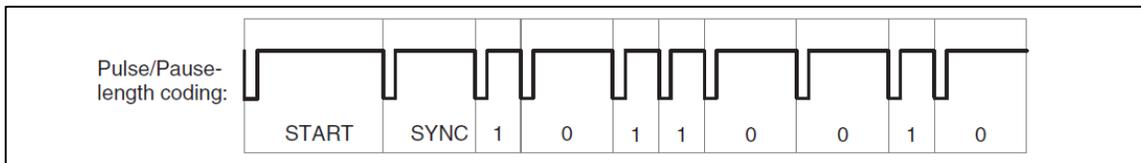


Figura 1.30 Codificación digital Pulso-pausa.

Cuando se selecciona un método de codificación se deben de tomar en cuenta ciertas consideraciones. Algunos de los aspectos más importantes son:

- El espectro de la señal luego de la modulación.
- La susceptibilidad que pueda tener el sistema a los errores.
- Que el método de codificación no interrumpa la fuente de alimentación de los transpondedores pasivos, recordemos que los transpondedores pasivos derivan su alimentación de la portadora RF y si esta se ve afectada por la codificación entonces se perjudicará la comunicación.

En el caso de la identificación animal, para a minimizar los costos de diseño se seleccionó el circuito integrado **EM4095** para que realizará la función de estación base. La información que este chip envía esta codificada en **Manchester**.

¹⁴ “Pulse-pause coding”

1.3.6.2.2. Técnicas de modulación

Como es de saberse, el rango de frecuencia para las señales mensaje es en banda base, lo cual no es adecuado para la transmisión de información en un canal de comunicación. Para lograr que las señales se propaguen satisfactoriamente desde el transmisor hacia el receptor, se deben usar las señales de mensaje para modular una onda sinusoidal de alta frecuencia, la cual es llamada portadora [4]. De esa manera, el rango de la señal que se enviará es desplazado a una banda adecuada para transmitir. Este proceso es llamado modulación. Considerando la escasez del espectro de radio de hoy en día, el objetivo de un método de modulación es transportar la señal mensaje a través de un canal de radio en la mejor calidad posible mientras se utiliza la menor cantidad del espectro posible. Asimismo, ya que una señal $A\cos(2\pi ft + \varphi)$ posee tres variables: amplitud A , frecuencia f y fase φ , una señal mensaje $m(t)$ puede ser embebida dentro de cualquiera de estas tres variables, lo que da como resultado los tres tipos básicos de modulación mostrados a continuación:

- **Modulación por amplitud (AM);** donde la señal modulada puede ser generalmente representada como:

$$S_{AM} = A m(t) \cos(2\pi f_c t + \varphi_0) \quad (1.2)$$

Dónde: f_c y φ_0 son constantes.

- **Modulación por frecuencia (FM);** donde la señal modulada puede ser generalmente representada como:

$$S_{FM} = A_0 \cos(2\pi f(f_c, m(t))t + \varphi_0) \quad (1.3)$$

Dónde: A_0 y φ_0 son constantes.

- **Modulación por fase (PM);** la señal modulada puede ser generalmente representada como:

$$S_{PM} = A_0 \cos(2\pi f_c t + \varphi_0(m(t))) \quad (1.4)$$

Dónde: A_0 y f_0 son constantes.

Para la modulación de señales analógicas, la modulación en fase y frecuencia son matemáticamente equivalentes una con la otra bajo la ligera condición que la función $\varphi(m(t))$ es diferenciable con respecto al tiempo. Por ello, ambas modulaciones son llamadas “modulación angular” [7]. Sin embargo, para la modulación de señales digitales, la modulación en frecuencia y modulación de fase son diferentes debido a que $\varphi(m(t))$ es discontinua con respecto al tiempo. Por otro lado, la modulación en frecuencia tiene mejor inmunidad al ruido que la modulación por amplitud ya que la información esta oculta en la frecuencia de la señal modulada y la atenuación del canal inalámbrico sobre la amplitud de la señal tiene poco efecto sobre el desempeño del sistema FM. Debido a esta ventaja, las señales FM son las más populares en los sistemas inalámbricos de radio. Sin embargo, las señales FM ocupan más ancho del espectro que las señales AM. En cuanto al sistema RFID, este utiliza técnicas completamente digitales de modulación. La modulación digital ofrece muchas ventajas sobre la modulación analógica, por ejemplo: más inmunidad al ruido, robustez contra los impedimentos del canal y más flexibilidad para tolerar acondicionamiento complejo de las señales como técnicas de procesamiento, codificación y encriptación. Asimismo, se han desarrollado nuevas técnicas adaptivas de

modulación digital con la finalidad de mejorar el desempeño de los enlaces de comunicación, no obstante, los transpondedores pueden usar solamente esquemas básicos de modulación digital debido a que los chips RFID son bastante simples. Debido a que los cambios de amplitud, fase o frecuencia, con respecto al mensaje, son discontinuos en la modulación digital, entonces nos referimos a estas técnicas como **ASK**¹⁵ (modulación por desplazamiento de amplitud), **FSK**¹⁶ (modulación por desplazamiento de frecuencia) o **PSK**¹⁷ (modulación por desplazamiento de fase). A continuación, se tratarán estos tipos de modulación en los siguientes apartados.

1.3.6.2.2.1. ASK

La modulación AM digital también se conoce como **PAM**¹⁸ (modulación por amplitud de pulso), asimismo, la modulación PAM de señales pasa banda también es llamada ASK [8]. En un sistema digital PAM las formas de las señales pueden ser representadas como:

$$S_m(t) = A_m p(t), \quad 1 \leq m \leq M \quad (1.5)$$

Donde $p(t)$ es un pulso de duración T y $\{A_m, 1 \leq m \leq M\}$ denota el conjunto de M posibles amplitudes correspondientes a $M=2^k$ posibles bloques de símbolos k -bit. Usualmente, las amplitudes de las señales A_m toman valores discretos:

$$A_m = 2m - 1 - M, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (1.6)$$

Por ejemplo, las amplitudes $\pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots, \pm (M-1)$. La forma de onda $p(t)$ es una señal de pulso de valor real cuya forma influencia el espectro de la señal transmitida. La energía en la señal $S_m(t)$ está dada por:

$$\begin{aligned} E_m &= \int_{-\infty}^{+\infty} A_m^2 p^2(t) dt \\ &= A_m^2 E_p \end{aligned} \quad (1.7)$$

Donde E_p es la energía en $p(t)$, de esto tenemos:

$$E_{avg} = \frac{E_p}{M} \sum_{m=1}^M A_m^2 \quad (1.8)$$

$$E_{avg} = \frac{2E_p}{M} (1^2 + 3^2 + 5^2 + \dots + (M-1)^2) \quad (1.9)$$

¹⁵ **ASK**= "Amplitude Shift Keying".

¹⁶ **FSK**= "Frequency Shift Keying".

¹⁷ **PSK**= "Phase Shift Keying".

¹⁸ **PAM**= "Pulse Amplitude Modulation".

$$E_{avg} = \frac{2E_p}{M} \frac{M(M^2 - 1)}{6} \quad (1.10)$$

$$E_{avg} = \frac{(M^2 - 1)E_p}{3}$$

Ademas:

$$E_{bavg} = \frac{(M^2 - 1)E_p}{3 \log_2 M} \quad (1.11)$$

Lo que se describe arriba es la señal banda base PAM donde no hay una modulación con portadora presente. En muchos casos, como es el caso del RFID, las señales PAM son señales pasa banda moduladas con una portadora que poseen equivalentes de frecuencia de la forma $A_m g(t)$, donde A_m y $g(t)$ son reales. En este caso:

$$\begin{aligned} S_m(t) &= \text{Re} [S_{mi}(t)e^{j2\pi f_c t}] \\ S_m(t) &= \text{Re} [A_m g(t)e^{j2\pi f_c t}] = A_m g(t) \cos(2\pi f_c t) \end{aligned} \quad (1.12)$$

Donde f_c es la frecuencia de la portadora. Comparando las ecuaciones anteriores, se nota que si en la forma genérica de una señalización PAM se sustituye:

$$p(t) = g(t) \cos(2\pi f_c t) \quad (1.13)$$

Entonces se obtiene la señal PAM pasa banda. Usando las ecuaciones de energía para la señal PAM pasa banda tendríamos:

$$E_m = \frac{A_m^2}{2} E_g \quad (1.14)$$

De esa manera se concluye que:

$$E_{avg} = \frac{(M^2 - 1)E_g}{6} \quad (1.15)$$

$$E_{bavg} = \frac{(M^2 - 1)E_g}{6 \log_2 M} \quad (1.16)$$

Claramente, las señales PAM son unidimensionales ($N=1$) ya que todas son múltiplos de las mismas señales básicas. Los diagramas de espacio correspondientes a las señales $M=2$, $M=4$ y $M=8$ se muestran en la **Figura 1.31**. En el caso del sistema RFID, lo más común es encontrar modulación digital ASK con $M=2$.

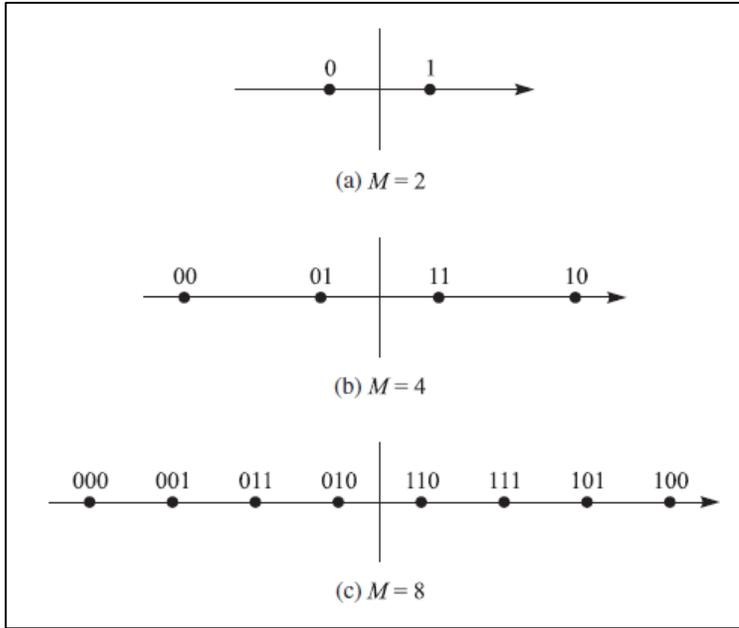


Figura 1.31 Diagrama de constelación para ASK.

El gráfico en la **Figura 1.31** es llamado código Gray (“*Gray coding*”) y es muy importante en la demodulación de la señal porque la mayoría de los errores causados por el ruido involucran la selección errónea de una amplitud adyacente a la amplitud de la señal transmitida. En cuyo caso, solo un bit de error ocurre en la secuencia k-bit. Por otro lado, denotamos como la distancia euclidiana entre un par de puntos de señal como:

$$\begin{aligned}
 d_{mn} &= \sqrt{\|S_m - S_n\|^2} & (1.17) \\
 &= |A_m - A_n| \sqrt{E_p} \\
 &= |A_m - A_n| \sqrt{\frac{E_g}{2}}
 \end{aligned}$$

Donde la última relación corresponde a una señal PAM pasa banda. Para los puntos adyacentes de la señal $|A_m - A_n| = 2$, y por ello la mínima distancia de la constelación está dada por:

$$d_{min} = 2\sqrt{E_p} = \sqrt{2E_g} \quad (1.18)$$

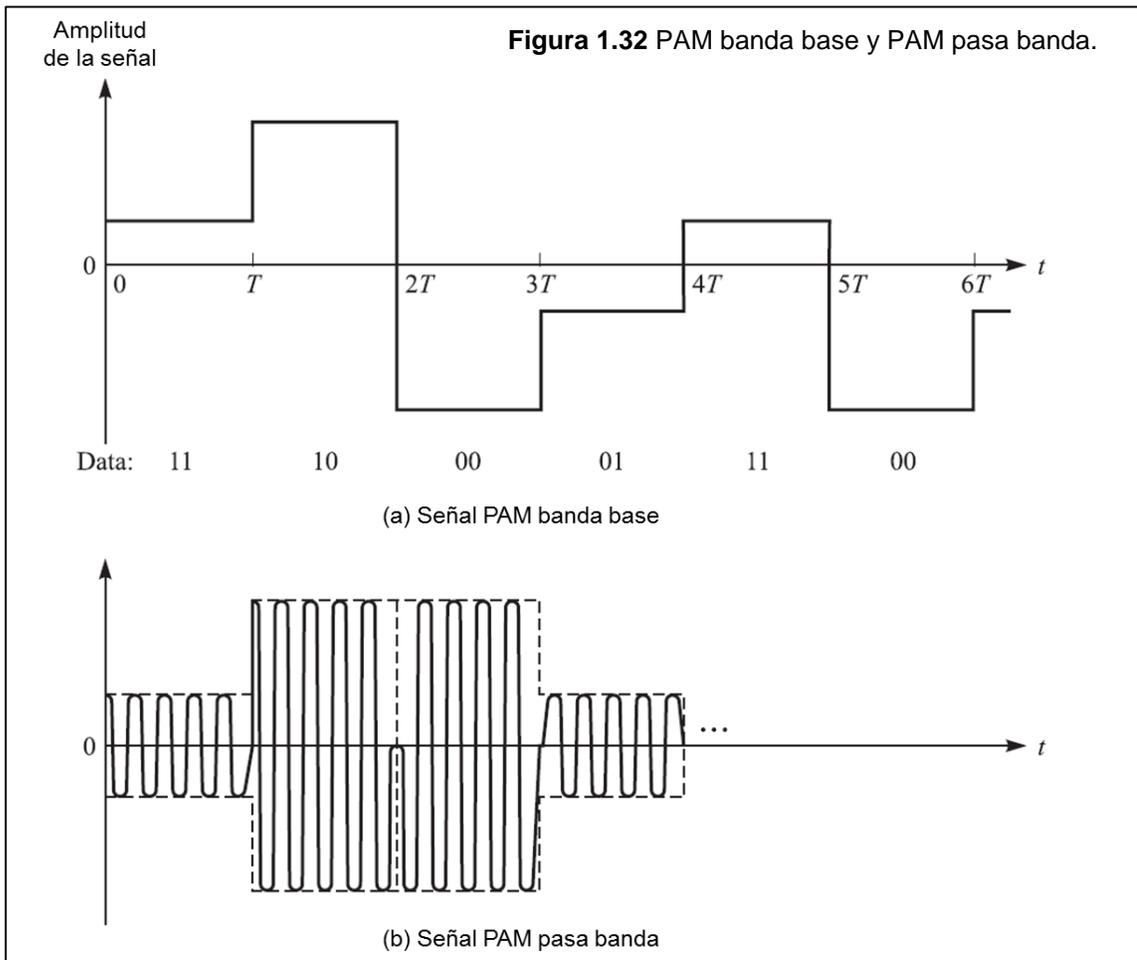
Es posible expresar la mínima distancia de un sistema PAM M-ary en términos de E_{bavg} mediante la expresión:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{12 \log_2 M}{M^2 - 1} E_{bavg}} \quad (1.19)$$

Cabe señalar que, las señales PAM **DSB**¹⁹ requieren el doble del ancho de banda con respecto a la señal mensaje en banda base [8]. Alternativamente las señales PAM **SSB**²⁰ no requieren el doble del ancho de banda y puede utilizarse el mismo ancho de banda que la señal mensaje. La representación de SSB es como sigue:

$$S_m(t) = \text{Re} [A_m(g(t) \pm j\hat{g}(t))e^{j2\pi f_c t}] , m = 1, 2, \dots, M \quad (1.20)$$

Donde $\hat{g}(t)$ es la transformada de Hilbert de $g(t)$, por ello, el ancho de banda de una señal SSB es la mitad de una señal DSB. En la **Figura 1.32 (a)** se muestra una señal PAM de 4 niveles de amplitud. La versión modulada con portadora se muestra en la **Figura 1.32 (b)**. En el caso especial de $M=2$, o señales binarias, las formas de onda PAM tienen la propiedad especial que $S_1(t) = -S_2(t)$. Por ello, estas dos señales tienen la misma energía y coeficiente de cruz relación -1 . Tales señales son llamadas antípoda. Este caso es usualmente llamado señalización binaria antípoda.



¹⁹ **DSB**= "Double Side Band".

²⁰ **SSB** = "Single Side Band".

En la modulación ASK para el sistema RFID, la amplitud de la portadora es conmutada entre dos estados a los cuales llamaremos u_0 y u_1 por medio de una señal codificada en binario tal como se mostró en el apartado anterior de los métodos de codificación [5]. La razón entre u_0 y u_1 se conoce como factor de trabajo o índice de modulación y este valor está representado por la letra m . Para encontrar ' m ' calculamos primero la media de la amplitud de la portadora cuando esta está desplazada y sin desplazar:

$$u_m = \frac{u_0 + u_1}{2} \quad (1.21)$$

La **Figura 1.33** muestra más detalles de las variables utilizadas. Ahora bien, el índice de modulación es calculado por medio de la razón de cambio de la amplitud u_0-u_m con respecto a la media u_m :

$$m = \frac{\Delta u_m}{u_m} = \frac{u_0 - u_m}{u_m} = \frac{u_0 - u_1}{u_0 + u_1} \quad (1.22)$$

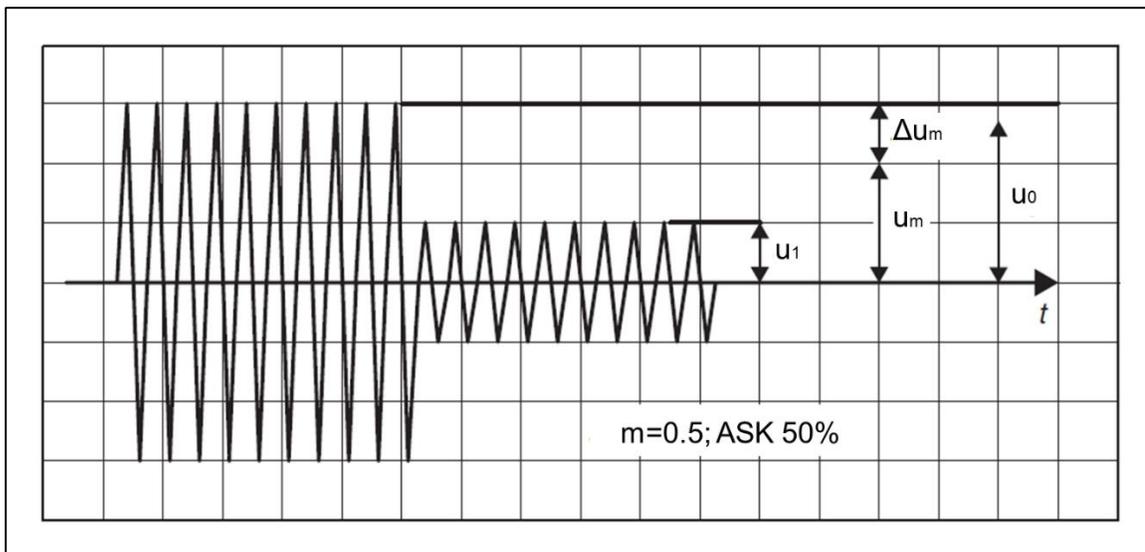


Figura 1.33 Señal ASK y cálculo del índice de modulación.

En la modulación 100% ASK la amplitud de las oscilaciones de señal a transmitirse es conmutada entre los valores de amplitud máxima de la portadora $2u_m$ y cero. La modulación 100% ASK también es conocida como **OOK** (on-off keying) y su índice de modulación es $m=1$.

El procedimiento descrito anteriormente para calcular el índice de modulación es el mismo utilizado en la modulación analógica, no obstante, existe una diferencia significativa entre la modulación analógica y la modulación por desplazamiento. En el caso de la modulación por desplazamiento la portadora toma el valor de amplitud u_0 para el estado de no modulación, mientras que la modulación analógica toma el valor de amplitud u_m para el estado de no modulación. En la literatura el factor de trabajo o índice de modulación también es conocido como el porcentaje de reducción de la portadora durante el desplazamiento y es representado por:

$$m' = 1 - \frac{u_1}{u_0} \quad (1.23)$$

En el caso de los índices de modulación para $m < 15\%$ y $m > 85\%$ las diferencias entre ambos métodos de cálculo pueden ser ignoradas. Por otro lado, como ya se mencionó anteriormente la señal mensaje codificada en binario consiste en una secuencia de estados “1” y “0”, con un periodo de duración T y una duración τ por bit. Desde un punto de vista matemático, la modulación ASK es conseguida al multiplicar la señal código $u_{code}(t)$ por la señal portadora $u_{RF}(t)$ tal como muestra la **Figura 1.34**. Para índices de modulación $m < 1$ introducimos una constante adicional $(1-m)$, de tal manera que aun podamos multiplicar $u_{RF}(t)$ por un factor 1 en el estado de no modulación y la ecuación final sería:

$$U_{ASK}(t) = (m u_{code}(t) + 1 - m)u_{HF}(t) \quad (1.24)$$

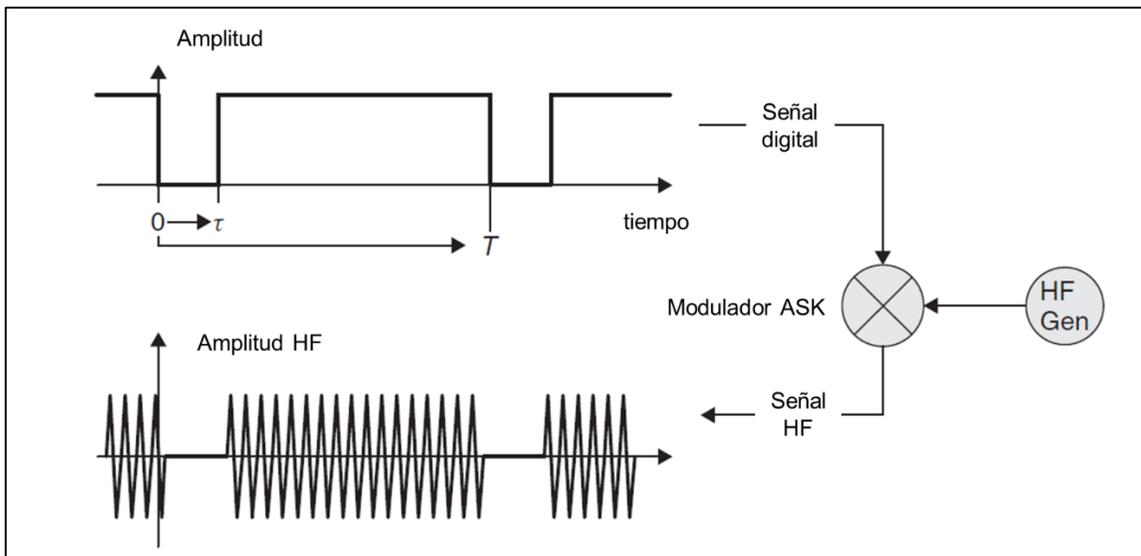


Figura 1.34 Detalles de la modulación ASK.

1.3.6.2.2.2. PSK

En la modulación por desplazamiento de fase los estados lógicos “0” y “1” son convertidos en estados de fase de la señal portadora con respecto a una fase de referencia [8]. En el caso del sistema RFID la modulación por fase más utilizada es 2PSK, lo cual implica que la señal portadora es conmutada entre los estados de fase de 0° y 180° . Las M formas de onda en la modulación PSK son representadas como:

$$S_m(t) = \text{Re} \left[g(t) e^{j \frac{2\pi(m-1)}{M}} e^{j 2\pi f_c t} \right], \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (1.25)$$

$$= g(t) \cos \left[2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M} (m - 1) \right]$$

$$= g(t) \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \cos 2\pi f_c t - g(t) \sin\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \sin 2\pi f_c t$$

Donde $g(t)$ es la forma de la señal de pulso y $\theta_m = 2\pi(m-1)/M$, $m=1,2, \dots, M$ son las M posibles fases de la señal portadora que envían la información transmitida. Se puede notar que estas formas de onda tienen igual energía. De la siguiente ecuación tenemos:

$$E_{avg} = E_m = \frac{1}{2} E_g \quad (1.26)$$

Y por ello:

$$E_{bavg} = \frac{E_g}{2 \log_2 M} \quad (1.27)$$

Para este caso, en lugar de E_{avg} y E_{bavg} usamos la notación E y E_b . Asimismo, es notable que $g(t) \cos(2\pi f_c t)$ y $g(t) \sin(2\pi f_c t)$ son ortogonales y por ello $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$ están dados por:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{E_g}} g(t) \cos 2\pi f_c t \quad (1.28)$$

$$\phi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{E_g}} g(t) \sin 2\pi f_c t \quad (1.29)$$

Estas ecuaciones pueden ser usadas para expandir $S_m(t)$, $1 \leq m \leq M$ como sigue:

$$S_m(t) = \sqrt{\frac{E_g}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \phi_1(t) + \sqrt{\frac{E_g}{2}} \sin\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \phi_2(t) \quad (1.30)$$

Por tanto, la dimensión espacial de la señal es $N=2$ y las representaciones vectoriales resultantes son:

$$S_m(t) = \left(\sqrt{\frac{E_g}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \right), \left(\sqrt{\frac{E_g}{2}} \sin\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \right), \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (1.31)$$

Los diagramas espaciales para *BPSK* (2PSK o PSK binario con $M=2$), *QPSK* (PSK cuaternario con $M=4$) y *8-PSK* (Octal PSK con $M=8$) se muestran en la **Figura 1.35**. Es notorio que el esquema BPSK corresponde a señales unidimensionales, las cuales son idénticas a las señales binarias PAM. Estos esquemas de señalización son casos especiales de las señales binarias antípodas.

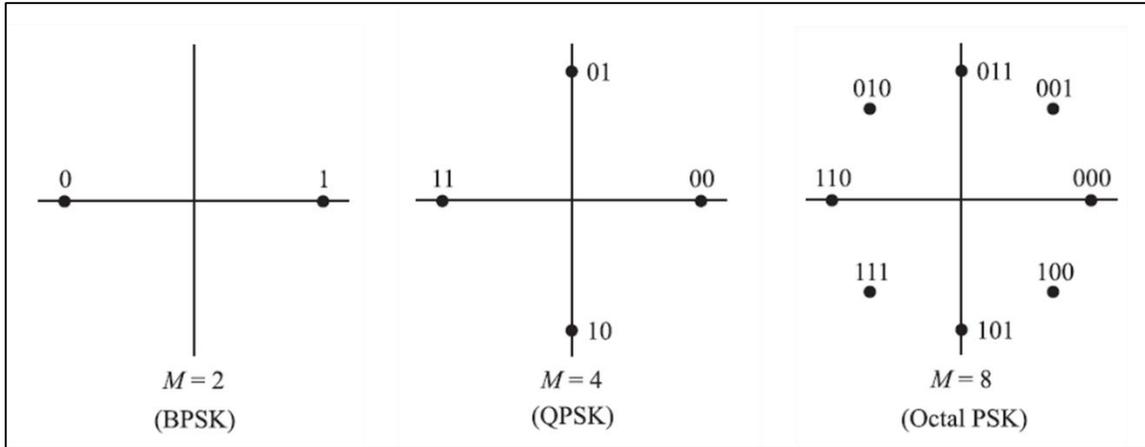


Figura 1.35 Diagramas de constelación para modulación PSK.

Igualmente, como en el caso de las señales PAM, el mapeo o asignación de k bits de información para las $M=2^k$ posibles fases puede hacerse de varias maneras. La asignación preferida es la codificación Gray, de tal manera que los errores más probables causados por ruido resulten en un solo bit de error en el símbolo k bit. La distancia euclidiana entre los puntos de la señal es:

$$d_{mn} = \sqrt{\|s_m - s_n\|^2} \tag{1.32}$$

$$= \sqrt{E_g \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m - n)\right) \right]}$$

Y la mínima distancia correspondiente a $|m-n|=1$ es:

$$d_{min} = \sqrt{E_g \left(1 - \cos\frac{2\pi}{M} \right)} = \sqrt{2E_g \sin^2 \frac{\pi}{M}} \tag{1.33}$$

Resolviendo y sustituyendo tenemos:

$$d_{min} = 2 \sqrt{\left(\log_2 M \sin^2 \frac{\pi}{M} \right) E_b} \tag{1.34}$$

Para valores grandes de M , tenemos que $\sin(\pi/M) \approx \pi/M$ y por ello d_{min} puede ser aproximado mediante:

$$d_{min} \approx 2 \sqrt{\frac{\pi^2 \log_2 M}{M^2}} E_b \quad (1.35)$$

La **Figura 1.36** muestra un esquema de la modulación 2PSK o BPSK. Asimismo, es importante mencionar que existe una variación de la modulación QPSK es llamada $\pi/4$ -QPSK, la cual es obtenida al introducir una fase $\pi/4$ adicional en la fase de la portadora en cada intervalo de símbolo, esta fase introducida facilita la sincronización de los símbolos.

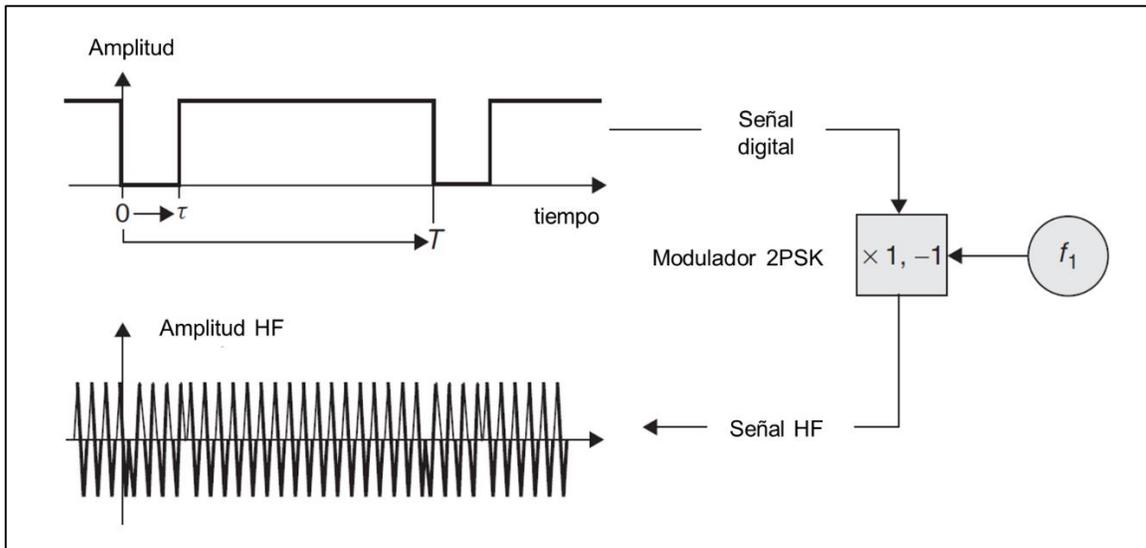


Figura 1.36 Detalles de la modulación 2PSK.

1.3.6.2.2.3. FSK

En el sistema RFID la modulación FSK utilizada es 2FSK. Lo cual quiere decir que la frecuencia de las oscilaciones de la portadora es conmutada entre dos frecuencias f_1 y f_2 mediante una señal codificada en binario como muestra la **Figura 1.37** [5]. La frecuencia portadora f_{CR} es definida como la media aritmética de las dos frecuencias características f_1 y f_2 . La diferencia entre la frecuencia portadora y las frecuencias características es determinada mediante la desviación de frecuencia Δf_{CR} :

$$f_{CR} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad \Delta f_{CR} = \frac{|f_1 - f_2|}{2} \quad (1.36)$$

$$\Delta f_{CR} = \frac{|f_1 - f_2|}{2} \quad (1.37)$$

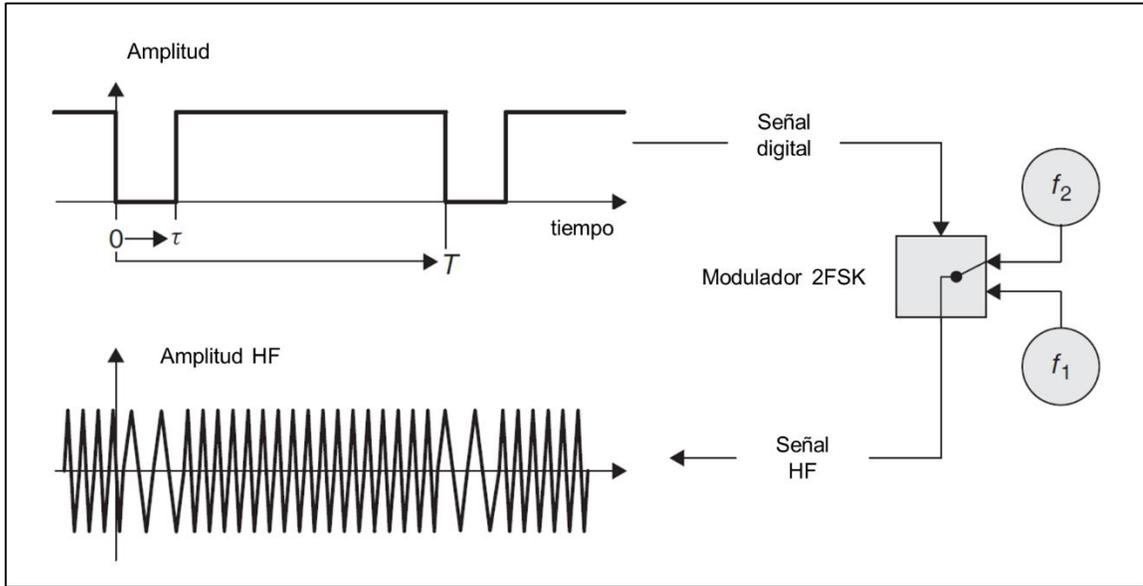


Figura 1.37 Detalles de la modulación 2FSK.

Las señales f_1 y f_2 también pueden ser expresadas más detalladamente como:

$$u_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos 2\pi f_1 t \quad , 0 \leq t \leq T_b \quad (1.38)$$

$$u_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos 2\pi f_2 t \quad , 0 \leq t \leq T_b \quad (1.39)$$

Donde E_b es la energía/bit y T_b es la duración del intervalo de bit. Mas generalmente, el FSK M -ary puede ser utilizado para transmitir un bloque de $k = \log_2 M$ bits por forma de onda de señal. En este caso, las M formas de onda de señales pueden ser expresadas como:

$$u_m(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + 2\pi m \Delta f t), \quad m = 0, 1, \dots, (M - 1), \quad 0 \leq t \leq T \quad (1.40)$$

Donde $E_s = kE_b$ es la energía/símbolo, $T = kT_b$ es el intervalo del símbolo y Δf es la frecuencia de separación entre las frecuencias sucesivas, por ejemplo: $\Delta f = f_m - f_{m-1}$, donde $f_m = f_c + m\Delta f$. Nótese que las M formas de onda FSK tienen igual energía E_s . La frecuencia de separación Δf determina el grado con el cual podemos distinguir entre las M posibles señales transmitidas. Como una medida de la similitud o diferencia entre un par de señales, definimos el coeficiente de correlación como (siguiente página):

$$\gamma_{mn} = \frac{1}{E_s} \int_0^T u_m(t)u_n(t)dt \quad (1.41)$$

Al sustituir por $u_m(t)$ y $u_n(t)$ en la ecuación obtenemos:

$$\begin{aligned} \gamma_{mn} &= \frac{1}{E_s} \int_0^T \frac{2E_s}{T} \cos(2\pi f_c t + 2\pi m \Delta f t) \cos(2\pi f_c t + 2\pi n \Delta f t) dt & (1.42) \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \cos 2\pi(m-n)\Delta f t dt + \frac{1}{T} \int_0^T \cos[4\pi f_c t + 2\pi(m+n)\Delta f t] dt \\ &= \frac{\sin 2\pi(m-n)\Delta f T}{2\pi(m-n)\Delta f T} \end{aligned}$$

Donde la segunda integral se desvanece cuando $f_c \gg 1/T$. Un gráfico de γ_{mn} como función de la frecuencia de separación se muestra en la **Figura 1.38**. Se observa que las señales de onda son ortogonales cuando Δf es múltiplo de $1/2T$. Por ello, la mínima frecuencia de separación entre frecuencias sucesivas para tener señales ortogonales es $1/2T$. También es notable que el mínimo valor del coeficiente de correlación es $\gamma_{mn} = -0.217$ lo cual ocurre cuando la frecuencia de separación es $\Delta f = 0.715/T$.

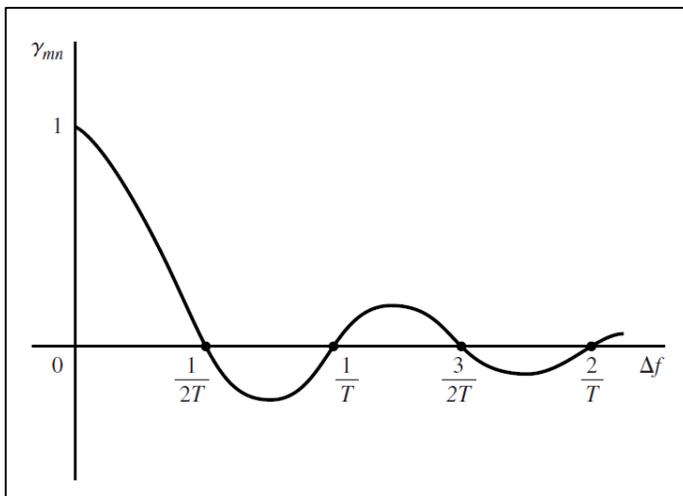


Figura 1.38 Coeficiente de cros-relación como función de la frecuencia de separación de las señales FSK.

Las señales FSK M-ary tienen una representación geométrica como vectores ortogonales M, M-dimensional dado por:

$$\begin{aligned} s_1 &= (\sqrt{E_s}, 0, 0, \dots, 0) \\ s_2 &= (0, \sqrt{E_s}, 0, \dots, 0) \\ s_M &= (0, 0, 0, \dots, \sqrt{E_s}) \end{aligned} \quad (1.43)$$

Donde las funciones básicas son:

$$\psi_m(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos 2\pi(f_c + m\Delta f)t \quad (1.44)$$

Y la distancia entre un par de señales vectores es:

$$d = \sqrt{2E_s} \quad (1.45)$$

Para todo m, n el cual es también la mínima distancia entre las señales M .

1.3.6.2.2.4. QAM

La eficiencia en la modulación *PAM/SSB* también puede ser obtenida al imprimir simultáneamente dos símbolos *k-bit* separados desde la secuencia de información sobre dos portadoras en cuadratura $\cos 2\pi f_c t$ y $\sin 2\pi f_c t$ [8]. La técnica de modulación resultante es llamada PAM de cuadratura o "QAM", y la correspondiente forma de onda de señal puede ser expresada como:

$$\begin{aligned} S_m(t) &= \text{Re}[(A_{mi} + jA_{mq})g(t)e^{j2\pi f_c t}] \quad (1.46) \\ &= A_{mi}g(t) \cos 2\pi f_c t - A_{mq}g(t) \sin 2\pi f_c t, m = 1, 2, \dots, M \end{aligned}$$

Donde A_{mi} y A_{mq} son las amplitudes de las de las señales portadoras de información de la señal en cuadratura y $g(t)$ es la señal de pulso. Alternativamente, la forma de onda de la señal QAM puede ser expresada como:

$$\begin{aligned} S_m(t) &= \text{Re}[r_m e^{j\theta_m} e^{j2\pi f_c t}] \quad (1.47) \\ &= r_m \cos(2\pi f_c t + \theta_m) \end{aligned}$$

Donde:

$$r_m = \sqrt{A_{mi}^2 + A_{mq}^2} \quad (1.48)$$

Además:

$$\theta_m = \tan^{-1} \frac{A_{mq}}{A_{mi}} \quad (1.49)$$

A partir de esta expresión, es notable que la señal QAM puede ser vista como una modulación combinada de amplitud (r_m) y fase (θ_m). De hecho, es posible combinar un PAM de nivel M_1 con un PSK de nivel M_2 fases para construir una constelación PAM-PSK

de nivel $M=M_1M_2$. Si $M_1=2^n$ y $M_2=2^m$, la constelación PAM-PSK que resulta es la transmisión simultánea de $m+n=\log_2 M_1M_2$ dígitos binarios, lo cual ocurre a una razón de símbolos de $R/(m+n)$. Asimismo, es comprobable que al igual que en el caso de la modulación PSK, las variables $\phi_1(t)$ y $\phi_2(t)$ mostradas en el epígrafe anterior, pueden ser utilizadas como una base ortonormal para la expansión de las señales QAM. La dimensionalidad del espacio de la señal para QAM es $N=2$. Usando esta base tendríamos:

$$S_m(t) = A_{mi} \sqrt{\frac{E_g}{2}} \phi_1(t) + A_{mq} \sqrt{\frac{E_g}{2}} \phi_2(t) \quad (1.50)$$

Lo cual resulta en la representación vectorial de la forma:

$$\begin{aligned} S_m &= (S_{m1}, S_{m2}) \\ &= \left(A_{mi} \sqrt{\frac{E_g}{2}}, A_{mq} \sqrt{\frac{E_g}{2}} \right) \end{aligned} \quad (1.51)$$

Además:

$$E_m = \|S_m\|^2 = \frac{E_g}{2} (A_{mi}^2 + A_{mq}^2) \quad (1.52)$$

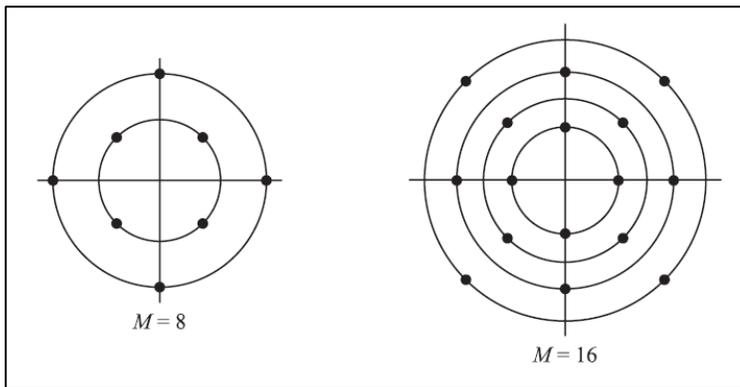


Figura 1.39 Diagrama de constelación para PAM-PSK

En la **Figura 1.39** se muestran dos ejemplos de diagramas espaciales de la combinación PAM-PSK para $M=8$ y $M=16$. Por otro lado, la distancia euclidiana entre un par de vectores QAM es:

$$\begin{aligned} d_{mn} &= \sqrt{\|S_m - S_n\|^2} \\ &= \sqrt{\frac{E_g}{2} [(A_{mi} - A_{ni})^2 + (A_{mq} - A_{nq})^2]} \end{aligned} \quad (1.53)$$

En el caso especial cuando las amplitudes de las señales toman un conjunto de valores discretos $\{(2m-1)E_g, m=1,2,\dots, M\}$, el diagrama espacial de la señal es rectangular como se muestra en la **Figura 1.40**. Para este caso, la distancia euclidiana entre puntos adyacentes, es decir, la mínima distancia es:

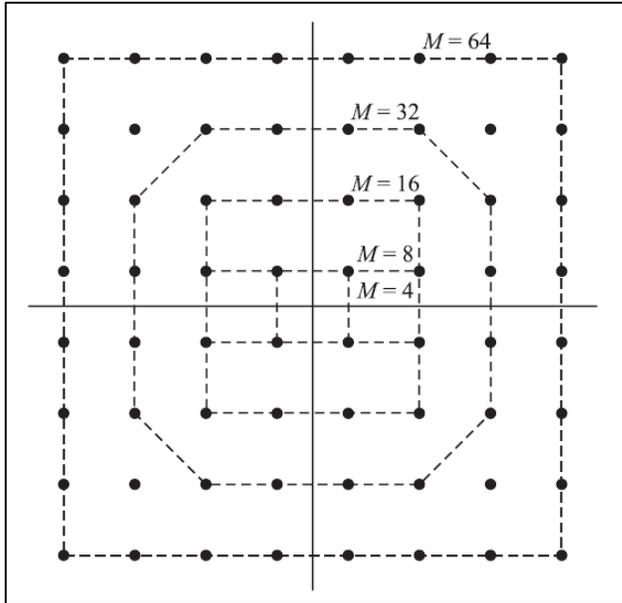


Figura 1.40 Varios diagramas de constelación para QAM rectangular.

$$d_{min} = \sqrt{2E_g} \quad (1.54)$$

Lo cual es el mismo resultado para PAM. En el caso especial de una constelación rectangular con $M=2^{2k_1}$, o sea, $M= 4, 16, 64, 256, \dots$, y con amplitudes de $\pm 1, \pm 3, \dots, \pm (\sqrt{M}-1)$ en ambas direcciones, tenemos:

$$\begin{aligned} E_{avg} &= \frac{1}{M} \frac{E_g}{2} \sum_{m=1}^{\sqrt{M}} \sum_{n=1}^{\sqrt{M}} (A_m^2 + A_n^2) \\ &= \frac{E_g}{2M} \frac{2M(M-1)}{3} \\ &= \frac{M-1}{3} E_g \end{aligned} \quad (1.55)$$

Para lo cual:

$$E_{bavg} = \frac{M-1}{3 \log_2 M} E_g \quad (1.56)$$

Al final se obtiene:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{6 \log_2 M}{M-1} E_{bavg}} \quad (1.57)$$

Usualmente en los sistemas RFID pasivos los esquemas de modulación más utilizados son ASK con $M=2$, 2PSK o 2FSK. Esto se debe a que la información contenida en los transpondedores del tipo pasivos suele ser sencilla, no obstante, en aplicaciones más complejas como en el caso de los sistemas RFID activos a veces es necesario utilizar esquemas de modulación más complejos como el QAM ya que la información que se transmitirá puede ser más densa y ha de requerir un mayor ancho de banda.

1.3.6.2.2.5. Modulación con sub-portadora

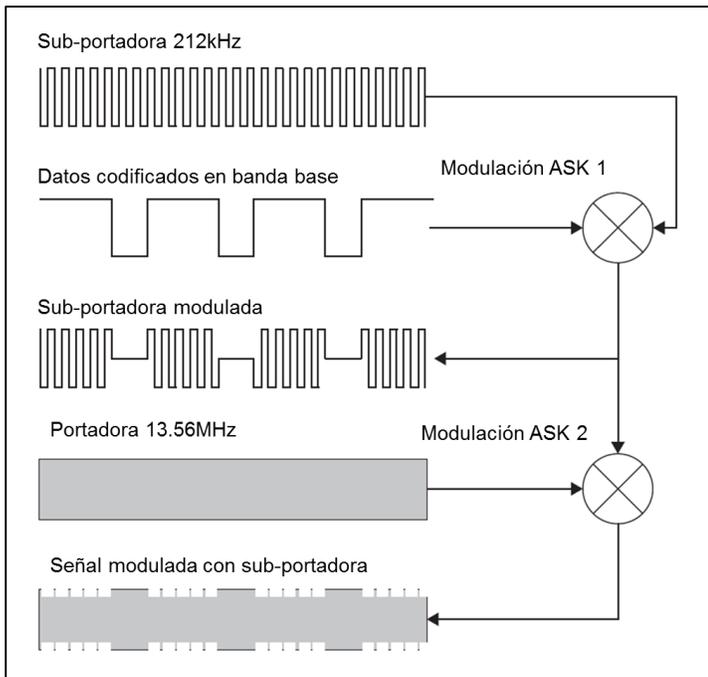


Figura 1.41 Modulación con sub-portadora paso a paso.

La modulación con sub-portadora es un método de modulación *multi-nivel*. En los sistemas RFID, los métodos de modulación utilizando sub-portadora son principalmente empleados en los sistemas acoplados inductivamente en los rangos de frecuencia de 6.78, 13.56 o 27.125MHz y en la *modulación de carga* para la transmisión de los datos desde el transpondedor hacia el lector. La modulación de carga de un sistema RFID acoplado inductivamente tiene un efecto similar a la modulación ASK del voltaje RF en la antena del lector. No obstante, en lugar de conmutar la resistencia de carga de un transpondedor

continuamente mediante una señal codificada en banda base, en la modulación por sub-portadora lo que sucede es que una portadora de baja frecuencia es primeramente modulada por la señal de datos codificada en banda base, asimismo, se puede seleccionar cualquiera de los tres esquemas de modulación más comunes ya sea: ASK, PSK o FSK para este procedimiento, luego, la frecuencia de la sub-portadora es obtenida por medio de la división binaria de la frecuencia de operación, para los sistemas de 13.56MHz por ejemplo, las frecuencias de las sub-portadoras más usadas son: 847kHz (13.56MHz/16), 424kHz (13.56/32) o 212kHz (13.56/64). Luego de la modulación con sub-portadora, esta señal modulada es utilizada para conmutar el resistor de carga. La **Figura 1.41** detalla este procedimiento.

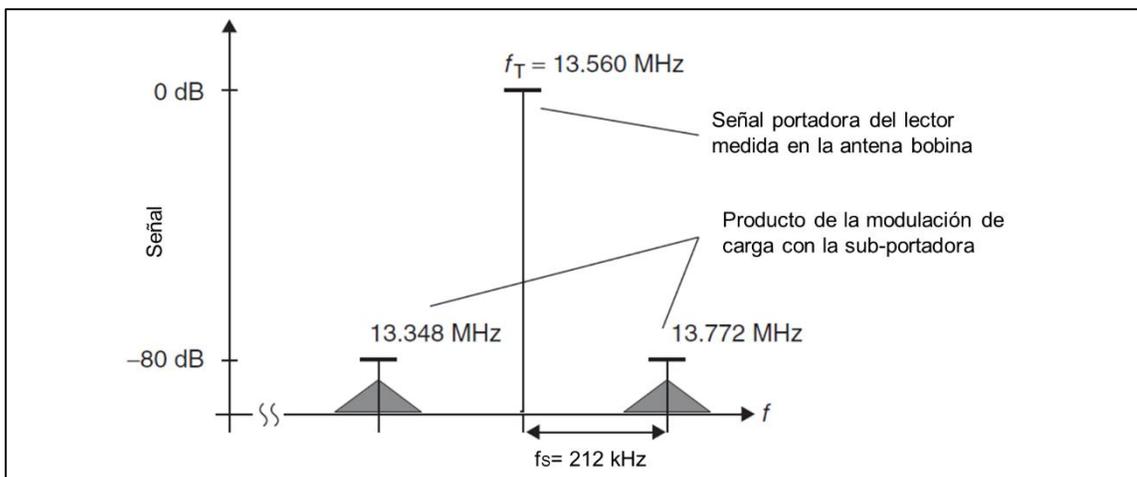


Figura 1.42 Espectro generado por una señal modulada con sub-portadora.

La ventaja de este método se vuelve clara cuando consideramos el espectro generado. Como se muestra en la **Figura 1.42**, la modulación de carga inicialmente forma dos líneas espectrales a una distancia de \pm la frecuencia de la sub-portadora f_H , alrededor de la frecuencia de operación y la información es ahora transmitida en las bandas laterales de las dos líneas de sub-portadoras. Si se utilizara solo la modulación de carga las bandas laterales estaría muy próximas a la señal de la frecuencia de operación. Esta separación permite que cualquiera de las bandas laterales sea fácilmente separada y demodulada. En los próximos apartados se explicaran los procedimientos de *modulación de carga* ("load modulation") y *retrodispersión* ("backscatter modulation"), los cuales son los métodos utilizados para transmitir la información en los sistemas RFID y van de la mano con los esquemas de modulación anteriormente mostrados, además, estos métodos de transmisión establecen las diferencias sustanciales entre los transpondedores FDX y HDX ya antes mencionados.

1.3.6.2.2.6. Circuito análogo para enlace RFID

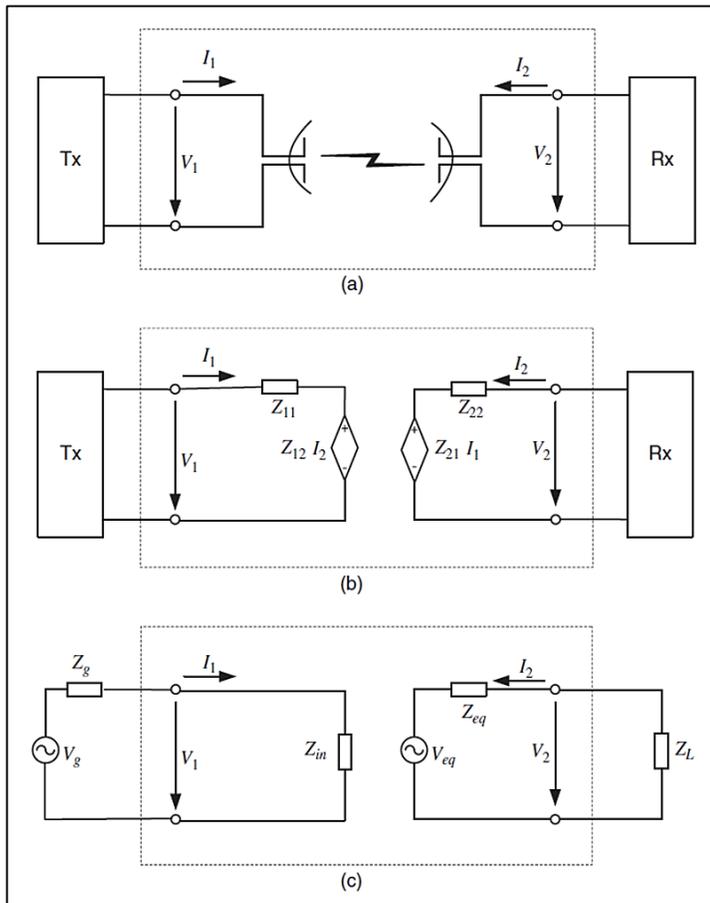


Figura 1.43 Enlace general de comunicación con antenas y su circuito equivalente.

La **Figura 1.43 (a)** muestra un esquema equivalente para un enlace de comunicación básico entre antenas. Se asume que las antenas constatan de materiales que son linealmente recíprocos conductivos o dieléctricos. El circuito eléctrico equivalente se muestra en la **Figura 1.43 (b)** donde Z_{11} y Z_{22} son las auto-impedancias de las antenas del lado del sistema transmisor y del lado del sistema receptor respectivamente. Asimismo, Z_{12} y Z_{21} son las impedancias mutuas entre las dos antenas, además, las impedancias mutuas caracterizan el acople electromagnético entre dos antenas. Por otro lado, los parámetros Z de este sistema de dos antenas dependen solo de la construcción de la antena, su separación y el medio de propagación entre ambos independientemente de la configuración del transmisor

y el receptor. Para calcular exactamente los parámetros Z , es necesario recurrir a la teoría de propagación electromagnética, sin embargo, es muy difícil sino imposible, realizar estos cálculos para los sistemas reales. En la práctica estos parámetros suelen ser calculados a través de mediciones. El circuito en la **Figura 1.43 (b)** puede ser más

simplificado en la **Figura 1.43 (c)**, donde el transmisor es representado como la fuente de voltaje V_g con una salida de impedancia Z_g , el receptor es representado por una carga con impedancia Z_L , y los parámetros Z_{in} , Z_{eq} y V_{eq} son dados por:

$$Z_{in} = Z_{11} - \frac{Z_{12}Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} \quad (1.58)$$

$$Z_{eq} = Z_{22} \quad (1.59)$$

$$V_{eq} = \frac{Z_{21}}{Z_{in} + Z_g} V_g \quad (1.60)$$

Las ecuaciones anteriores pueden ser obtenidas al realizar álgebra sobre la relación de *entrada-salida* del circuito mostrado en la **Figura 1.43 (b)** y **Figura 1.43 (c)**. Por otra parte, en el campo lejano las impedancias mutuas son más pequeñas comparadas con las auto-impedancias, por ello tenemos:

$$Z_{in} \approx Z_{11} \quad (1.61)$$

$$V_{eq} \approx \frac{Z_{21}}{Z_{11} + Z_g} V_g \quad (1.62)$$

Nótese que la **Figura 1.43 (c)** provee de dos circuitos equivalentes, uno para el transmisor, en la parte izquierda de la **Figura 1.43 (c)**, y otro para el receptor en la parte derecha de la **Figura 1.43 (c)**.

1.3.6.2.2.7. Modulación de carga (“load modulation”)

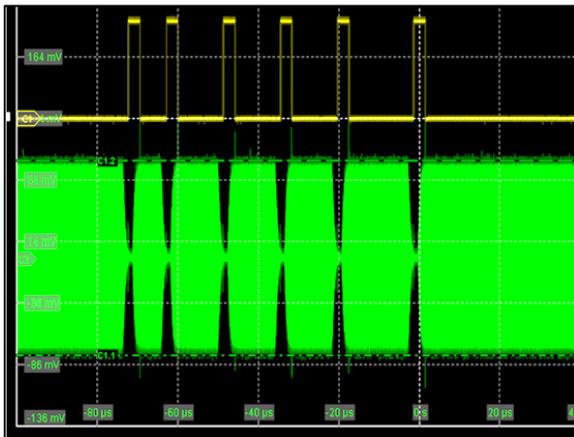


Figura 1.44 Respuesta por modulación de carga de un transpondedor RFID tipo *FDX*.

En los sistemas *FDX* (“*Full-Duplex*”), la respuesta del transpondedor es emitida cuando el campo magnético de activación del lector está encendido. Por ello es el nombre de “*Full-Duplex*”, ya que no es necesario que el lector haga una pausa para que el transpondedor responda [6]. Esto es debido a que la señal modulada del transpondedor es muy débil por sí sola para poder inducir un voltaje considerable sobre la antena del lector, entonces los transpondedores *FDX* se han diseñado para que puedan generar cambios en el campo electromagnético de activación emitido por el lector, de tal forma que, en la señal de activación del transceptor se imprima el patrón modulado de información.

Luego, el demodulador en el lector puede reconstruir la señal codificada en binario para extraer el código identificador o la información pertinente de la etiqueta. La **Figura 1.44** muestra un patrón de modulación por carga capturado mediante osciloscopio donde la señal amarilla es la información codificada en binario y la señal verde es el campo electromagnético de activación del

lector el cual ha sido modulado por el transpondedor mediante el método de *modulación por carga*. A continuación, en la **Figura 1.45** definiremos el circuito equivalente para un transpondedor RFID que opera mediante el procedimiento de modulación por carga. Este circuito consiste en cuatro partes fundamentales: *la antena, el rectificador, el reloj y el modulador de carga*.

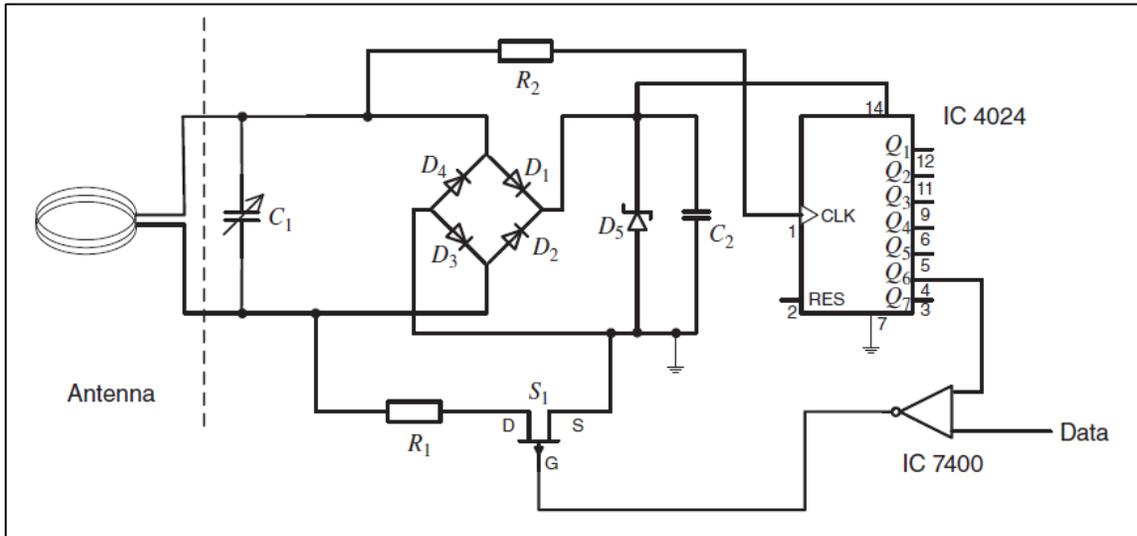


Figura 1.45 Esquema de un transpondedor RFID que utiliza el método de modulación de carga.

El rectificador está construido con cuatro diodos D_1 - D_4 , los cuales forman un rectificador tipo puente. La entrada de voltaje es provista por la onda de alta frecuencia inducida por el lector en la bobina antena. La salida de voltaje es suavizada por el capacitor C_2 . El diodo zener D_5 (ZD 5V6) provee protección en caso de una posible sobrecarga en el puente rectificador en caso que el transpondedor pueda estar muy cerca del lector. A causa del uso de D_5 y C_2 , el voltaje a través del diodo zener puede ser mantenido exactamente en 5.6V. Por otro lado, el reloj de sincronización está construido con un circuito contador 4024. La salida Q_n es el n -ésimo estado del contador, lo que significa que la frecuencia de la señal de reloj Q_n es la frecuencia de la entrada de señal CLK dividida por 2^n . La señal externa de reloj CLK es producida por la señal sinusoidal inducida en la bobina antena, donde el resistor R_2 provee protección para el contador de picos. Suponiendo que la frecuencia de operación sea 13.56MHz, la salida Q_6 proveerá una señal interna de reloj de una frecuencia $13.56\text{MHz}/2^6 = 212\text{kHz}$.

El modulador de carga consiste en un "switch" S_1 y un resistor R_1 . El "switch" es controlado por la señal interna de reloj Q_n y los símbolos de datos por medio de una operación "AND". Al controlar el estado de apagado y encendido del transistor S_1 mediante los símbolos de datos, la carga en la antena es cambiada. Por ello, los símbolos de datos codificados son modulados en la señal retornada por el transpondedor. El circuito equivalente para la modulación de carga se muestra en la **Figura 1.46**. Generalmente, en la práctica, la carga Z_1 puede ser resistiva o capacitiva. De la **Figura 1.45** puede observarse que es posible obtener un modulador con diferentes sub-portadoras al conectar una de las terminales de entrada de la compuerta lógica 7400 a diferentes salidas del circuito contador 4024. El beneficio de usar la modulación con sub-portadora es que la fuerte señal de interferencia

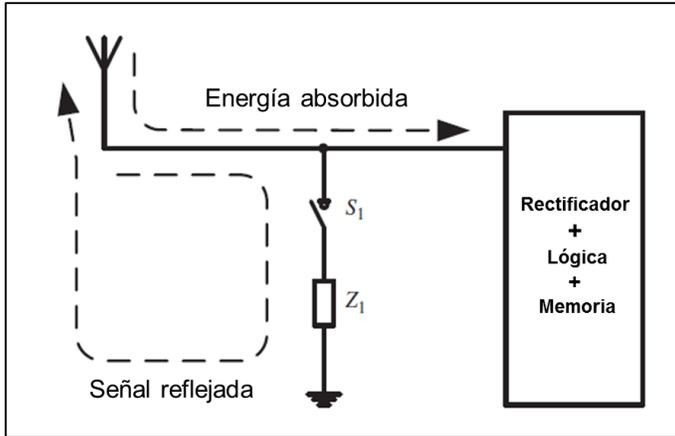


Figura 1.46 Circuito representativo para modulador de carga en un transpondedor RFID.

del transmisor del lector hacia el receptor del lector puede ser efectivamente aislada, esto debido a que la interferencia de la portadora por fuga es mayor que $80dB$ con respecto a la señal modulada por el transpondedor. El capacitor opcional C_1 puede ser usado para producir un circuito resonante con la bobina antena, de esa manera, es posible incrementar la zona de lectura considerablemente. Igualmente, el mismo circuito puede ser utilizado para la modulación por

retrodispersión, lo que se necesita hacer es cambiar los parámetros de los capacitores relevantes y la bobina antena de tal manera que la frecuencia de operación sea la misma que la del lector. Además, como muestra la **Figura 1.45**, el diseño de un circuito rectificador eficiente juega un rol muy importante en la operación exitosa del sistema RFID. El circuito recolector de energía en la mayoría de los transpondedores RFID está basado en el la topología “*bomba de carga Dickson*”²¹. En algunos casos se modifica la forma de las ondas para mejorar la eficiencia en la carga.

Además, como se mencionó anteriormente, la comunicación entre lector y etiqueta se realiza mediante un acople inductivo, por esta razón, el circuito equivalente para el circuito de antena de *lector-transpondedor* puede ser aproximado mediante un transformador ideal, tal como se muestra en la **Figura 1.47**. De esa manera, R_2 representa la resistencia, mostrada en la **Figura 1.45**, Z_2 representa la impedancia del capacitor C_2 , Z_1 representa la impedancia del resistor R_1 y Z_0 denota la impedancia agrupada en el transmisor del lector. Es importante mencionar que R_1 en la **Figura 1.45** también puede ser cambiado por un capacitor, entonces la impedancia Z_1 puede ser resistiva o capacitiva. El capacitor C_1 en la **Figura 1.45** es evitado en la **Figura 1.47**.

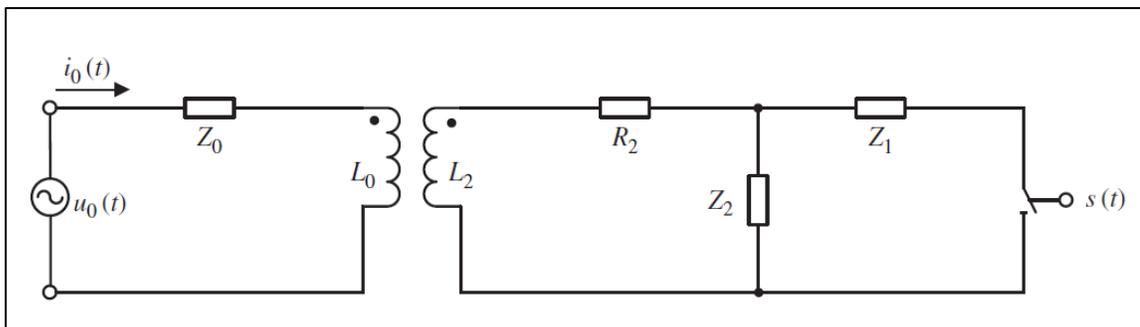


Figura 1.47 Circuito equivalente para análisis de modulación de carga en un acople inductivo.

²¹ “Dickson charge pump topology”.

La señal $s(t)$ representa la señal de identificación del transpondedor, la cual es una secuencia de ceros y unos. El “switch” S_1 en la **Figura 1.45** es controlado por medio de $s(t)$ en la **Figura 1.47**. Matemáticamente hablando, el control de este “switch” equivalente a dividir la carga Z_1 por la señal $s(t)$, por ello, la impedancia equivalente del circuito en paralelo Z_2 y Z_1 sumado con la señal regulatoria puede ser expresada como:

$$Z_{reg} = \frac{Z_2 Z_1 / s(t)}{Z_2 + Z_1 / s(t)} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 s(t)} \quad (1.63)$$

El transformador de la **Figura 1.47** es representado por T_0 , y las inductancias del primario y el secundario representan las bobinas del transpondedor y el lector. La bobina del lector está representada por L_0 y la bobina del transpondedor está representada por L_2 . Ahora, suponiendo que la fuente de voltaje $u_0(t)$ es aplicada al transmisor del lector, entonces la corriente $i_0(t)$ varía con la señal binaria de identificación $s(t)$ proveniente del transpondedor. Para encontrar la corriente $i_0(t)$, una manera simple es eliminar el transformador T_0 al pasar la carga del lado del transpondedor al lector como se muestra en la **Figura 1.48**. De esa manera, la impedancia equivalente se calcularía como:

$$(1.64) \quad Z'_L = a^2 \left[j\omega L_2 + R_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 s(t)} \right]$$

Donde la variable “ a ” es la razón de vueltas entre las vueltas de la bobina antena del lector y las vueltas de la bobina antena del transpondedor. Asimismo, la corriente $i_0(t)$ estaría calculada por la ecuación:

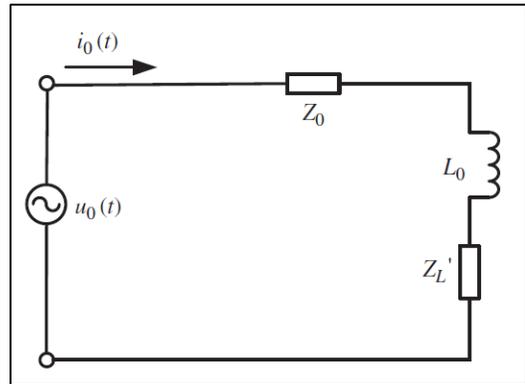


Figura 1.48 Circuito simplificado para el análisis de la modulación de carga.

$$i_0(t) = \frac{u_0(t)}{Z_0 + j\omega L_0 + Z'_L} \quad (1.65)$$

Sustituyendo:

$$i_0(t) = \frac{u_0(t)}{Z_0 + j\omega L_0 + a^2 \left[j\omega L_2 + R_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 s(t)} \right]} \quad (1.66)$$

1.3.6.2.2.8. Modulación por retrodispersión (“backscattering”)

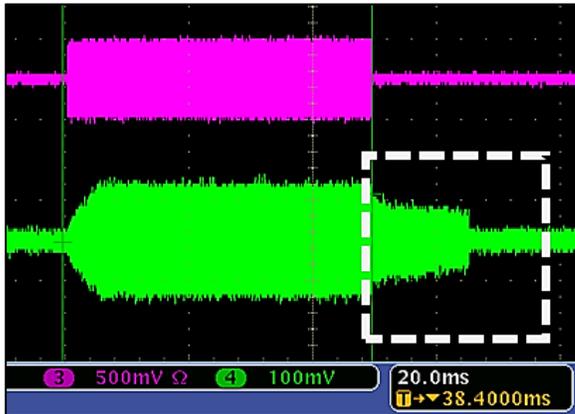


Figura 1.49 Respuesta por retrodispersión por parte de un transpondedor RFID tipo HDX.

Las etiquetas HDX (“Half-Duplex”), a diferencia de los transpondedores FDX, necesitan una pausa por parte del lector para poder responder y transmitir su información, de ahí su nombre “Half-Duplex” o ‘transpondedores secuenciales’ [6]. El método de comunicación empleado por los transpondedores HDX es conocido como *retrodispersión* o *esparcimiento*²². Los transpondedores HDX poseen un capacitor de carga el cual debe llenarse primero durante un tiempo finito con la energía del campo electromagnético del lector. Cuando el capacitor se ha cargado y existe suficiente energía en el chip

transpondedor para responder, entonces el lector debe hacer una pausa para escuchar a la etiqueta emitir su código identificador u otra información pertinente. La **Figura 1.49** muestra detalles del método de retrodispersión, la señal de color rosa representa el voltaje visto en la antena del lector y la señal de voltaje vista en la antena del transpondedor. Como es de notar, la señal rosa está programada para apagarse en un tiempo finito, este tiempo finito está relacionado con el tiempo de carga que amerite el transpondedor HDX. Después, una vez que el lector se desactivó, se puede observar en la señal verde, dentro del recuadro punteado, que el transpondedor ha emitido su respuesta. Esta respuesta posee menor potencia que la señal original, pero posee la misma frecuencia y contiene internamente la información que caracteriza al transpondedor.

Para el análisis en este apartado, es de interés la relación entre la información transmitida por el transpondedor y la señal recibida en el lector mediante el método de la retrodispersión. De lo descrito anteriormente podemos ver que la comunicación por medio de retrodispersión se da en dos etapas, la primera etapa, donde el lector activa el transpondedor, y la segunda etapa, cuando el transpondedor actúa como un transmisor

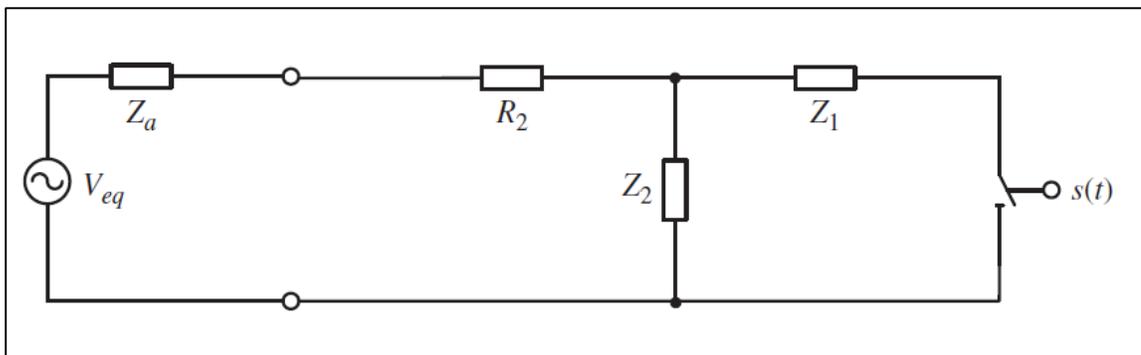


Figura 1.50 Circuito equivalente para el análisis de la modulación por retrodispersión.

²² Viene del inglés “Backscatter” o “Backscattering”.

y el lector como un receptor. La **Figura 1.50** muestra el circuito equivalente para este tipo de comportamiento. En principio, el voltaje V_{eq} de la **Figura 1.50** puede ser calculado basado en las ecuaciones de Maxwell y luego la señal retornada que es recibida por el lector puede ser calculada basándose en el voltaje V_{eq} re-radiado por el transpondedor, sin embargo este procedimiento es demasiado tedioso e incómodo. Por ello se considera un circuito equivalente más sencillo de analizar en la **Figura 1.51** donde Z_c representa la impedancia agrupada de la carga. La variable $P_{rd,0}$ denota la potencia transmitida en el lector, la densidad de potencia de la onda electromagnética que incide sobre la antena de la etiqueta en el espacio libre está dada por:

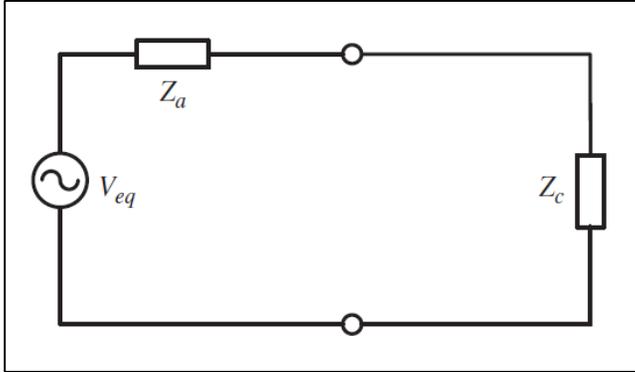


Figura 1.51 Esquema para calcular la potencia radiada por la antena del transpondedor en la modulación por retrodispersión.

$$S = \frac{P_{rd,0} G_{rd,t}}{4\pi r^2} \quad (1.67)$$

Donde $G_{rd,t}$ es la ganancia de la antena transmisora del lector y “ r ” es la distancia entre el lector y el transpondedor. Luego tenemos que $A_{eff,tag}$ es el área efectiva de la antena del transpondedor, la cual está dada por:

$$A_{eff,tag} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{tag} \quad (1.68)$$

Donde G_{tag} es la ganancia de la antena del transpondedor y λ es la longitud de onda de la señal de radio transmitida. La potencia recibida por la antena de la etiqueta depende de la carga conectada a la antena. Cuando una carga balanceada ha sido conectada a la antena (es decir $Z_c = Z_a$), entonces la potencia recibida por la antena está dada por:

$$P_{tag,0} = S A_{eff,tag} \quad (1.69)$$

Cuando una carga arbitraria Z_c es conectada a la antena del transpondedor, entonces parte de la potencia recibida será re-radiada al espacio. La potencia re-radiada al espacio está dada por:

$$P_{tag,1} = K P_{tag,0} G_{tag} \quad (1.70)$$

donde:

$$K = \frac{4R_a^2}{|Z_a + Z_c|^2} \quad (1.71)$$

con:

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (1.72)$$

Supongamos que una carga balanceada es conectada a la antena receptora en el lector. Entonces la potencia en el lector está dada por:

$$P_{rd,1} = \frac{P_{tag,1}}{4\pi r^2} A_{eff,rd} \quad (1.73)$$

donde:

$$\frac{P_{tag,1}}{4\pi r^2}, \quad (1.74)$$

es la densidad de potencia de la onda de radio re-radiada por la etiqueta que incide en la antena receptora del lector, además, $A_{eff,rd}$ es el área efectiva de la antena del lector, la cual está dada por:

$$A_{eff,rd} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{rd,r}, \quad (1.75)$$

con $G_{rd,r}$ siendo la ganancia de la antena receptora del lector, sustituyendo todas las ecuaciones resulta:

$$P_{rd,1} = \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^4 G_{tag}^2 G_{rd,t} G_{rd,r} P_{rd,0} \frac{4R_a^2}{|Z_a + Z_c|^2} \quad (1.76)$$

Por ello, la amplitud del voltaje inducido en la carga de la antena receptora del lector, denotado por $|V_{rd,L}|$, está caracterizado por:

$$\begin{aligned} |V_{rd,L}| &= K_0 \sqrt{P_{rd,1}} \quad (1.77) \\ &= K_0 \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 G_{tag} \sqrt{G_{rd,t} G_{rd,r} P_{rd,0}} \frac{2R_a}{|Z_a + Z_c|}, \end{aligned}$$

Donde K_0 es una constante que depende solo de la impedancia del balance de la carga en la antena receptora en el lector. Es importante notar que se ha asumido una antena omnidireccional en el transpondedor. Si ese no es el caso, entonces la ganancia de la antena en las ecuaciones anteriores debe ser diferente para la transmisión que para la recepción. Entonces la variable G_{tag} en la ecuación de arriba debería ser reemplazada con $(G_{tag,r} G_{tag,t})^{1/2}$ donde $G_{tag,r}$ y $G_{tag,t}$ son las ganancias de la antena del transpondedor para el modo de recepción y el modo de transmisión respectivamente. Por otro lado, si regresamos a la **Figura 1.50** y sustituimos el valor de Z_c por:

$$Z_c = R_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 s(t)} \quad (1.78)$$

Da como resultado:

$$|V_{rd,L}| = K_0 \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 G_{tag} \sqrt{G_{rd,t} G_{rd,r} P_{rd,0}} \frac{2R_a}{\left|Z_a + R_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 s(t)}\right|} \quad (1.79)$$

Esta ecuación muestra como la señal $V_{rd,L}$ recibida en el lector cambia con la señal moduladora del transpondedor $s(t)$.

1.3.6.2.3. Integridad de los datos

Cuando se transmite información utilizando tecnología inalámbrica o de proximidad, es muy común que los datos se corrompan causando que se tengan errores en la transmisión [5]. Por ello, para asegurar la integridad de los datos se debe realizar un procedimiento de comprobación²³. Los métodos de comprobación más comunes son: el *chequeo de paridad*, *suma "XOR"* y *suma "CRC"*.

1.3.6.2.3.1. Chequeo de paridad

El chequeo de paridad es un procedimiento de comprobación muy simple y popular. En este procedimiento un bit de paridad es incorporado a cada byte transmitido, el resultado es que son enviados 9bits por cada byte. Antes que la transmisión tome lugar, se necesita hacer una decisión con respecto a si se chequeara **paridad par** o **paridad impar**. Esto para asegurarse que el transmisor y el receptor chequean con el mismo método.

En el caso de la **paridad par**, para un número determinado de bits, se cuentan las ocurrencias del número de bits que sean "1". Si el número de ocurrencias en el conjunto de bits da como resultado un número impar, el valor de paridad será "1". Y si el número de ocurrencias es par entonces el valor del bit de paridad será "0".

Por otro lado, para la **paridad impar**, es lo contrario, ya que si para un número determinado de bits si el conteo de bits con valor "1" es impar entonces el valor del bit de paridad será "0" y si el número de bits con valores "1" es par entonces el bit de paridad es establecido en "1". La **Tabla 1.7** muestra un ejemplo de este sistema con 7 bits de transmisión.

7bits de datos	(Conteo de bits con valor "1")	8bits adjuntando el bit de paridad	
		Paridad par	Paridad impar
0000000	0	00000000	00000001
1010001	3	10100011	10100010
1101001	4	11010010	11010011
1111111	7	11111111	11111110

Tabla 1.7 Ejemplo de chequeo de paridad "par" e "impar".

Una vez que el transmisor y el receptor se pusieron de acuerdo con respecto a si usaran paridad par o impar, entonces se transmite la información con el bit de paridad adjunto. Si en el lado del receptor el bit de paridad recibido no es el esperado entonces hubo un error en la transmisión. Este método funciona para transmisiones cortas, no obstante es susceptible a errores también por su simplicidad. Por ejemplo, si se transmite un número impar y es invertido se detectará el error, pero si se transmite un numero par invertido el error nunca será detectado.

1.3.6.2.3.2. Procedimiento "LRC"

El chequeo "*longitudinal de redundancia*" (**LRC**²⁴) es un bloque de bits extra añadido a la cadena de bits que se transmitirá. Esta secuencia de bits extra que contiene el valor LRC es calculado en el transmisor, y luego es adjuntado y enviado con la información al

²³ "*Checksum procedure*" en inglés.

²⁴ "*Longitudinal Redundancy Check*".

receptor. El receptor toma la información recibida y recalcula el LRC a partir de los bits de datos, luego compara el valor del LRC calculado con el recibido y si no son iguales ocurrió un error de transmisión.

Este procedimiento de comprobación también es conocido como la *suma comprobatoria XOR*, pero en realidad el procedimiento LRC no es una sumatoria sino que los bits de información se agrupan en columnas de bytes para realizar la operación XOR consecutivamente en forma de columna hasta obtener un byte resultado que es el que se adjuntará a la cadena de información. La **Figura 1.52** muestra el procedimiento que el algoritmo **LRC** sigue.

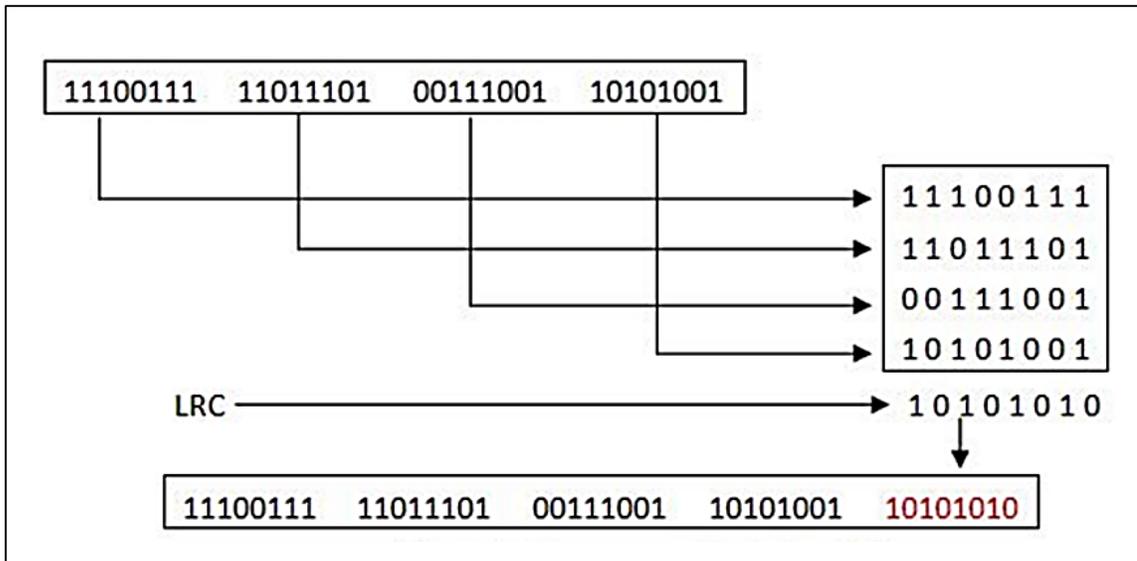


Figura 1.52 Chequeo LRC.

El chequeo *LRC* es bastante sencillo, sin embargo, no es muy confiable porque es posible que en la operación *XOR* múltiples errores se cancelen los unos a los otros y el chequeo no podrá detectar cuando los bytes han sido transpuestos dentro de un bloque de datos. El procedimiento *LRC* es principalmente utilizado para chequear de manera rápida pequeños bloques de datos.

1.3.6.2.3.3. Procedimiento “CRC”

El “*chequeo de redundancia cíclica*” (**CRC**²⁵) fue originalmente empleado en discos duros y puede generar una suma comprobatoria que es lo suficientemente confiable para grandes cantidades de datos. El algoritmo es tan eficiente que es usado para comprobar errores en sistemas no inalámbricos. Este método aunque no puede corregir los errores, es muy confiable. Como su nombre lo sugiere, el cálculo del **CRC** es un procedimiento cíclico, por ello, el cálculo de un valor CRC incorpora el valor CRC del byte de datos a ser calculado y los valores CRC de todos los bytes de datos previos. Cada byte individual en el bloque de datos es chequeado para obtener el valor CRC para el bloque de datos como un todo.

²⁵ “Cyclic Redundancy Check”.

Matemáticamente hablando, el procedimiento CRC es calculado por la división de un polinomio usando un generador polinomial. El CRC es el valor restante obtenido de esta división. Para ilustrar esta operación hemos calculado un CRC de 4bits para un bloque de datos. El primer byte del bloque de datos es $0x7F$, el generador polinomial es x^4+x+1 , lo cual equivale a 10011 .

Para calcular el CRC de 4bits primero movemos el byte de datos 4 posiciones hacia la izquierda (serian 8 posiciones para el CRC de 8bits). Las 4 posiciones que se liberan son ocupadas por el valor de inicio del cálculo del CRC. En el ejemplo esto es $0x00$. Luego, el generador polinomial y el byte de datos son ahora pasados por una compuerta XOR de manera repetida de acuerdo con la siguiente regla:

El valor más alto de bit del byte de datos es pasado por una compuerta XOR con el generador polinomial. Los ceros iniciales del resultado intermedio son borrados y llenados desde la derecha con posiciones del byte de datos o del valor de inicio con la finalidad de aplicar una nueva compuerta XOR con el generador polinomial. Esta operación es repetida hasta que queda un residuo de 4 posiciones. Este residuo es el valor CRC para el byte de datos.

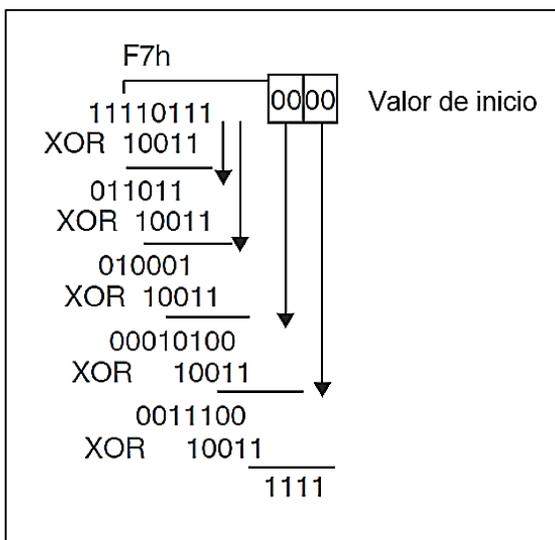
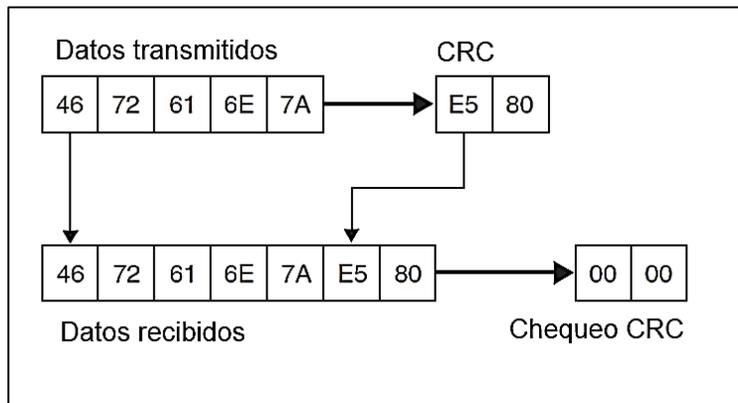


Figura 1.53 Chequeo CRC.

Para calcular el valor CRC del bloque completo, se usa al principio del subsecuente byte de datos el valor CRC del byte que precede. Si el valor CRC que se ha calculado es adjuntado al final del bloque de datos y se realiza el cálculo de un nuevo CRC entonces el nuevo valor CRC obtenido será cero. Esta característica particular del algoritmo CRC es explotada para detectar errores en las transmisiones seriales de datos. Cuando un bloque de datos es transmitido, el valor CRC de los datos es calculado dentro el transmisor y este valor es adjuntado al final del bloque de datos y transmitido con este, luego, el valor de los datos recibidos, incluyendo el byte CRC adjunto, son

calculados en el receptor. El resultado es siempre cero, a menos que haya errores de transmisión en el bloque recibido. El chequeo de cero es un método sencillo de analizar la suma de comprobación y evita el costoso proceso de comparar comprobaciones. Sin embargo, es necesario asegurar que ambos cálculos comienzan por el mismo valor inicial como muestra la **Figura 1.53**. La gran ventaja del CRC es la confiabilidad que se tiene de este método al reconocer errores con una pequeña cantidad de operaciones numéricas aun cuando hay muchos errores presentes. Un CRC de 16 bits es adecuado para para chequear la integridad de datos de bloques de hasta 4 kbytes de largo, más allá de este valor el desempeño decae dramáticamente. Los bloques de información en los sistemas RFID pasivos suelen ser más pequeños que 4 kbytes, por lo cual un CRC de 12 bits o de 8 bits puede ser usado en lugar de uno de 16 bits si se considera necesario. La **Tabla 1.8** muestra los polinomios correspondientes para algunos CRC.

Figura 1.54
Resultado del
Chequeo CRC.



CRC	Generador polinomial
CRC-8 generador polinomial	$X^8+X^4+X^3+X^2+1$
CRC-16 GP controlador de disco	$X^{16}+X^{15}+X^2+1$
CRC-16 CCITT generador polinomial	$X^{16}+X^{12}+X^5+1$

Tabla 1.8 Ejemplo de diferentes generadores polinomiales.

1.3.6.3. Métodos anticolisión

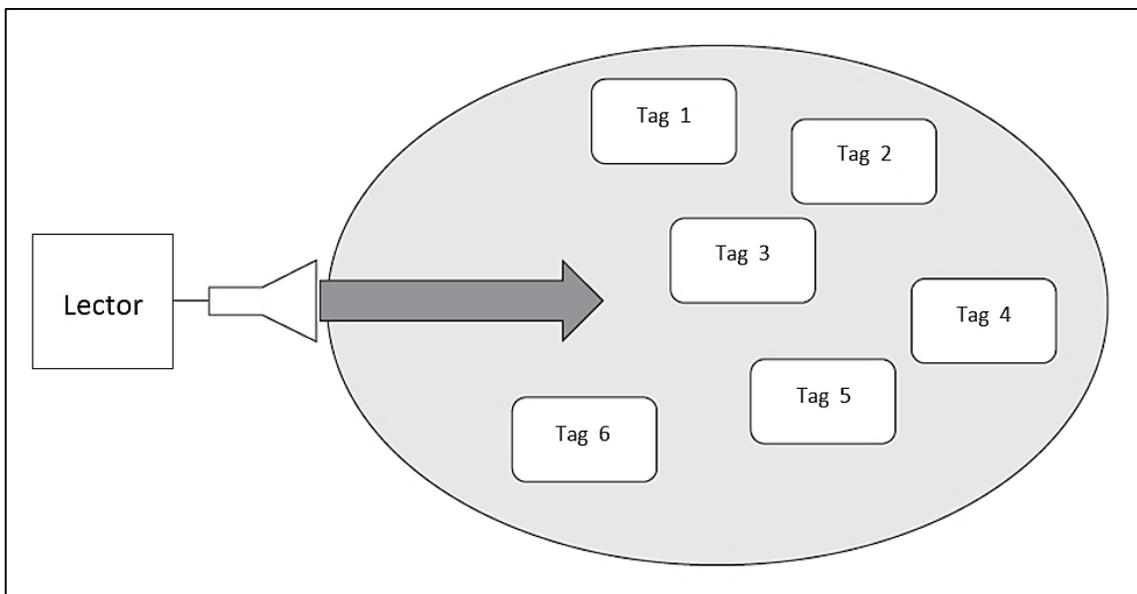


Figura 1.55 La imagen muestra un posible fenómeno de colisión RFID.

La colisión es una de las debilidades de los sistemas RFID. Pero, ¿Qué es la colisión en el sistema RFID?, la colisión implica una situación cuando múltiples transpondedores están presentes en la zona de interrogación de un lector al mismo tiempo (Ver **Figura 1.55**). Esto presenta un problema para el sistema RFID ya que si existe suficiente energía

más de un transpondedor responderá al mismo tiempo y lo que el transceptor recibirá será la sumatoria de todas las señales enviadas y probablemente no podrá decodificar ninguna. La anticolisión supone algún método de integridad de información aplicado al sistema RFID para evitar el problema de colisión. El presente trabajo monográfico no se enfocará en el fenómeno de colisión ni en sus posibles soluciones ya que es un tema muy debatido, inclusive hoy en día. Además, existe infinidad de información que no cabría completa en el presente documento. Por otro lado, las condiciones de operación del lector a diseñarse no suponen problemas de colisión severos ya que las lecturas del ganado se realizan la mayor parte del tiempo de manera secuencial. Nos limitaremos a mencionar las posibles soluciones que se han desarrollado hasta hoy en día, en caso que alguien desee abordarlas en otro trabajo futuro. Los métodos más comunes utilizados para combatir la colisión RFID son:

- SDMA (“*Space Division Multiple Access*”).
- FDMA (“*Frequency Domain Multiple Access*”).
- TDMA (“*Time Domain Multiple Access*”).
- CDMA (“*Code Division Multiple Access*”).

2. Estándar RFID ISO 11784/85 para la identificación animal

Como ya hemos mencionado anteriormente, existe un estándar internacional ya definido para la radio identificación de animales y en este capítulo se tratará acerca de ese estándar. Asimismo, existen otros muchos estándares orientados a diferentes aplicaciones RFID, sin embargo nos enfocaremos en el estándar de identificación animal ya que la información de los demás estándares no cabría en este documento. Los documentos ISO de nuestro interés son los siguientes:

- **ISO/IEC 11784:** Estructura del código de la radio identificación de animales.
- **ISO/IEC 11785:** Conceptos técnicos de la radio identificación de animales.
- **ISO/IEC 14223:** Transpondedores avanzados utilizados en la radio identificación de animales. *Parte 1:* Interfaz aérea, *Parte 2:* Códigos y estructura de comandos y *Parte 3:* Aplicaciones.
- **ISO/IEC 24631:** Muestra como evaluar productos de ID animal para comprobar el cumplimiento del estándar ISO 11784/85.
- **ISO/IES 3166-1:** Muestra la codificación internacional que debe estar presente en el número identificador de los transpondedores.

En los próximos epígrafes explicaremos detalladamente cada uno de estos estándares y desarrollaremos las partes técnicas de los documentos ya que esto ayudará a delimitar la tecnología necesaria para el diseño del lector. Existen dos topologías de transpondedores para la identificación animal, estas son: **FDX-B** (“*Full Duplex-B*”) y **HDX** (“*Half Duplex*”), en cada apartado nos enfocaremos en contrastar ambas tecnologías.

2.1. ISO/IEC 11784 (estructura del código)

Los códigos de identificación para animales tienen un total de **64 bits** (8 bytes). La **Tabla 2.1** muestra el significado de cada bit. El código nacional de identificación debería ser manejado por cada país [9]. Asimismo, los bits del 27 al 64 pueden ser utilizados para distinguir entre diferentes tipos de animales, razas, región de origen dentro del país, criadores etc. Esta última parte no se especifica en el estándar por lo cual es libre.

Numero de bit	Información	Descripción
1	Animal (1) / Aplicación no animal (0).	Especifica cuando el transpondedor es usado para identificación animal o para otros propósitos.
2-15	Reservado.	Reservado para futuras aplicaciones.
16	Sigue bloque de datos (1) / No sigue bloque de datos (0).	Especifica si será transmitido un bloque adicional de datos después del código de identificación.
17-26	Código del país según ISO/IEC 3166.	Especifica el país del transpondedor, 999 significa un transpondedor de prueba.
27-64	Código nacional de identificación.	Código único del país.

Tabla 2.1 Código de identificación para animales.

Ahora bien, estos 64 bits anteriores representan el código que se maneja de cada animal, sin embargo no muestra la información completa que se transmite desde el transpondedor hacia el tranceptor. A continuación se detallan los bloques de información de manera completa tanto para FDX-B como para HDX.

2.1.1. Estructura completa del código para FDX-B (“Full-duplex-B”)

El protocolo FDX-B tiene un total de 128 bits de datos [9] como muestra la **Tabla 2.2**, la estructura de estos datos consiste en:

- 11 bits de cabecera (10000000000) LSB primero.
- 64 bits de identificación con 8 bits de control (**Tabla 2.1**).
- 16 bits de CRC con 2 bits de control.
- 24 bits de datos extendidos con 3 bits de control.

Los bits de control son simples bits de lógica “1” que aparecen cada 8 bits y son usados para diferenciar los 11 bits de cabecera del resto de datos. Los 11 bits de datos son transmitidos para indicar el inicio del bloque de datos. Esto será seguido por 38 bits del código de identificación del animal. El código de identificación del animal es un número decimal de 12 dígitos para cada animal. Luego prosigue el código de 10 bits del país el cual equivale a un número decimal de 3 dígitos. En total el número de dígitos decimales del transpondedor son 15, tal como muestra la **Figura 2.1**.

MSB									LSB	Descripción
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Patrón cabecera de 11 bits.
Bits de control que aparecen cada 8 bits para no enviar de nuevo la cabecera.	1	1	1	1	1	0	0	0	0	38 bits del código nacional (12 dígitos decimales).
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	1	1	1	1	0	0	1	10 bits código del país (3 dígitos decimales).
	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1 bit indicador de bloques de datos.
	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1 bit indicador de aplicación.
	1	1	1	0	1	0	1	1	0	16 bit del “checksum” (CRC).
	1	0	1	0	1	1	1	0	1	24 bits de datos extra (si están presentes).
	1	0	1	0	1	0	1	1	0	
1	0	0	1	1	0	1	0	0		
1	0	0	0	1	0	0	1	0		

Tabla 2.2 Ejemplo de la estructura del código FDX-B



Figura 2.1 Transpondedor FDX-B para ganado fabricado por Allflex™. En su impreso visual se puede apreciar el código de 15 dígitos que se mencionó anteriormente. Este código está almacenado en forma de bits en el chip RFID interno.

2.1.2. Estructura completa del código para HDX (“Half-duplex”)

La estructura de los transpondedores *HDX* está basada en 112 bits de datos [9]. La estructura de estos datos consiste en:

- 8 bits de cabecera (01111110) LSB primero.
- 64 bits de identificación.
- 16 bits de CRC.
- 24 bits de datos extendidos.

La **Tabla 2.3** muestra la estructura de estos datos. Al igual que en *FDX-B*, el bit menos significativo se transmite primero. El patrón de 8 bits de cabecera es transmitido para indicar el inicio del bloque de datos. Luego, le siguen los 38 bits del código de identificación que es el código de identidad animal, este es un código de 12 dígitos único. Después prosiguen 10 bits del código del país el cual equivale a un decimal de 3 dígitos. También, se envía el bit indicador del estado de los datos, un “1” significa que el transpondedor contiene 24 bits adicionales de datos, de otro modo, se envía un “0”. Inmediatamente se envía el bit “1” que indica si es un transpondedor animal o el bit “0” si no es así. Por último, se incluye el CRC calculado de los 64 bits de datos. Si existía un bloque de datos definido anteriormente por el bit de datos, entonces se envía al final de toda la transmisión, si no existe entonces se envía “0000000”. La **Figura 2.2** muestra el código de 15 dígitos impreso en un transpondedor HDX.

MSB							LSB	Descripción
0	1	1	1	1	1	1	0	Patrón cabecera de 8 bits.
1	1	1	1	0	0	0	0	38 bits del código nacional (12 dígitos decimales).
0	0	0	0	0	0	1	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	0	0	1	10 bits código del país (3 dígitos decimales).
-	-	-	-	-	-	-	1	1 bit indicador de bloques de datos.
1	-	-	-	-	-	-	-	1 bit indicador de si es una aplicación animal o no.
1	1	0	1	0	1	1	0	16 bit del “checksum” (CRC).
0	1	0	1	1	1	0	1	
0	1	0	1	0	1	1	0	24 bits de datos extra (si están presentes).
0	0	1	1	0	1	0	0	
0	0	0	1	0	0	1	0	
0	0	0	1	0	0	1	0	

Tabla 2.3 Ejemplo de la estructura del código HDX.

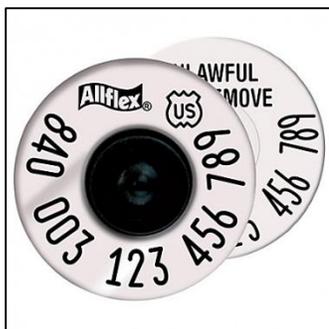


Figura 2.2 Transpondedor *HDX* para ganado fabricado por *Allflex™*. En su impreso visual se puede apreciar el código de 15 dígitos que se mencionó anteriormente. Este código está almacenado en forma de bits en el chip RFID interno.

2.2.1. Detalles del sistema FDX-B

Los transpondedores FDX, los cuales extraen su fuente de alimentación del campo de activación, empiezan a transmitir la información que almacenan inmediatamente. Para esto se utiliza el procedimiento de “*modulación de carga*” sin sub-portadora. Además, los datos son representados en un código *DBP* (“*Diferencial bi-fase*”). La tasa de transferencia se extrae de dividir la frecuencia del lector por 32. De esa manera, con la frecuencia de la portadora a 134.2kHz, la velocidad de transmisión sería: *4194 bits/s* [11]. Por otro lado, el cálculo anterior también nos indica que por cada bit transmitido se consumen 32 ciclos RF del campo de activación que opera a 134.2kHz. La transmisión de los 128 bits de datos de la estructura en la **Tabla 2.2** toma alrededor de 30.5 ms a la razón de transferencia mencionada anteriormente. La **Figura 2.5** muestra de manera gráfica lo que ya se había mostrado en la **Tabla 2.2**.

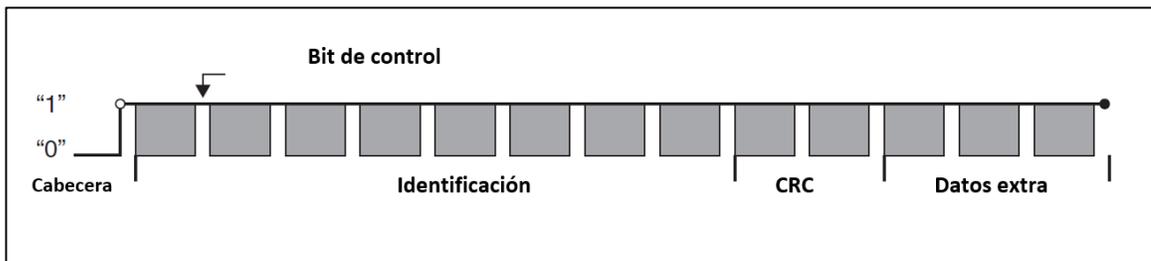


Figura 2.5 Cadena de datos del código FDX-B.

2.2.2. Detalles del sistema HDX

Después de cada 50 ms, el campo de activación es apagado por 3 ms. Un transpondedor secuencial o HDX que ha sido previamente cargado con la energía del campo de activación comienza a transmitir los datos de identificación en aproximadamente 1-2 ms después que el campo de activación ha sido apagado. El método de modulación utilizado por el transpondedor es 2-FSK. La codificación de los bits es *NRZ* (comparable con RS232 de una PC). Un “0” lógico corresponde a la frecuencia básica de 134.2kHz y un “1” lógico corresponde a 124.2kHz.

La razón de transferencia se obtiene al dividir la frecuencia de transmisión por 16. La tasa de transferencia de bits varía entre 8,387 bits/s para un “0” lógico y 7762 bits/s para un “1” lógico, dependiendo del desplazamiento en frecuencia. El telegrama de datos es como muestra la **Tabla 2.3**. Difiere con FDX en que no se insertan bits de control y la cabecera es diferente. La transmisión total de los 112 bits de datos toma un máximo de 14.5 ms a la velocidad de transmisión de un “1” lógico. Cabe señalar que el estándar HDX es propiedad de **Texas Instruments**.

2.3. ISO/IEC 14223 (transpondedores avanzados)

Este estándar define la interfaz RF y la estructura de los datos de los llamados transpondedores avanzados. Este estándar es como una actualización del ISO/IEC 11784 (1994) e ISO/IEC 11785 (1996) ya que representa un desarrollo más profundo del estándar de identificación animal, pero sin invalidar lo ya detallado en el ISO/IEC 11784/85. Además de se incluyen mejoras hechas en los transpondedores orientados a

la ID animal. Por ejemplo, en el *ISO/IEC 11784/85* se declaran transpondedores que pueden estar permanentemente programados para transmitir un código de identificación, sin embargo en el *ISO/IEC 14223* para transpondedores avanzados, existe la posibilidad de encontrar más espacios de memoria. Como resultado se pueden leer, escribir y proteger datos en un mismo transpondedor. El estándar consiste en tres partes:

- *Parte 1:* Interfaz de aérea.
- *Parte 2:* Código y estructura de los comandos.
- *Parte 3:* Aplicaciones.

A continuación detallaremos cada una de estas.

2.3.1. Parte 1: Interfaz aérea

Como un desarrollo más amplio del *ISO/IEC 11785* el *ISO/IEC 14223* es compatible con su predecesor y por ello está conectado con este. Eso quiere decir que un transpondedor avanzado puede ser identificado por un lector *ISO/IEC 11785* y un transpondedor común es compatible con un lector avanzado. Si un transpondedor avanzado entra en el campo de interrogación de un lector *ISO/IEC 14223* entonces lo primero de todo será la lectura del código según la estructura del *ISO/IEC 11784* y se hará de acuerdo con el protocolo del *ISO/IEC 11785*. Para facilitar la diferenciación entre un transpondedor avanzado y un transpondedor *ISO/IEC 11785* se establece el bit 16 del flujo de datos con un valor lógico "1" para indicar que se trata de un transpondedor avanzado [11] (Ver **Tabla 2.1**). Luego por medio de un procedimiento definido, el transpondedor es conmutado en el modo avanzado en el cual ciertos comandos pueden ser enviados al transpondedor. Los transpondedores avanzados pueden ser subdivididos en "*Full-duplex-B*" ("*FDX-B*") o en "*Half-duplex-Advanced*" ("*HDX-ADV*").

2.3.1.1. FDX-B

Si un transpondedor avanzado del tipo *FDX-B* entra en el campo de interrogación de un lector, entonces el código de identificación definido en *ISO/IEC 11785* es transmitido continuamente hacia el lector. El lector reconoce si es un transpondedor *FDX-B* avanzado por el décimo-sexto bit enviado [11]. Con la finalidad de cambiar el transpondedor al modo

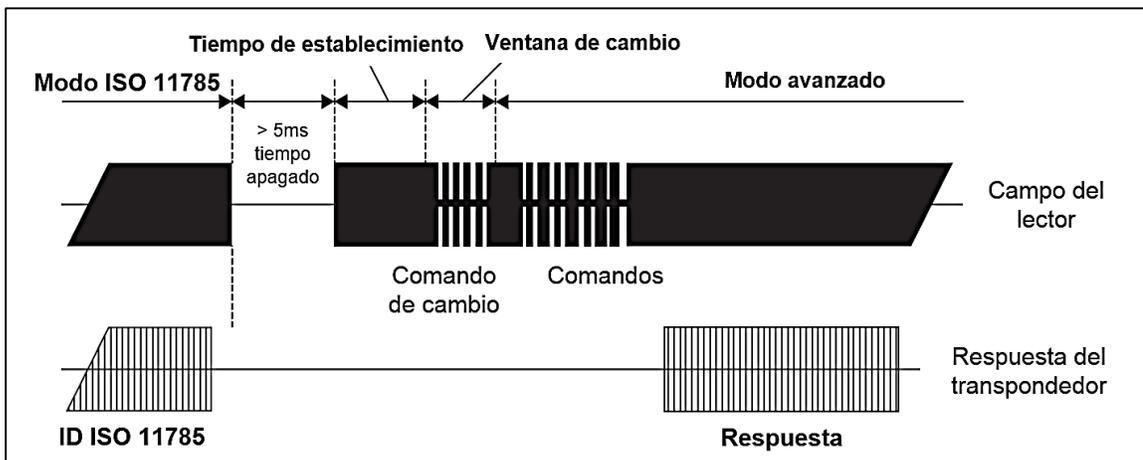


Figura 2.6 Diagrama temporal del modo avanzado para FDX-B.

avanzado el campo del lector debe ser apagado por completo durante 5 ms. Si el campo de activación es encendido de nuevo, el transpondedor será cambiado al modo avanzado dentro de una ventana definida de tiempo por medio de la transmisión de un comando de 5 bits. Luego de estos 5 bits, el transpondedor esperará más comandos por parte del lector. La **Figura 2.6** muestra detalles del modo avanzado y la **Tabla 2.4** muestra detalles del protocolo de comunicación.

Parámetro	Modo de conmutación	Modo avanzado
Procedimiento de modulación	ASK 90-100%	ASK 90-100%
Codificación	Longitud de pulsos binarios	PIE ("Pulse interval encoding")
Razón de baudios	6000 bits/s (LSB primero)	6000 bits/s (LSB primero)
Código para cambio de modo	Patrón de 5 bits (00011)	-
Tiempo para cambio de modo	Tiempo de establecimiento del transpondedor: $312.5/f_c = 2.33ms$ Ventana de cambio: $232.5/f_c = 1.73ms$	

Tabla 2.4 Parámetros de transmisión del modo avanzado para FDX-B.

2.3.1.2. HDX-ADV

Un transpondedor *HDX* carga su capacitor interno durante el periodo de 50 ms que el campo de activación esta encendido. Dentro de los 3ms de pausa el transpondedor comienza a transmitir los 64 bits del código de identificación como se define en el *ISO/IEC 11785*. La duración de la pausa es extendida a un máximo de 20ms para facilitar la transferencia completa del bloque de datos. Un transpondedor "*HDX avanzado*" (*HDX-ADV*) es reconocido configurando el bit 16 del bloque de datos igual que en FDX-B. Un transpondedor secuencial *HDX-ADV* puede ser conmutado a un ciclo de interrogación en modo avanzado al enviar un comando en la segunda mitad del periodo de carga de 50ms

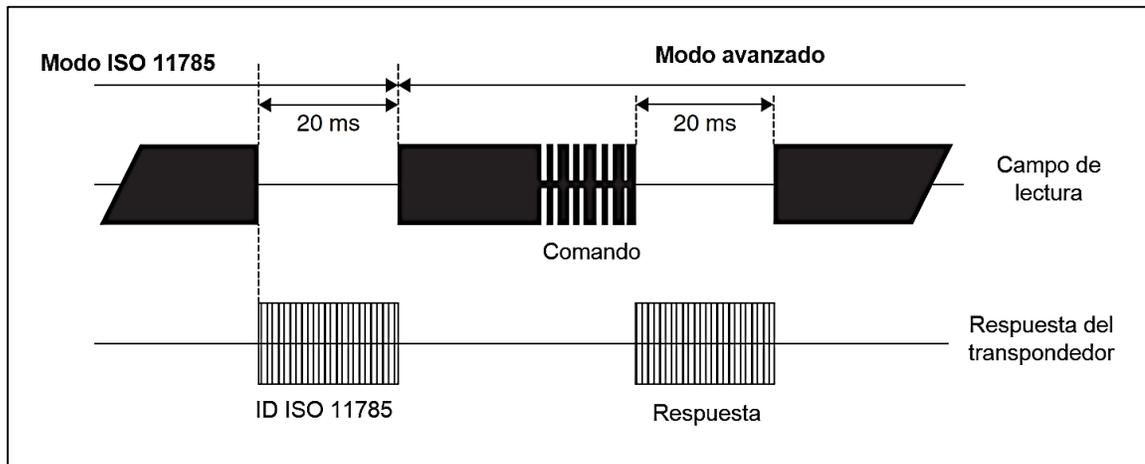


Figura 2.7 Diagrama temporal del modo avanzado para HDX

mientras el campo de activación esta encendido. El transpondedor ejecuta este comando inmediatamente y envía su respuesta al lector en la siguiente pausa. Si no se envía ningún comando en el tiempo de activación entonces el transpondedor responderá normalmente en la siguiente pausa con su código identificador según el *ISO/IEC 11785*. La **Figura 2.7** muestra detalles del modo avanzado para *HDX* y la **Tabla 2.5** detalla el modo de comunicación para el *enlace descendente*²⁷.

Parámetro	Valor
Modulación	ASK 90-100%
Codificación	PWM
Razón de baudios (enlace descendente)	500 bits/s

Tabla 2.5 Parámetros de transmisión del modo avanzado para *HDX*

2.3.2. Parte 2: Código y estructura de comandos

Esta parte del estándar describe el protocolo de transmisión entre transpondedor y lector, la organización de memoria del transpondedor y los comandos que deben soportar los transpondedores avanzados. La estructura de un entorno de comandos es idéntica para todos los tipos de transpondedores y se muestra en la **Figura 2.8**. El campo de comandos de 5 bits permite 32 diferentes comandos a ser definidos. Los códigos de comandos del 00-19 ya están definidos en el estándar y son soportados por todos los transpondedores avanzados. Por otro lado, los comandos desde el 20-31 son libremente definidos por el fabricante de los chips RFID y eso significa que pueden estar dedicados a ejecutar un amplio rango de funciones.

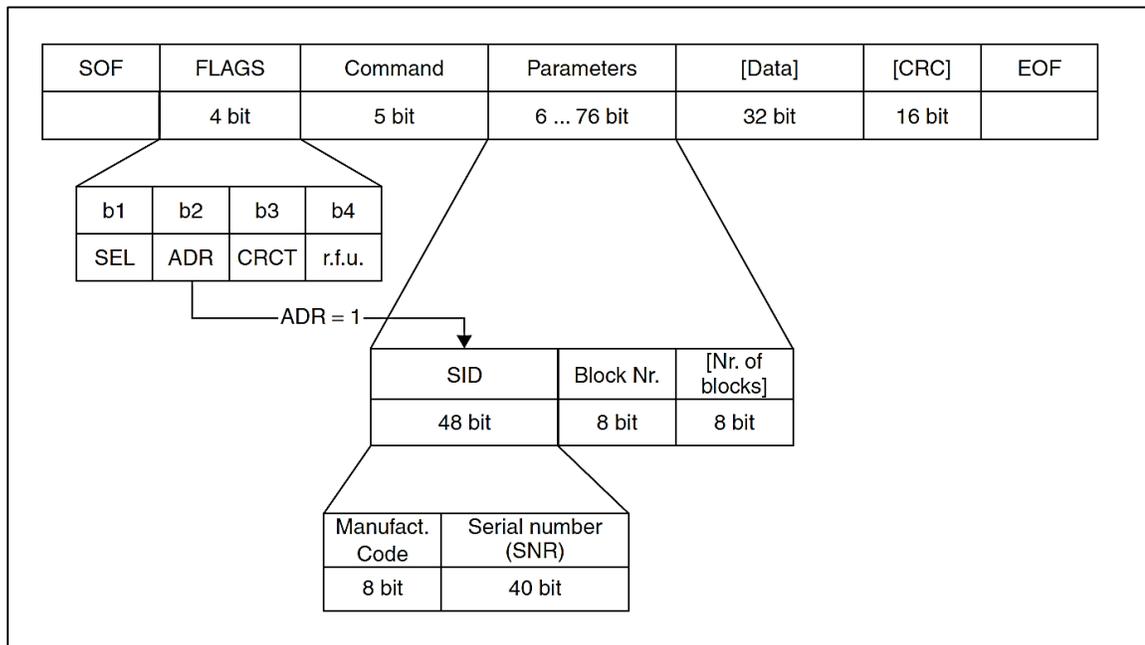
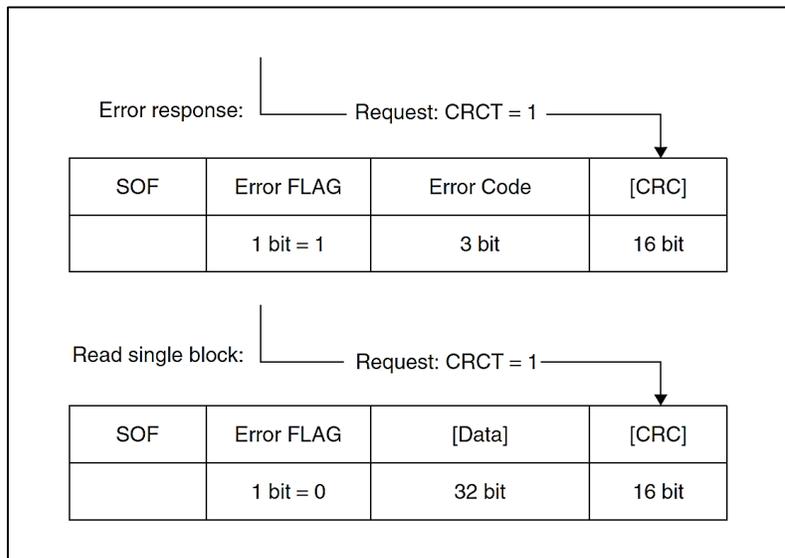


Figura 2.8 Estructura de un entorno de comandos para la transmisión descendente de datos.

²⁷ **Enlace descendente** ("Down-link"): Comunicación desde el lector (transceptor) hacia el transpondedor; **Enlace ascendente** ("Up-link"): comunicación desde el transpondedor hacia el lector (transceptor).

Figura 2.9 Estructura de un entorno de respuesta *ISO/IEC14223*. Transmisión de datos desde el transpondedor hacia el lector.



Para el caso de los comandos de lectura y escritura, los parámetros contienen los bloques de dirección del bloque de memoria, opcionalmente, el número de bloques de memoria para ser procesados por este comando. Asimismo, opcionalmente, ($ADR=1$) el UID previamente determinado para direccionar a ciertos transpondedores. Las cuatro banderas en el entorno de comandos facilitan el control de algunas opciones adicionales, como un *CRC* opcional al final del entorno de respuesta ($CRCT=1$), el direccionamiento explícito de un transpondedor ($ADR=1$) mencionado arriba y acceder al transpondedor en un estado especial “seleccionado” ($SEL=1$). La estructura del entorno de respuestas se muestra en la **Figura 2.9**. Esta contiene una bandera que señala el estado de error del transpondedor hacia el lector (“bandera de error”). Los subsecuentes 3 bits del campo de estado contienen una interpretación más precisa del error que ha ocurrido. El conjunto de comandos y la estructura del protocolo para transpondedores avanzados se encuentran detallado en el *ISO/IEC 18000-2*.

2.3.3. Parte 3: Aplicaciones

La parte de aplicaciones de este estándar está relacionado con las posibles funciones que se les pueden dar a las características extra que incorporan los transpondedores avanzados del *ISO/IEC 14223*. No obstante, no se compró el documento del estándar sino que la investigación se basó en resúmenes y vistas previas, por lo cual esta parte no se desarrollará en el presente trabajo ya que fue imposible encontrarla.

2.4. ISO/IEC 24631

Todos los volúmenes de este estándar están dedicados a explicar las reglas a seguir para verificar la capacidad y calidad de los productos RFID orientados a la identificación animal. De tal manera que los productos cumplan con lo especificado en el estándar *ISO 11784/85*.

2.5. ISO/IES 3166-1



Figura 2.10 Transpondedor para ganado disponible en el país según ISO 11784/85 y respetando la numeración del ISO 3166

El ISO/IEC 3166-1 está dedicado a definir códigos para los nombres de los países y territorios dependientes. El nombre oficial de este estándar es: “Códigos para la representación de los nombres de los países y sus subdivisiones”. Este estándar es útil para la identificación animal ya que ayuda a complementar la estructura del código del ISO 11784/85. Si revisamos la **Tabla 2.1**, en la estructura del código para los transpondedores compatibles con el ISO 11784/85, existe un bloque de bits dedicado a definir el código del país al cual pertenece un animal. De tal forma que, el número que representa la nacionalidad del animal se define respetando el ISO/IEC 3166-1. El código correspondiente a Nicaragua en este estándar en letras es **NI** y numéricamente

se representa con el decimal **558**. Podemos verificar esto en el transpondedor para ganado de la **Figura 2.10** donde se usa el “**NI**” en la parte impresa visual y en la parte impresa numérica sobre el arete electrónico se puede observar el equivalente al **NI** que es un 558. La **Tabla 2.6** muestra las subdivisiones por departamento asignadas a Nicaragua mediante el ISO 3166.

Código	Nombre de subdivisión	Categoría
NI-BO	Boaco	Departamento
NI-CA	Carazo	Departamento
NI-CI	Chinandega	Departamento
NI-CO	Chontales	Departamento
NI-ES	Estelí	Departamento
NI-GR	Granada	Departamento
NI-JI	Jinotega	Departamento
NI-LE	León	Departamento
NI-MD	Madriz	Departamento
NI-MN	Managua	Departamento
NI-MS	Masaya	Departamento
NI-MT	Matagalpa	Departamento
NI-NS	Nueva Segovia	Departamento
NI-SJ	Rio San Juan	Departamento
NI-RI	Rivas	Departamento
NI-AN	Atlántico Norte	Región autónoma
NI-AS	Atlántico Sur	Región autónoma

Tabla 2.6 Subdivisiones departamentales según ISO 3166.

3. Lectores RFID ISO 11784/11785 en el mercado

Este capítulo está destinado a hacer un análisis de mercado relacionado con la radio identificación animal con la finalidad de recolectar información de los productos que existen a nivel internacional y de esa manera extraer requerimientos para nuestro lector a diseñar. Anteriormente ya hablamos del estándar *ISO/IEC 11784/85*, no obstante, el estándar no define parámetros como: los costos de los productos, marcas o funcionalidades adicionales, por ello, en este capítulo analizaremos esos aspectos. Igualmente, hemos clasificado los productos dedicados a la identificación animal en dos categorías: **diseños modulares** (*producto prefabricado*) y **diseños completos** (*producto final*), a continuación detallaremos cada uno de estos.

3.1. Diseños modulares (producto prefabricado)

Existen muy pocos diseños modulares de lectores en el mercado orientados a la radio identificación animal, esto se debe principalmente a que es una tecnología que tiene poca demanda en su forma modular en comparación con otros productos electrónicos del tipo DIY²⁸. Sin embargo, logramos aislar dos casos de fabricantes a nivel modular de este tipo de tecnología, estos son: “*ID-innovations*” y “*Priority 1 Design*”.

3.1.1. *ID-innovations*



Figura 3.1 Logo de “*ID-Innovations*” (www.id-innovations.com)

“*ID-innovations*” es una empresa que opera en América, Asia y Europa. Son expertos en la fabricación de productos RFID. Entre su portafolio de productos, los más populares son los módulos lectores RFID de la familia “*ID-xxLA*”. Estos son módulos de lectura para identificación de transpondedores que operan a 125kHz. La versión de módulos de 125kHz no es compatible con el estándar ISO 11784/85, no obstante, existe una familia bajo el código: “*ID-xxLA-ISO*” la cual si es compatible con el estándar *ISO 11784/85*. Un dato importante de esta familia “*ID-xxLA-ISO*” es que la hoja de datos indica que solo es compatible con el protocolo FDX-B por lo cual no podrán ser reconocidos los transpondedores tipo HDX. El costo de la familia *ID-xxLA-ISO* es desconocido, pero puede deducirse a partir del precio de la familia *ID-xxLA* que es fácilmente adquirible en *Sparkfun Electronics* (<https://www.sparkfun.com>). La **Figura 3.2** muestra la familia *ID-xxLA* que consta del *ID-3LA*, *ID-12LA* e *ID-20LA*. Para más detalles referirse al Anexo II-I.

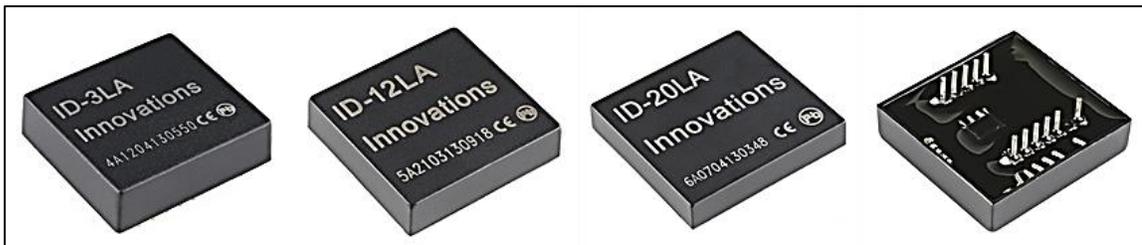


Figura 3.2 Familia de módulos lectores RFID *ID-xxLA* fabricada por “*ID-Innovations*”.

²⁸ DIY= “Do it yourself” (“hazlo tu mismo”).

3.1.2. Priority 1 Design



Figura 3.3 Presentación de “Priority 1 Design” (www.priority1design.com.au)

“Priority 1 Design” es una empresa australiana establecida en 1993. Se dedican a la manufactura de electrónica para aplicaciones industriales y comerciales. En su portafolio de productos los más populares son los módulos RFID compatibles con el ISO 11784/85. Es el único sitio conocido que comercializa productos modulares que son 100% compatibles con los

estándares *FDX-B* y *HDX*. Asimismo, las características que “Priority 1 Design” ofrece en sus módulos son variadas, inclusive se ofrece una aplicación para computadora de manera gratuita que permite agregarle más funcionalidades a los módulos adquiridos. A continuación, mencionaremos los módulos más atractivos que “Priority 1 Design” ofrece, no los analizaremos todos porque son demasiados y algunas funcionalidades no son interés en nuestro diseño.

3.1.2.1. RFIDRW-E-TTL

El módulo “*RFIDRW-E-TTL*” es un lector RFID compatible con las etiquetas *FDX-B* y *HDX* descritas en el *ISO 11784/85*. Además, es capaz de comunicarse con otros transpondedores de tipo *LF*. Las salidas lógicas TTL que posee están adecuadas para nivel de 5V y para nivel de 3.3V. Además posee una salida regulada de 3.3V que puede ser utilizada para alimentar periféricos externos u otros módulos que operen con ese voltaje. El módulo también incorpora una salida para activar un LED o un buzzer de lectura válida como se muestra en la **Figura 3.5**. Sus parámetros de operación principales extraídos de la hoja de datos son los siguientes:

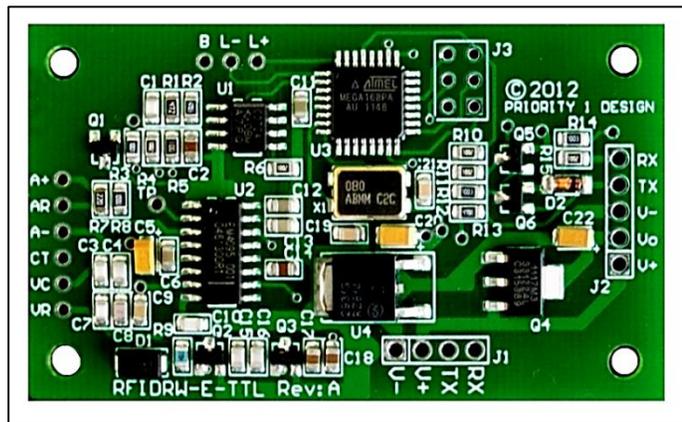


Figura 3.4 Vista superior del módulo *RFIDRW-E-TTL* fabricado por “Priority 1 Design”.

- Lectura de tarjetas EM4100.
- Compatible con transpondedores de lectura y escritura²⁹ Atmel T55xx.
- Compatible con *ISO 11784/85*.
- Transpondedores TIRIS de 64 bit y multi-página.
- R/W para transpondedores EM4205 y EM4305.
- Salida para controlar LED y buzzer.
- Entrada de alimentación de 5.5V a 15V.
- Dimensiones: 66mmx37mm.

²⁹ “R/W”= lectura y escritura.

El precio de este módulo lector es de **USD 30.24**, lo cual al día de la redacción de este documento equivale aproximadamente a **C\$873.03**³⁰. Para más detalles acerca de este lector, revisar el *Anexo II-II-A*.

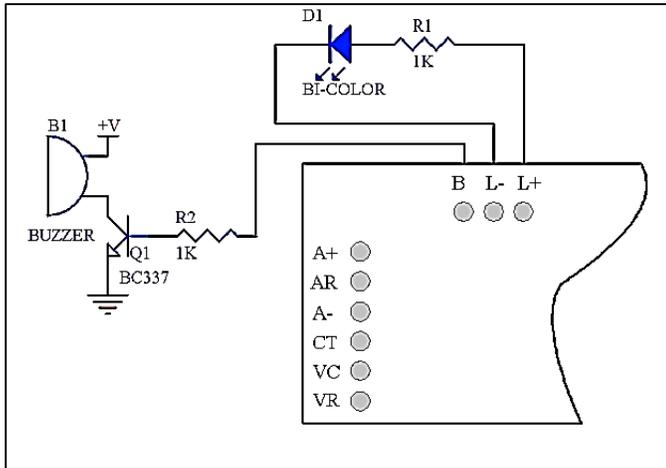


Figura 3.5 Salidas lógicas para Buzzer o LED de lectura válida.

3.1.2.2. RFIDRW-E-USB

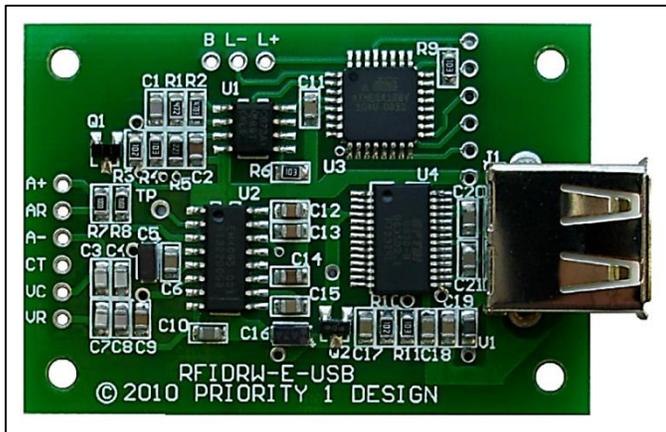


Figura 3.6 Vista superior del módulo *RFIDRW-E-USB* fabricado por "Priority 1 Design".

El módulo "*RFIDRW-E-USB*" está diseñado para ser compatible con el estándar *ISO 11784/85* al igual que el módulo *RFIDRW-E-TTL* mostrado anteriormente. Lo que hace a este módulo diferente al *RFIDRW-E-TTL* es que utiliza una interfaz USB basada en un controlador FTDI. Esto permite que los datos de identificación animal puedan ser escritos en un ordenador mediante el puerto USB utilizando la aplicación gratuita de "Priority 1 Design" o cualquier otro programa de control de datos como "Microsoft Excel". Cabe

señalar que, las funcionalidades de LED y buzzer vistas en el módulo *RFIDRW-E-TTL* se mantienen en el módulo *RFIDRW-E-USB*. Usar este módulo dependerá de la aplicación que se desee desarrollar, ya que se eliminan las salidas TTL y si es necesario utilizar un microcontrolador para generar funcionalidades extra entonces no es adecuado usarlo. Sin embargo, si se desea una interfaz sencilla que se conecte con una computadora entonces este módulo es el adecuado. Sus funcionalidades son similares a las del módulo *RFIDRW-E-TTL* y enumerándolas tenemos:

³⁰ Tipo de cambio **1 USD** (dólar americano) = **C\$ 28.87** (córdobas nicaragüenses).

- Lectura de tarjetas *EM4100*.
- Compatible con transpondedores de lectura y escritura Atmel T55xx.
- Compatible con ISO 11784/85.
- Transpondedores TIRIS de 64 bit y multi-página.
- R/W para transpondedores EM4205 y EM4305.
- Alimentación tomada del puerto USB (no necesita fuente de poder externa).
- Conexión directa con la PC.
- Salida para controlar LED y buzzer.
- Dimensiones: 53mmx37mm.

El precio de este módulo lector es de **USD 33.19**, lo cual al día de la redacción de este documento equivale aproximadamente a **C\$958.20**³¹. Para más detalles acerca de este lector, revisar el *Anexo II-II-B*.

3.1.2.3. RFIDLOG y RFIDLOG-AUX

El “*RFIDLOG*”, **Figura 3.7 (arriba)**, es un módulo lector RFID capaz de identificar los transpondedores FDX-B y HDX descritos en el estándar ISO 11784/85. La característica más importante de este módulo es que posee una interfaz para “*tarjeta SD*” y un reloj de tiempo real, lo cual le permite escanear códigos animales y guardarlos en *la tarjeta SD* con una etiqueta de tiempo para indicar la hora exacta de la lectura. Este módulo es ideal para aplicaciones de “*data logging*” donde se desea tener control de la presencia y movimientos de los animales. Además, puede añadirse el módulo “*RFIDLOG-AUX*”, **Figura 3.7 (abajo)**, de esa manera, se pueden monitorear transpondedores en dos lugares diferentes al mismo tiempo como muestra la **Figura 3.8** en la siguiente página. El modo de comunicación entre “*RFIDLOG*” y “*RFIDLOG-AUX*” es serial mediante un conector “*RJ11-4*”. La salida general de las grabaciones se obtiene de la unidad principal *RFIDLOG* mediante una comunicación RS232 la cual puede conectarse a un ordenador personal. También, el sistema puede ser adaptado para operar con un microcontrolador o tarjeta de desarrollo ayudado de un convertidor RS232 a TTL. El módulo *RFIDLOG* es completamente compatible con la aplicación gratuita para computadora que “*Priority 1 Design*” ofrece.

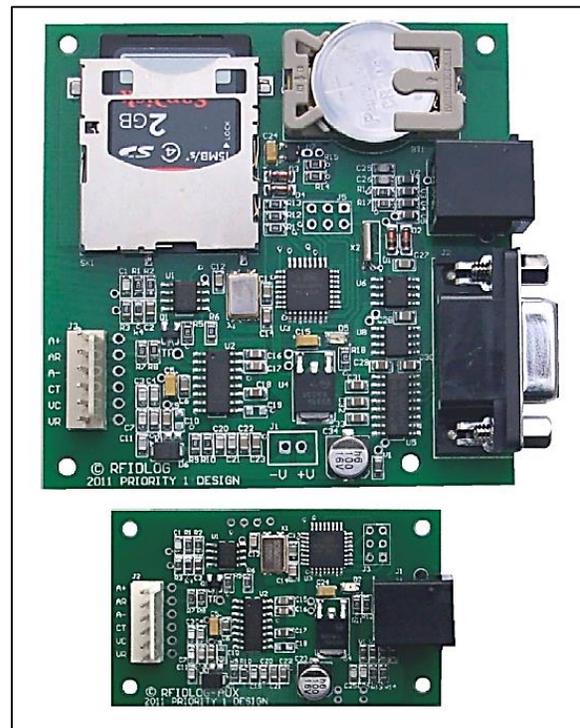


Figura 3.7 Vista superior de los módulos (arriba) “*RFIDLOG*”, (abajo) “*RFIDLOG-AUX*” fabricados por “*Priority 1 Design*”.

³¹ Tipo de cambio 1 USD (dólar americano) = C\$ 28.87 (córdobas nicaragüenses).

A continuación mostramos las características de estos dos módulos:

RFIDLOG:

- Compatible con los transpondedores FDX-B y HDX definidos en el ISO 11784/11785.
- Salida y entrada *RS232* mediante un conector *DB9*.
- Almacenamiento en memoria SD usando el sistema Fat32.
- Reloj y calendario para marcar los tiempos de lectura.
- Dimensiones: 74.3mmx74.3mm.
- Antena externa para mayor versatilidad.
- Rango de operación: 6.0V-13.2V.

RFIDLOG-AUX:

- Compatible con los transpondedores FDX-B y HDX definidos en el ISO 11784/11785.
- Comunicación serial con RFIDLOG mediante conector RJ11-4.
- Fuente de poder extraída de RFIDLOG mediante conector RJ11-4.
- Dimensiones: 46.1mmx38.1mm.
- Antena externa para mayor versatilidad.

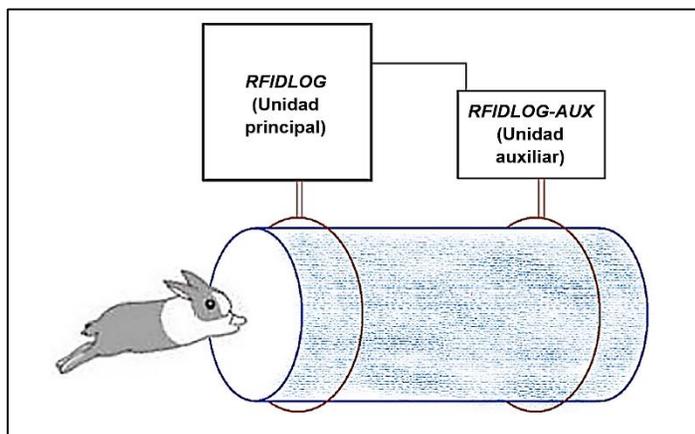


Figura 3.8 Monitoreo de animales en dos puntos distintos con ayuda de “RFIDLOG+RFIDLOG-AUX”.

El precio de estos módulos lectores es de **U\$D 53.10** para el *RFIDLOG* y **U\$D 30.97** para el *RFIDLOG-AUX*, esto nos da un total de **U\$D 84.07**, lo cual al día de la redacción de este documento equivale aproximadamente a **C\$ 2,427.10**³². Para más detalles acerca de estos lectores, revisar el *Anexo II-II-C*.

Para conocer más acerca de los módulos fabricados por “*Priority 1 Design*” y su conexión al circuito de antena revisar el *Anexo II-II-D* y *Anexo II-II-E*.

³² Tipo de cambio **1 U\$D** (dólar americano) = **C\$ 28.87** (córdobas nicaragüenses).

3.2. Diseños completos (producto final)

A diferencia de los diseños modulares los productos finales ya tiene incorporados de manera finita sus funcionalidades y parámetros de operación. En este apartado nos enfocaremos en estos productos finales que ya circulan en el mercado internacional de la identificación animal. Igualmente al final del epígrafe se discutirá una clasificación propuesta para estos productos basados en los datos obtenidos en la investigación. Entre las marcas más reconocidas a nivel mundial dedicadas a la fabricación de tecnología de identificación animal tenemos:

- *Allflex™*
- *Gallagher™*
- *Shearwell Data™*
- *Aleis™*
- *Tru-test™*
- *Datamars™*
- *Agrident™*
- *Baqueano™*
- *Faread™*
- *Y-TEX™*
- *I.D.ology™*
- *BioControl™*

Las siguientes tablas detallan los lectores más populares clasificándolos por marcas y los costos de estos según la cantidad de funcionalidades que poseen. Para conocer más de las marcas descritas y más datos acerca de cada lector verificar el **Anexo II-(III-XIV)**³³.

3.2.1. Allflex

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
<i>Allflex RS420</i>		P ³⁴	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • USB • RS232 • Bluetooth 	60cm	1,525.00	44,026.75
<i>Allflex RS340</i>		P	3,200	<ul style="list-style-type: none"> • USB • RS232 • Bluetooth 	39cm	1,430.95	41,311.53
<i>Allflex RS320</i>		P	3,200	<ul style="list-style-type: none"> • USB • RS232 • Bluetooth 	39cm	1,425.00	41,139.75

Tabla 3.1 Resumen de lectores marca *Allflex™*.

³³ Se muestran los costos unitarios de cada producto. Pueden variar con respecto a impuestos y tiempo.

³⁴ **P**=Portátil, **E**= Estacionario, **A**= Accesorio importante no incluido.

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
Allflex RS250		A	--	(Depende del host)	32cm	574.59	16,588.41
Allflex LPR		P	3,000	<ul style="list-style-type: none"> No display USB Bluetooth 	20cm	325.00	9,382.75
Allflex AFX-100		P	1,800	<ul style="list-style-type: none"> USB Bluetooth 	16cm	375.00	10,826.25
Allflex CR		P	0	<ul style="list-style-type: none"> No recargable 	10cm	257.40	7,431.14
Allflex EE-300-472 (panel reader)		E	--	<ul style="list-style-type: none"> USB Bluetooth RS232 	80cm	2,120.42	61,216.52

Tabla 3.1 Resumen de lectores marca Allflex™ (continuación...)

3.2.2. Gallagher

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
Gallagher HR4		P	100mil	<ul style="list-style-type: none"> Colector de datos USB RS232 Bluetooth Wi-Fi 	33cm	1,799.99	51,965.71

Tabla 3.2 Resumen de lectores marca Gallagher™.

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
Galalgher estacionario BR		E	200mil	<ul style="list-style-type: none"> Batería recargable USB RS232 Bluetooth 	80cm	2,799.99	80,835.71
Galalgher estacionario R		E	200mil	<ul style="list-style-type: none"> USB RS232 Bluetooth 	80cm	1,549.99	44,748.21
Galalgher antena 600mm		A	--	--	--	643.99	18,591.99
Galalgher antena 1300mm		A	--	--	--	998.99	28,840.84

Tabla 3.2 Resumen de lectores marca *Gallagher™* (continuación...)

3.2.3. Shearwell Data

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
Shearwell Data SDL40 OS		P	16mil	<ul style="list-style-type: none"> USB Bluetooth 	20cm	658.17	19,001.37
Shearwell Data SDL44 OS		P	16mil	<ul style="list-style-type: none"> USB Bluetooth 	20cm	723.99	20,901.59

Tabla 3.3 Resumen de lectores marca *Shearwell Data™*.

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
Shearwell Data Stock recorder		P	500mil	<ul style="list-style-type: none"> • Colector de datos • Windows • USB • Bluetooth • Wi-Fi 	20cm	2007.42	57,954.22
Shearwell Data SDL30		E	500mil	<ul style="list-style-type: none"> • USB • RS232 • Bluetooth 	80cm	1,316.34	38,002.74

Tabla 3.3 Resumen de lectores marca *Shearwell Data™* (continuación...)

3.2.4. ALEIS

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
ALEIS 7020 "The Stocky"		P	10mil	<ul style="list-style-type: none"> • RS232 • USB • Bluetooth 	50cm	1,750.00	50,522.50
ALEIS 8030		P	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Scroll • USB • RS232 • Bluetooth • 	50cm	2,000.00	57,740.00
ALEIS 9030		P	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado básico. • USB • RS232 • Bluetooth 	50cm	2,500.00	72,175.00

Tabla 3.4 Resumen de lectores marca *ALEIS™*.

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
ALEIS 8050		P	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Scroll • USB • RS232 • Bluetooth 	50cm	2,528.56	72,999.53
ALEIS 9060		P	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado QWERTY • USB • RS232 • Bluetooth 	50cm	2,744.14	79,223.32
ALEIS 8152 y 8152B		E	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable • Teclado básico. • USB • RS232 • Bluetooth 	--	3,716.43	107,293.33
ALEIS 9162 y 9162B		E	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable • Teclado QWERTY. • USB • RS232 • Bluetooth 	--	4,319.51	124,704.25
ALEIS 8164		E	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado básico. • USB • RS232 • Bluetooth 	--	3,299.44	95,254.83
ALEIS 9164		E	100mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado QWERTY. • USB • RS232 • Bluetooth 	--	3,743.45	108,073.40

Tabla 3.4 Resumen de lectores marca ALEIS™ (continuación...)

3.2.5. Tru-test

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
TRU-TEST XRS		P	20mil	<ul style="list-style-type: none"> • Botones • USB • RS232 • Bluetooth 	35cm	845.13	24,398.90
TRU-TEST XRS2		P	1millon	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado alfanumérico • USB • RS232 • Bluetooth 	35cm	1,614.15	46,600.51
TRU-TEST SRS2		P	250mil	<ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable • Teclado básico. • USB • RS232 • Bluetooth 	35cm	1,189.15	34,330.76
TRU-TEST ERS		P	4mil	<ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable • Teclado básico • USB • Bluetooth 	30cm	865.00	24,972.55
TRU-TEST XPR2 (panel pequeño)		E	20mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado básico • USB • RS232 • Bluetooth 	70cm	1,677.31	48,423.94
TRU-TEST XPR2 (panel grande)		E	20mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado básico • USB • RS232 • Bluetooth 	70cm	1,851.06	53,440.10

Tabla 3.5 Resumen de lectores marca TRU-TEST™.

3.2.6. DATAMARS

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
DATA MARS BLUES TICK		P	1millon	<ul style="list-style-type: none"> • Botones • USB • RS232 • Bluetooth 	35cm	759.00	21,912.33
DATA MARS GES3S		P	1millon	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado alfanumérico • USB • Bluetooth 	30cm	700.00	20,209.00
DATA MARS TracKin g-I		P	4mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado básico. • USB • Bluetooth 	30cm	216.66	6,254.97
DATA MARS F310		E	2millones	<ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable • Teclado básico • USB • RS232 • Bluetooth 	105cm	2,000.00	57,740.00
DATA MARS Stick Antenna		A	--	<ul style="list-style-type: none"> • Botones 	(Depende del host)	487.99	14,088.27
DATA MARS ISO MAX V		P	2mil	<ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable • Teclado básico • USB • Bluetooth 	25cm	899.00	25,954.13

Tabla 3.6 Resumen de lectores marca DATAMARS™.

3.2.7. Agrident

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						USD	C\$
Agrident AWR300		P	1millon	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado básico • USB • RS232 • Bluetooth • Wi-Fi 	30cm	879.38	25,387.70
Agrident AWR100/200		P	5,000	<ul style="list-style-type: none"> • RS232 • USB • Bluetooth 	40cm	704.63	20,342.67
Agrident APR500E		P	5,000	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado alfanumérico • USB • Bluetooth 	25cm	762.01	21,999.23
Agrident AIR300		P	--	<ul style="list-style-type: none"> • Teclado completo • USB • RS232 • Bluetooth • Wi-Fi • Periféricos 	24cm	1,411.74	40,756.93
Agrident ASR700		E	--	<ul style="list-style-type: none"> • RS232 • RS485 • USB • Bluetooth 	120cm	1,500.00	43,305.00
Agrident ASR550		E	--	<ul style="list-style-type: none"> • USB • RS232 • Bluetooth 	90cm	1,500.00	43,305.00

Tabla 3.7 Resumen de lectores marca Agrident™.

3.2.8. Baqueano

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
Baquea no Clásico		P	4,032	<ul style="list-style-type: none"> Teclas básicas USB Bluetooth 	30cm	853.00	24,626.11
Baquea no Pro		P	4,992	<ul style="list-style-type: none"> Teclado alfanumérico USB Bluetooth 	40cm	1,402.00	40,475.74
Baquea no EQ10		P	4,032	<ul style="list-style-type: none"> Teclado básico USB Bluetooth 	12cm	609.00	17,581.83

Tabla 3.8 Resumen de lectores marca Baqueano™.

3.2.9. FAREAD

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
FAREAD FRD5200		P	7,000	<ul style="list-style-type: none"> No recargable USB Bluetooth 	22cm	450.00	12,991.50
FAREAD FRD6100		E	7,000	<ul style="list-style-type: none"> USB Bluetooth 	50cm	400.00	11,548.00
FAREAD FRD5100		P	7,000	<ul style="list-style-type: none"> Teclado básico USB Bluetooth 	20cm	300.00	8661.00

Tabla 3.9 Resumen de lectores marca FAREAD™.

3.2.10. Y-TEX

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
Y-TEX 379 Reader		P	10mil	<ul style="list-style-type: none"> • Teclas básicas • RS232 • USB • Bluetooth 	35cm	1,050.00	30,313.50

Tabla 3.10 Resumen de lectores marca *Y-TEX™*.

3.2.11. I.D.ology

Código	Foto	Tipo	# IDs	Interfaz	Rango	Precio	
						U\$D	C\$
I.D.ology LightningROD		P	4,000	<ul style="list-style-type: none"> • RS232 • USB • Bluetooth 	40cm	1,222.98	35,307.43

Tabla 3.11 Resumen de lectores marca *I.D.ology™*.

3.2.12. Análisis de los lectores como productos finales

De las **Tablas 3.1-3.11** podemos extraer mucha información importante relacionada con el mercado internacional de los lectores RFID *ISO 11784/85*. Es fácil visualizar que se trata de productos bastante onerosos y esto es debido a que son dispositivos tecnológicos que tienen poca demanda en comparación con otros como: computadoras, celulares o domésticos en general. Asimismo, podemos recolectar una gama de características que hacen a estos productos muy útiles para el entorno de trabajo ganadero como son:

- Colección de datos trazabilidad³⁵.
- Interfaz de usuario.
- Compatibilidad con otros dispositivos.
- Capacidad de memoria (medida en códigos ID almacenables).
- Rango de lectura.
- Portabilidad (capacidad de la batería y opciones de carga).
- Protección contra el entorno.
- Software (firmware o sistema operativo).

³⁵ El *Capítulo 5* explicará la trazabilidad y su importancia.

Cuando se requiere adquirir un producto de este tipo es necesario tomar en cuenta las características anteriormente mencionadas, ya que de esto dependerá la agilidad con la que se identifiquen los animales y la facilidad con la que se ingresen los datos de trazabilidad bovina dentro del sistema de datos ganadero. En este apartado clasificamos los lectores de las **Tablas 3.1-3.11** en cuatro categorías para los lectores portátiles y en dos categorías para los lectores estacionarios. Asimismo, los rangos de lectura están dados desde 10cm hasta 60cm para lectores portátiles y desde 50cm hasta 120cm para los lectores estacionarios. La finalidad de la clasificación es mostrar gráficos de comportamiento del costo de estos productos. De esa manera, obtendremos información de los precios versus funcionalidades contra los cuales debemos competir.

Para los lectores portátiles la clasificación es como sigue³⁶:

- **Categoría 1:** Estos transceptores RFID solamente incorporan la funcionalidad básica de lectura según el *ISO 11784/85* y carecen de: baterías recargables, conectividad con otros dispositivos o interfaz de usuario ininteligible.
- **Categoría 2:** Implica aquellos transceptores RFID *ISO 11784/85* que poseen una interfaz de usuario basada en botones o teclados sencillos, conectividad con otros dispositivos ya sea mediante USB, Bluetooth o RS232, asimismo, poseen una batería recargable.
- **Categoría 3:** Son aquellos lectores que tienen capacidad de recolectar datos de trazabilidad. Asimismo tienen mejoras en la conectividad con otros dispositivos ya que además de interfaz USB, Bluetooth o RS232, pueden poseer conectividad Wi-Fi o GPRS.
- **Categoría 4:** Son aquellos dispositivos portátiles que incorporan un sistema operativo y son la evolución de la *categoría 3*.

En cuanto a los lectores estacionarios estos los hemos clasificado según la autonomía que posean:

- **Categoría 1:** Lectores estacionarios *ISO 11784/85* no automáticos y sin baterías. Estos lectores necesitan generalmente ser configurados constantemente, además, necesitan una fuente constante de alimentación lo cual los hace vulnerables a fallos. Escoger este tipo de lectores depende de la aplicación.
- **Categoría 2:** Lectores estacionarios *ISO 11784/85* automáticos y con baterías recargables para trabajos sin suministro eléctrico convencional.

A continuación en la siguiente página mostramos los gráficos que resumen el comportamiento del precio y características de los lectores *ISO 11784/85*.

³⁶ No confundir estas categorías con el estándar "EPCglobal™".

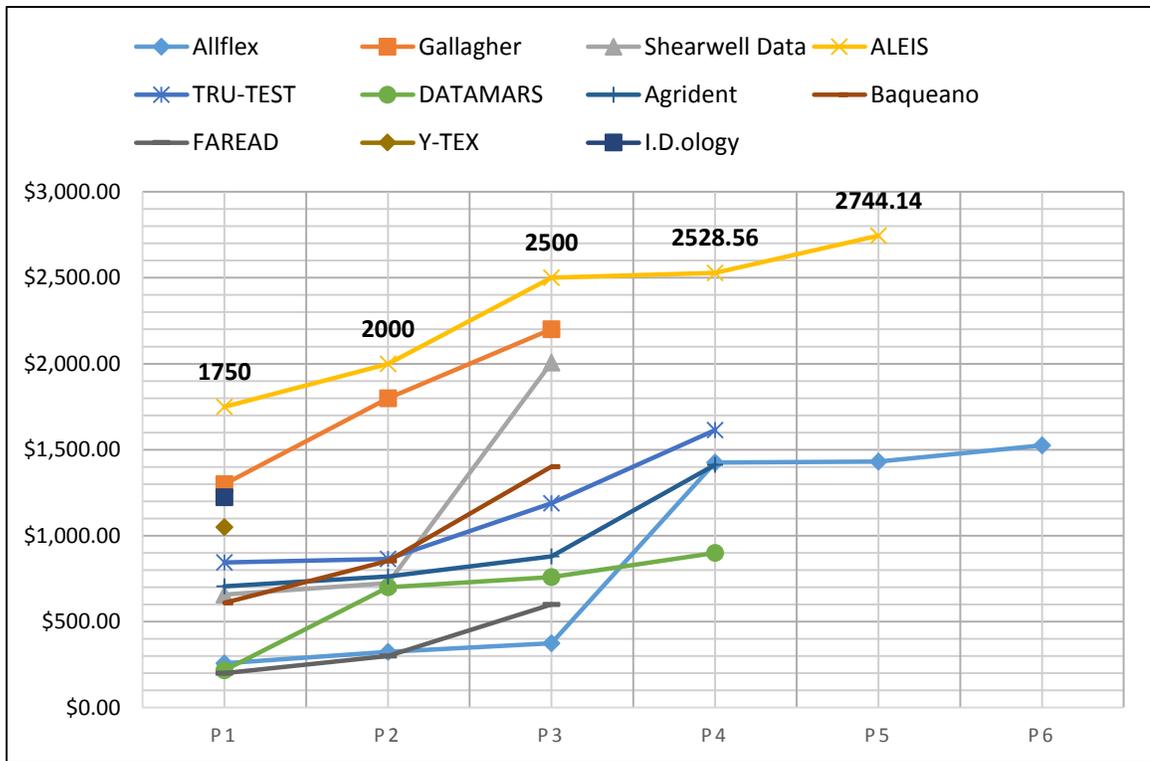


Figura 3.9 Tendencia de precios en U\$D de los lectores RFID ISO11784/85 portátiles.

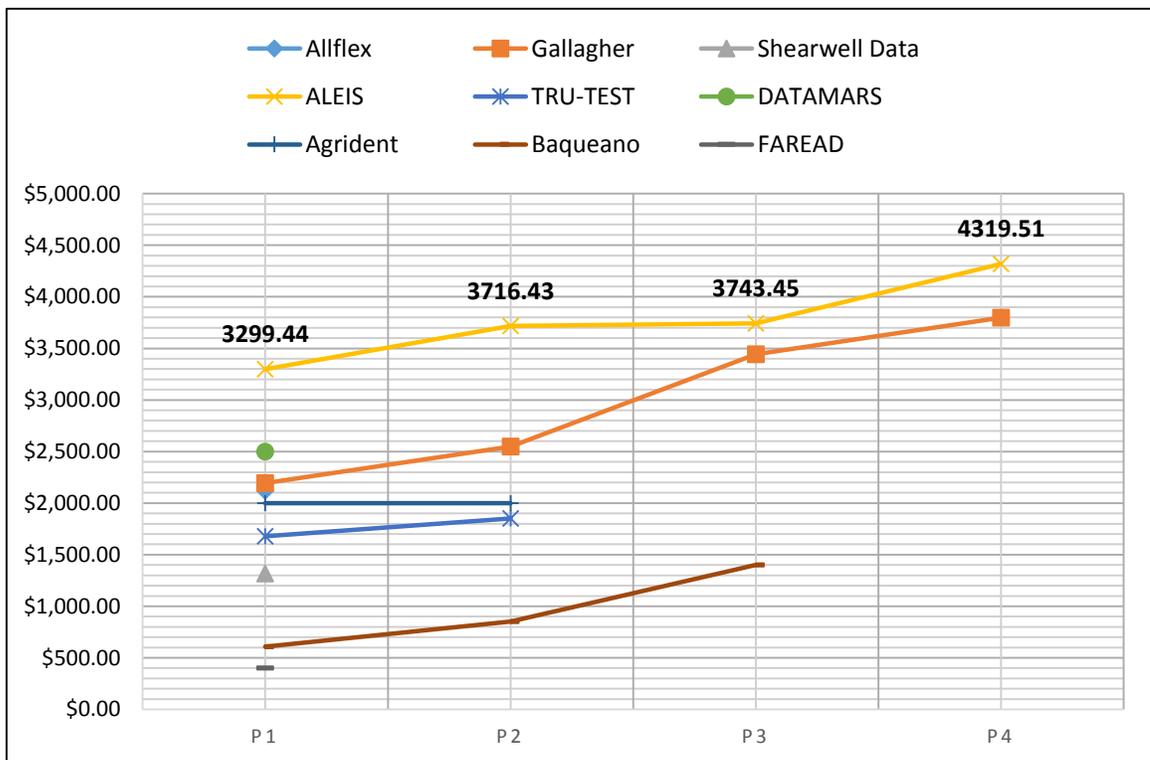


Figura 3.10 Tendencia de precios en U\$D de los lectores RFID ISO 11784/85 estacionarios.

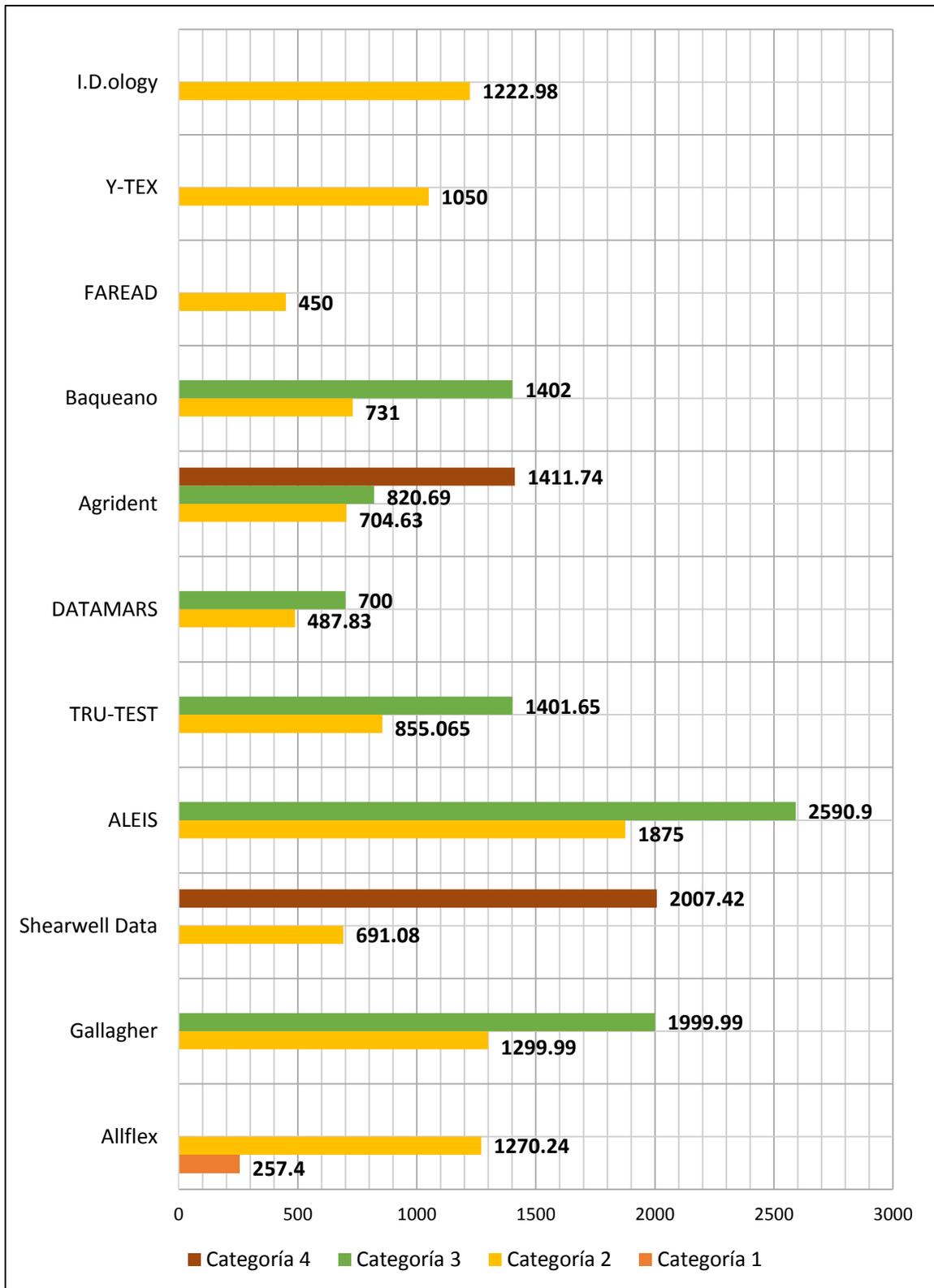


Figura 3.11 Precio promedio en U\$D de un lector RFID portátil ISO 11784/85 según su marca y con respecto a la clasificación realizada anteriormente, desde *categoría 1* hasta *categoría 4* (cabe señalar que no todas las marcas poseen productos en todas las categorías).

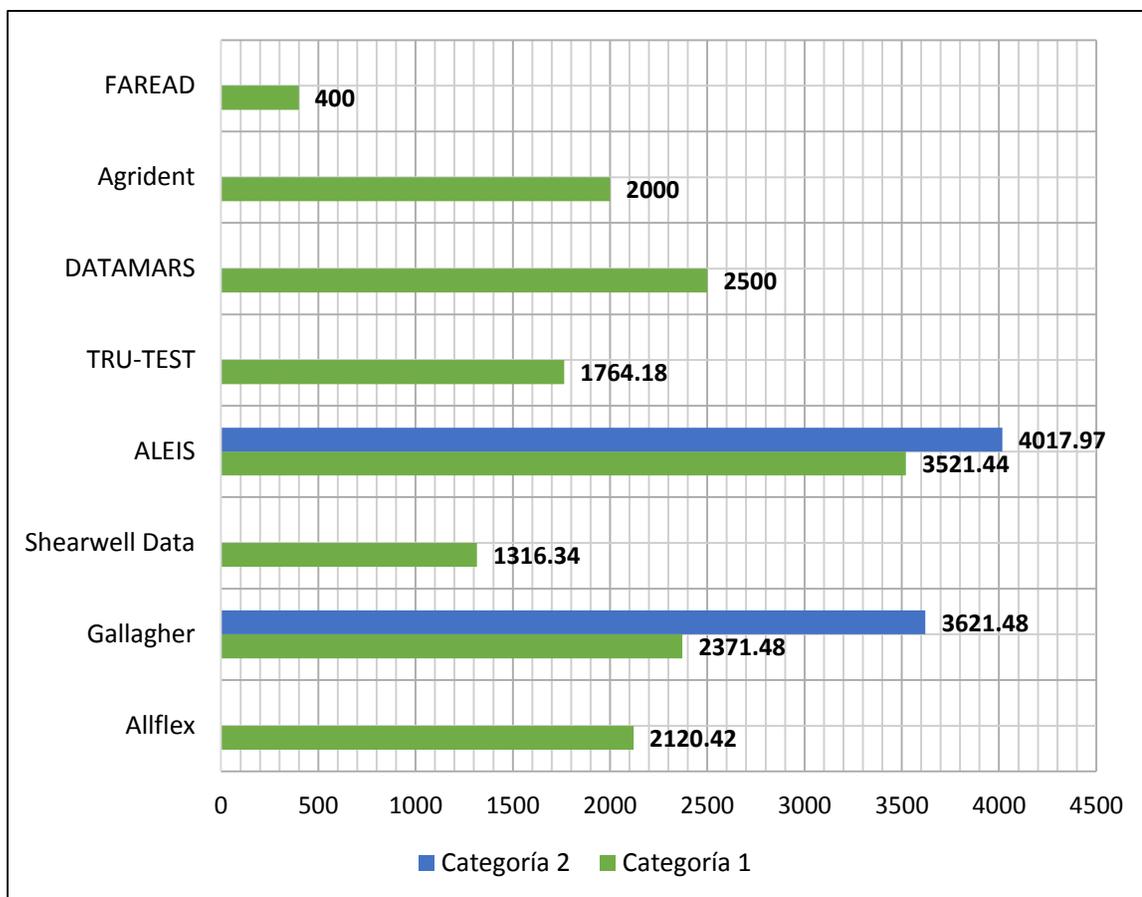


Figura 3.12 Precio promedio de un lector RFID estacionario ISO 11784/85 según su marca y con respecto a la clasificación realizada anteriormente desde categoría 1 hasta categoría 2 (cabe señalar que no todas las marcas poseen productos en ambas categorías).

Los gráficos anteriores intentan contrastar las diferentes marcas productoras de tecnología para la identificación animal y manejo del ganado. Cabe señalar que, pueden existir algunas variantes de toda esta información expuesta con respecto al tiempo. Además, un dato muy importante no mencionado en las tablas, es que no todos los fabricantes tienen soporte en español de sus productos, igualmente, el soporte técnico se encuentra en el extranjero por lo cual hacer reclamos o resolver problemas técnicos se vuelve tedioso. Algunas de las marcas con soporte en Latinoamérica son: *Baqueano*, *DATAMARS* y *Allflex*. Otras marcas como *Gallagher* o *TRU-TEST* poseen una versión en español de sus manuales, no obstante, sus productos no son comercializados en Latinoamérica. El presente trabajo monográfico desarrolla el diseño de un dispositivo “Categoría 2”, esto debido a que la categoría 2 es la más extendida a nivel internacional ya que es una solución asequible para los ganaderos. La marca que posee el lector portátil categoría 2 más barato que existe es *FAREAD* con un precio de USD 450. Nuestra meta es desarrollar un prototipo que pueda competir con ese precio. Además, este precio es el mismo costo de los lectores *DATAMARS* que IPSA ha comprado para pruebas.

4. Módulo transceptor RFID según ISO 11784/85

En este apartado se describe la implementación del bloque ISO 11784/85 mediante el módulo *RFIDRW-E-TTL* de "Priority 1 Design". Este módulo está conformado por el circuito integrado *EM4095*. El circuito integrado *EM4095* está destinado a cumplir la función de estación base RFID para los transpondedores tipo LF. Por ello, en los siguientes epígrafes se mostrarán todos los detalles técnicos extraídos de la hoja de datos y notas de aplicaciones relacionadas con el circuito integrado *EM4095*. Luego en el próximo epígrafe se desarrollará la teoría de diseño para una bobina antena.

4.1. Circuito integrado EM4095 para estación base RFID LF



Figura 4.1 Chip *EM4095* fabricado por "EM Microelectronic™".

El circuito integrado **EM4095** en la **Figura 4.1**, previamente nombrado *P4095*, es un chip que funciona como una interfaz analógica para el diseño de estaciones base *RFID* de lectura y escritura que operen a una frecuencia promedio de 125kHz [12]. Entre sus funciones principales destacan: *control de antena con frecuencia portadora, modulación AM de campo magnético para escritura sobre etiquetas RFID que posean la opción de escritura, demodulación AM de una señal inducida por un transpondedor y comunicación con*

un microcontrolador o microprocesador mediante una interfaz serial síncrona. Asimismo, entre las aplicaciones más básicas de este circuito integrado tenemos: inmovilizador para autos, lector de mano y lector de bajo costo.

4.1.1. Características Técnicas

- Sistema *PLL* ("Phase Locked Loop") integrado para la funcionalidad de portadora auto-adaptiva de manera que la antena resuene a la frecuencia de la señal portadora.
- No requiere un cristal de cuarzo externo.
- Rango de operación de la frecuencia portadora desde 100kHz hasta 150kHz.
- Interfaz de antena mediante un controlador tipo puente.
- Transmisión de los datos mediante OOK.
- Compatibilidad múltiple con diferentes protocolos asociados a diferentes transpondedores (Ej. EM4102, EM4200, EM4450 y EM4205/EM4305).
- Consumo de 1µA en modo dormido.
- Fuente de alimentación compatible con voltaje y corriente USB.
- Rango de operación desde -40°C hasta +85°C.
- Encapsulado SO16 (**Figura 4.2**).

4.1.2. Asignación de pines

Como ya se mencionó anteriormente en las características, el circuito integrado *EM4095* está fabricado en un empaquetado SO16. A continuación en la **Tabla 4.1** se detallan los

pinos de este y las funcionalidades de cada uno. Asimismo, se clasifican los pines dependiendo del tipo de operación que estos realizan.

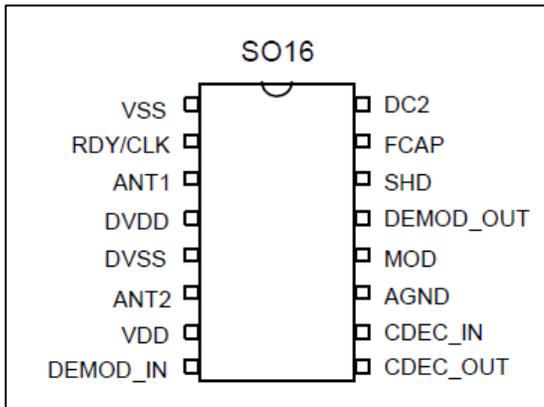


Figura 4.2 “Pinout” del EM4095.

Tabla 4.1 Descripción de los pines del EM4095.

Pin	Nombre	Descripción	Tipo ³⁷
1	VSS	Pin negativo de la fuente de poder (“ground”).	GND
2	RDY/CLK	Bandera de listo, salida de reloj y controlador para la modulación AM.	O
3	ANT1	Controlador de antena.	O
4	DVDD	Pin positivo de la fuente de poder para los controladores de antena.	PWR
5	DVSS	Pin negativo de la fuente de poder para los controladores de antena.	GND
6	ANT2	Controlador de antena.	O
7	VDD	Pin positivo de la fuente de poder (+5V).	PWR
8	DEMOD_IN	Voltaje de entrada al demodulador.	ANA
9	CDEC_OUT	Capacitor de bloqueo, salida.	ANA
10	CDEC_IN	Capacitor de bloqueo, entrada.	ANA
11	AGND	“Ground” analógico.	ANA
12	MOD	Un estado alto de voltaje en este pin modula la antena.	IPD
13	DEMOD_OUT	Señal digital codificada que representa la señal AM vista en la antena.	O
14	SHD	Un voltaje alto en este pin obliga al EM4095 al modo “dormido” (“sleep”).	IPU
15	FCAP	Capacitor para el filtro del lazo PLL.	ANA
16	DC2	Capacitor para el desacople DC.	ANA

³⁷ **GND**: tierra de referencia; **IPD**: entrada con “pull-down” interno; **PWR**: fuente de poder; **IPU**: entrada con “pull-up” interno; **ANA**: señal analógica; **O**: salida.

4.1.3. Funcionamiento

4.1.3.1. General

El EM4095 está destinado para ser utilizado con un circuito de antena y un microcontrolador [12] (**Figura 4.3a** y **Figura 4.3b**). Como se puede apreciar, son pocos los componentes necesarios para conseguir el filtrado DC y RF, además del sensado de corriente y el desacople de la fuente de alimentación.

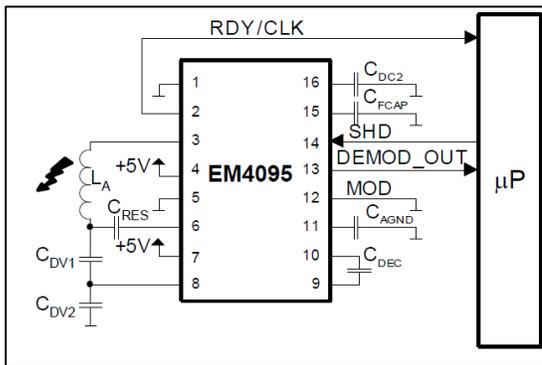


Figura 4.3a EM4095 en modo 'lectura'. El pin MOD es conectado a GND.

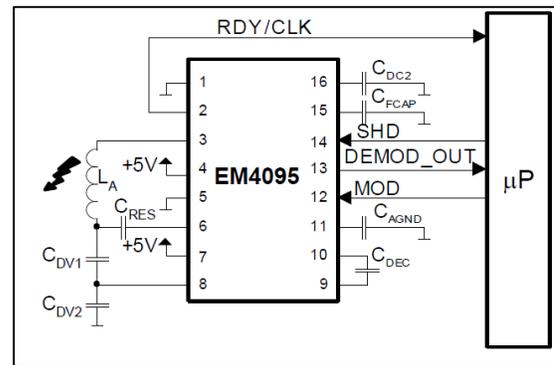


Figura 4.3b EM4095 en modo 'lectura/escritura'.

La operación del dispositivo es controlada por las entradas lógicas *SHD* (pin 14) y *MOD* (pin 12). Cuando el pin *SHD* es puesto en alto, el EM4095 entra en el modo “dormir” donde la corriente y el consumo de energía son minimizados. En el encendido de inicio, la entrada *SHD* debe estar en alto (“modo dormido”), y luego debe cambiarse a bajo (“modo activo”) para habilitar una correcta inicialización del circuito integrado. Cuando *SHD* está en bajo, el circuito es habilitado para emitir el campo magnético RF; luego se comenzará a demodular cualquier señal AM que sea vista en la antena. Esta señal digital que proviene del bloque de demodulación AM (Ver **Figura 4.4**) es luego entregada por medio de *DEMOD_OUT* (pin13) hacia el microcontrolador, el cual se encarga de decodificar y manipular la información recibida. Un alto en el pin *MOD* fuerza un tri-estado en los controladores principales de la antena sincrónicamente con la portadora RF. Mientras *MOD* esté en alto el VCO y la demodulación de cadena AM son mantenidas en estado antes que el pin MOD fuera puesto en alto. Esto permite una rápida recuperación del sistema cuando el pin MOD es liberado. El apagado del VCO y la demodulación AM es retrasado 41 ciclos de reloj RF³⁸ después del umbral de caída en el pin MOD. De esta manera, el punto de operación del VCO y la demodulación AM no son perturbados por el inicio del circuito resonante de la antena.

4.1.3.2. Bloques analógicos

El circuito EM4095 realiza las dos funcionalidades típicas de un sistema RFID las cuales son: transmisión y recepción. La transmisión implica el control de una antena y la modulación AM del campo magnético RF. Los controladores de antena entregan corriente

³⁸ 1 ciclo de reloj RF es igual a 1/f, lo cual equivale a 8µs operando a 125kHz.

a una antena externa para generar el campo magnético. La recepción implica la demodulación AM de la señal vista en la antena, la cual es inducida por un transpondedor.

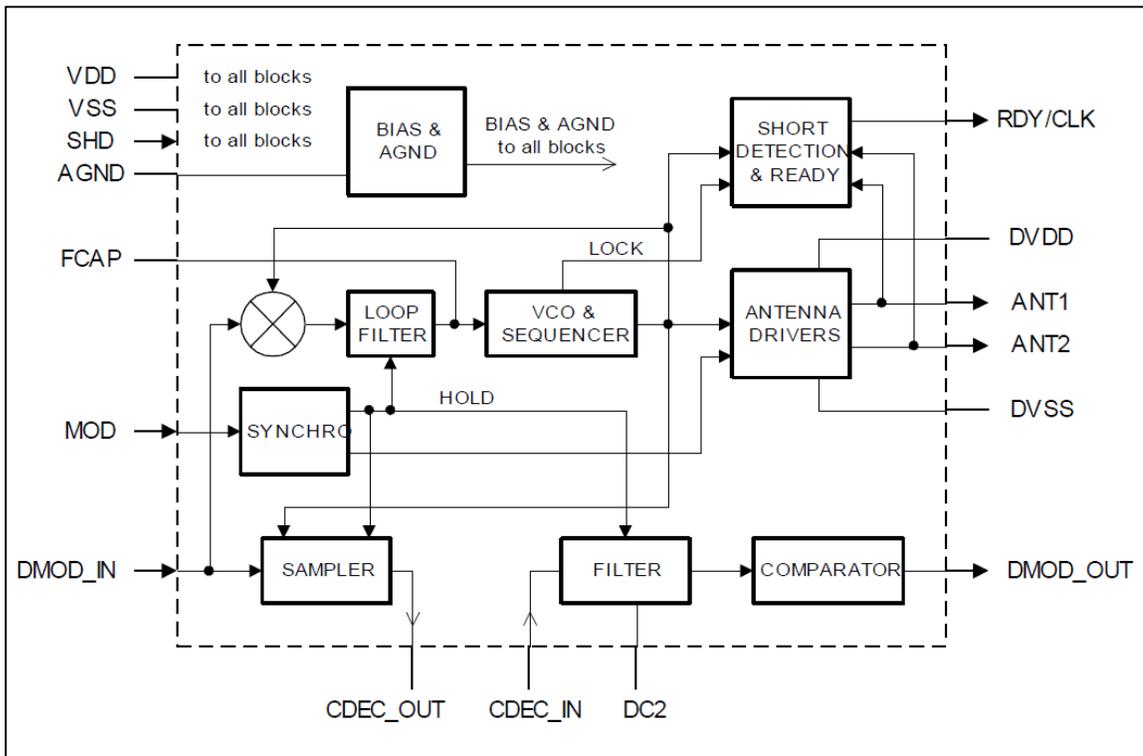


Figura 4.4 Bloques funcionales internos de un *EM4095*.

4.1.3.2.1.1. Transmisión

La transmisión se logra por medio de un PLL y los controladores de la antena como se muestra en la **Figura 4.4**.

4.1.3.2.1.1.1. Controladores de antena

Los drivers o controladores de la antena proveen a la antena de la estación base RFID de la energía apropiada. Estos entregan corriente a la frecuencia de resonancia la cual es típicamente 125kHz. La corriente entregada por los controladores depende del Q^{39} del circuito resonante externo. Se recomienda que el diseño de la antena sea calculado de tal manera que el máximo pico de corriente nunca exceda los 250mA. Otro factor limitante para la corriente en la antena es la convección termina del encapsulado del chip [12]. El máximo pico de corriente debe ser diseñado de tal manera que la temperatura en la unión del integrado no exceda la temperatura máxima recomendada. La modulación ASK al 100% se alcanza al apagar los controladores de la antena. Además, estos controladores están protegidos contra cortocircuito. Cuando un cortocircuito es detectado, *RDY/CLK* (pin 2) es puesto en bajo mientras que el driver principal es forzado a alta impedancia o

³⁹El "factor Q" del circuito será explicado en la sección de diseño de antena.

tri-estado. El circuito puede ser reiniciado reactivando el pin *SHD*. Los pines de salida de los drivers y donde va conectada la antena externa al circuito resonador son: *ANT1* (pin 3) y *ANT2* (pin 6). Además los controladores se alimentan directamente de la fuente de poder mediante *DVDD* (pin 4) y *DVSS* (pin 5)

4.1.3.2.1.1.2. PLL

El PLL en la **Figura 4.4** está compuesto por el filtro de lazo, el oscilador controlado por voltaje (VCO) y el comparador de fase. Al usar un divisor capacitivo externo, el pin *DEMOD_IN* consigue información acerca de la señal de alto voltaje en la antena. La fase de esta señal es comparada con la señal que se maneja en los controladores de antena. Por ello el PLL es capaz de enclavar la frecuencia de la portadora a la frecuencia de resonancia de la antena. Dependiendo de la antena, la frecuencia de resonancia del sistema puede ser cualquiera en el rango de 100kHz a 150kHz. Siempre y cuando la frecuencia de resonancia este dentro de este rango, la frecuencia de la portadora será mantenida por el *PLL*.

4.1.3.2.1.2. Recepción

La entrada para demodulación en el bloque de recepción es el voltaje medido en la antena. El pin *DEMOD_IN* es también usado como una entrada de recepción, además, el nivel de señal en este pin debe ser más bajo que $VDD-0.5V$ y más alto que $VSS+0.5V$. La entrada puede ser ajustada por un divisor capacitivo externo. La capacitancia de resonancia debe ser luego reajustada por un valor más pequeño debido a la inclusión de la capacitancia del divisor. El esquema de modulación AM está basado en la técnica de “demodulación síncrona”. La cadena de recepción está compuesta por: un sistema de “muestro y retención”, un cancelador de voltaje “offset” DC, un filtro pasa banda y un comparador. El voltaje DC de la señal en *DEMOD_IN* es puesta en *AGND* (pin 11) por medio de un resistor interno. La señal AM es muestreada y el muestreo es sincronizado por medio de un reloj del VCO. Cualquier componente DC es removida de esta señal por medio del capacitor *CDEC*. Luego sigue otro filtrado para remover lo que queda de la señal portadora, la frecuencia baja y la frecuencia alta son especificadas por un circuito de segundo orden interno y *CDC2* el cual es un capacitor externo añadido a *DC2* (pin 16). A continuación, la señal amplificada y filtrada es enviada a un comparador asíncrono. La salida del comparador es enviada *DEMOD_OUT* (pin 13), el cual es la salida codificada de la lectura del transpondedor, la cual debe ser recibida por un microcontrolador.

4.1.3.2.1.2.1. Señal RDY/CLK

Esta señal provee al microcontrolador con un pulso de reloj el cual es síncrono con la señal en el pin *ANT1*, además, contiene información acerca del estado interno del EM4095. La señal de reloj síncrona con *ANT1* indica que el PLL está enclavado y que el punto de operación de la recepción ha sido establecido. Cuando *SHD* está en alto, el pin *RDY/CLK* es forzado a un estado bajo. Después de la transición de alto a bajo en el pin *SHD* el *PLL* inicia y la cadena de recepción es activada. Después del tiempo de establecimiento *TSET* el PLL es enllavado y la cadena de recepción se inicia. En este momento la misma señal que se transmite en *ANT1* es puesta en el pin *RDY/CLK* indicándole al microcontrolador que puede empezar a observar la señal en el pin

DEMOD_OUT a la vez que le da información de reloj acerca de la señal. La señal de *RDY/CLK* es continua, y también está presente durante el tiempo que los controladores de la antena están apagados debido al pin *SHD* en alto. Durante el tiempo de establecimiento cuando el pin *SHD* pasa por la transición de alto a bajo, el pin *RDY/CLK* es puesto en bajo por medio de un resistor de 100kΩ. La razón de esto es para añadir una funcionalidad extra al pin *RDY/CLK* en caso de una modulación AM con un índice de modulación más bajo que el 100%. En ese caso es usado como un controlador auxiliar el cual mantiene una amplitud baja en la bobina (antena) durante la modulación.

4.1.4. Configuraciones típicas del EM4095

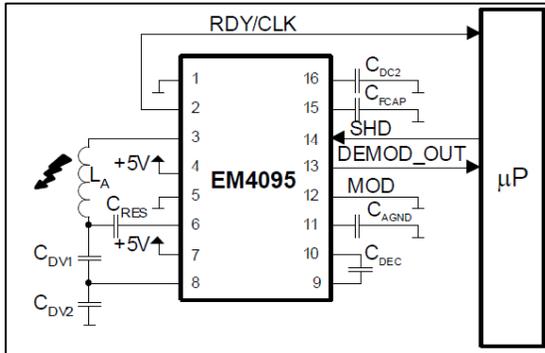


Figura 4.5a Modo de solo lectura.

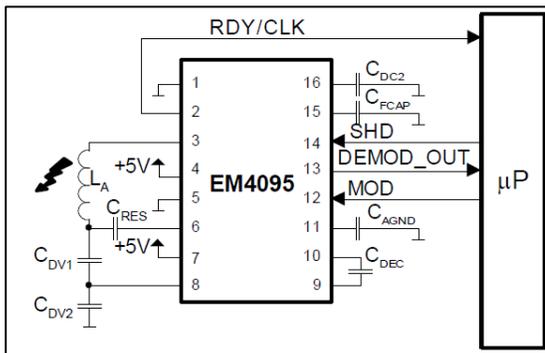


Figura 4.5b Modo de lectura y escritura con bajo Q de antena.

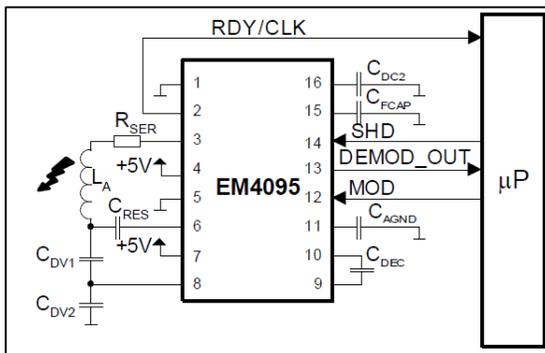


Figura 4.5c Modo lectura y escritura con alto Q de antena.

La Figura 4.5a presenta el EM4095 en modo de solo lectura. El pin *MOD* no es usado, por ello es recomendado conectarlo a *VSS* o *GND* de la fuente. La siguiente Figura 4.5b presenta una configuración típica del EM4095 de lectura y escritura. Es recomendado usar esta configuración con un Q de antena bajo, como máximo 15. Con un Q muy alto de antena ($Q > 15$) el voltaje de la bobina puede llegar al rango de unos cientos de voltios y el pico de corriente puede exceder el valor máximo que el circuito integrado soporta. Si el voltaje incrementa, entonces la razón del divisor capacitivo debe incrementar también para limitar la sensibilidad en el pin *DEMOD_IN*. En tal caso resulta más factible reducir el factor de calidad de la antena al agregarle un resistor en serie a la antena el cual aparece en la Figura 4.5c con el nombre de *R_SER*. De esa manera el resistor *R_SER* reduce la corriente y junto con ello la disipación de potencia del circuito integrado, pero mantiene las mismas funcionalidades. En el caso que el protocolo de comunicación AM entre lector y transpondedor sea como en el caso del EM4069, la Figura 4.5d muestra la configuración que debe ser utilizada. Asimismo, el índice de modulación es ajustado por medio de un resistor RAM. Como se mencionó anteriormente, la señal *RDY/CLK* se vuelve activa solo después que ha sido establecido el punto de operación de la cadena de demodulación, para antenas con altos valores de Q, el voltaje en la

antena es alto y la sensibilidad de lectura está limitada por los capacitores divisores C_{DV1} y C_{DV2} .

La sensibilidad de lectura (y por ende el rango de lectura) puede ser incrementando al usar un detector de envolvente como en la **Figura 4.5e**, de tal forma que, la entrada es tomada del alto voltaje de la antena y es conectada directamente al pin $CDEC_IN$. Sin embargo, el divisor capacitivo es aun necesario para el enllavado del PLL. El detector de envolvente necesita tres componentes los cuales son: $D1$, $R1$ y $C1$.

La configuración mostrada en la **Figura 4.5e** también puede ser utilizada para la aplicación de lectura y escritura pero esta tiene el inconveniente del tiempo de restablecimiento en el caso de ser necesaria una recuperación instantánea después de que la comunicación entre transpondedor y lector ha terminado. La razón de esto es porque el voltaje en $D1$ se pierde durante la modulación y toma cierto tiempo hasta que se establece de nuevo.

La **Figura 4.5f** presenta una solución al problema. Un transistor NMOS de alto voltaje bloquea la trayectoria descarga durante la modulación, de esa manera el punto de operación es preservado. La señal que controla al transistor NMOS desde su "gate", tiene que ser puesta en bajo sincrónicamente con la señal MOD , pero este puede ser puesto en alto solo después que la amplitud de la antena se ha recuperado luego de la modulación.

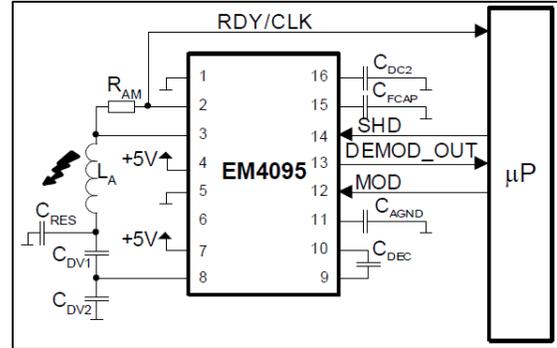


Figura 4.5d Modo de lectura y escritura para EM4069.

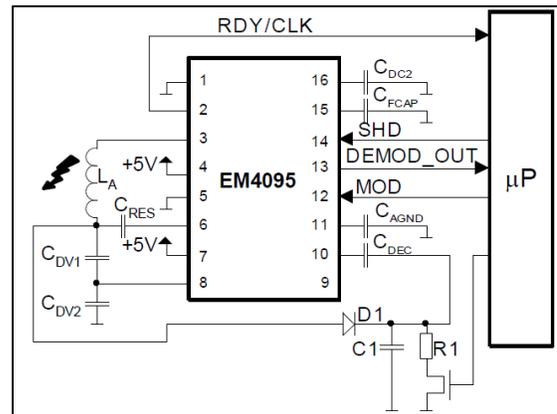


Figura 4.5e Modo lectura con detector de pico externo.

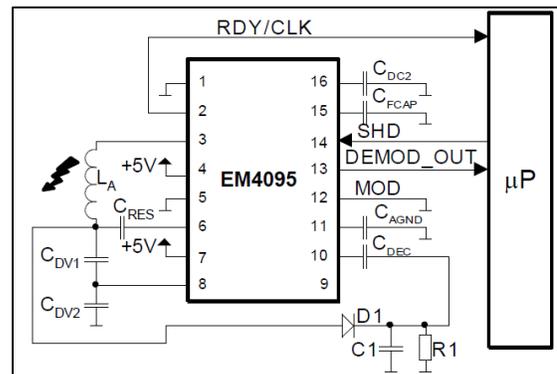


Figura 4.5f Modo lectura y escritura con detector de pico externo.

4.1.5. Recomendaciones de diseño con el EM4095

4.1.5.1. Tolerancias

Hay que tomar en cuenta que al diseñar un sistema que tiene como objetivo el muestreo, tal como es el caso de un PLL, se tienen poco margen de tolerancias al error con respecto a la antena y el resto de componentes externos, ya que entre más grande sea el factor

de calidad del sistema más pequeñas deben ser las tolerancias que son aceptables por parte de los componentes externos. Un sistema RFID con una bobina antena con núcleo de aire usualmente no es problemática de implementar. No obstante, debe tomarse en cuenta un error de $\pm 5\text{kHz}$ en la frecuencia de operación entre transpondedor y antena. Por otro lado, los transpondedores con núcleo de ferrita tienen usualmente un factor de calidad más alto ($Q \approx 40$), por lo cual son más sensibles a las tolerancias⁴⁰.

4.1.5.2. Estabilidad de la fuente de poder

Ya que los controladores de la antena funcionan con los niveles de voltaje VDD y VSS, queda claro que todo el ruido y las variaciones en la fuente de poder son directamente enviados al circuito resonante de la antena [12]. Cualquier variación en la fuente de poder resultará en una variación en el alto voltaje de la antena y en el rango de mili-voltios resultará en funcionalidades reducidas, o peor aún, resultará en el malfuncionamiento del sistema. Cuidado especial debe tomarse para filtrar el ruido de baja frecuencia en el rango de hasta 20kHz ya que las señales del transpondedor están dentro de ese rango. Por ello la elección de la fuente de poder es muy importante. La fuente de poder ideal para este tipo de sistemas sería lineal, y que opere con un regulador LM7805. Las baterías de litio también pueden ser utilizadas, en arreglos de series de tres por ejemplo, para evitar el uso de un regulador conmutado. A pesar que las fuentes conmutadas han incrementado su popularidad, estas pueden generar problemas para los lectores RFID que operan a 125kHz. La frecuencia de conmutación no debería estar cerca de algún múltiplo de 125kHz de lo contrario ocurrirá interferencia en el lector que reducirá el rango de lectura. Otro asunto con las fuentes conmutadas es el voltaje de rizado. Para un buen rango de lectura el rizado de salida debería ser menos que 3mVpp, pero este requerimiento es muy demandante para una fuente conmutada. Se recomiendan algunos diagramas en la imagen **4.6a** y **4.6b** para solucionar el problema.

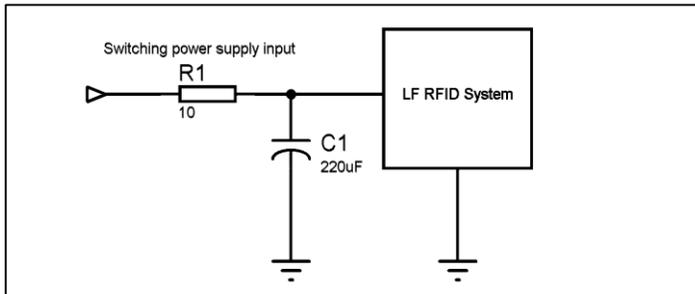


Figura 4.6a Fuente conmutada con filtro pasabajo para evitar el ruido de baja frecuencia.

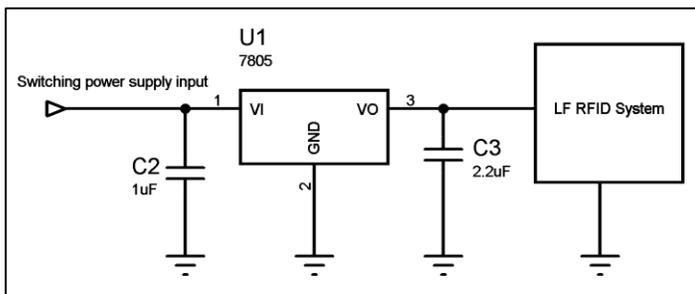


Figura 4.6b Fuente conmutada con regulador lineal

⁴⁰ En el **Anexo IV** se especifica el % de tolerancias recomendados a usarse.

4.1.5.3. Máxima corriente en los controladores de la antena

El *EM4095* no limita la corriente entregada por los controladores de antena. El máximo valor que estas salidas soportan es 300mA⁴¹. El diseño de la antena y el circuito resonante debe hacerse de tal manera que la corriente pico nunca exceda los 250mA. Si el factor de calidad *Q* de la antena es demasiado alto y este valor tiende a excederse según los cálculos previos realizados antes de la implementación, entonces, el factor de calidad de la antena debe ser reducido añadiendo un resistor en serie a la antena. Y como ya se mencionó anteriormente la corriente también define la temperatura de operación. El máximo pico de corriente debe ser diseñado de tal manera que el integrado no exceda el máximo valor de temperatura de la unión. Para este caso, debe tomarse en cuenta la temperatura ambiente y agregar el valor de temperatura generado por disipación de potencia. Basados en el encapsulado a usarse, vemos por la tabla en el **Anexo IV** de máximos valores, como el valor de grados centígrados disipados por cada watt en nuestro encapsulado a utilizar corresponde a 70.

4.1.5.4. Señal MOD

Es recomendable conectar el pin *MOD* a *VSS* en las aplicaciones de solo lectura. El *EM4095* tiene integradas algunas funciones para pruebas, las cuales son activadas cuando el pin *SHD* y el pin *MOD* están en alto. Es por ello recomendado que el pin *MOD* sea mantenido en bajo mientras *SHD* está en alto.

4.1.5.5. Sintonización del filtro pasa banda

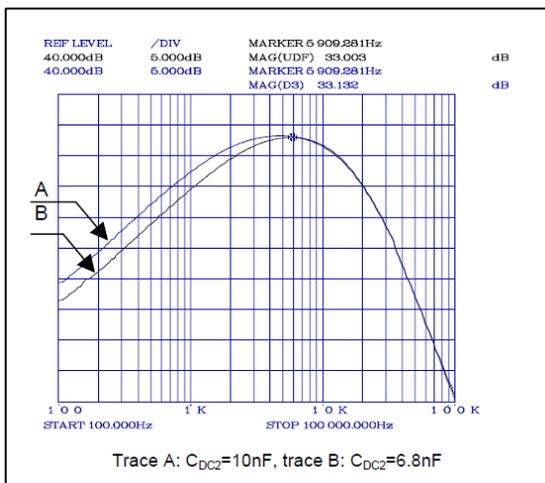


Figura 4.7a Características del filtrado como función del capacitor filtro C_{DC2} .

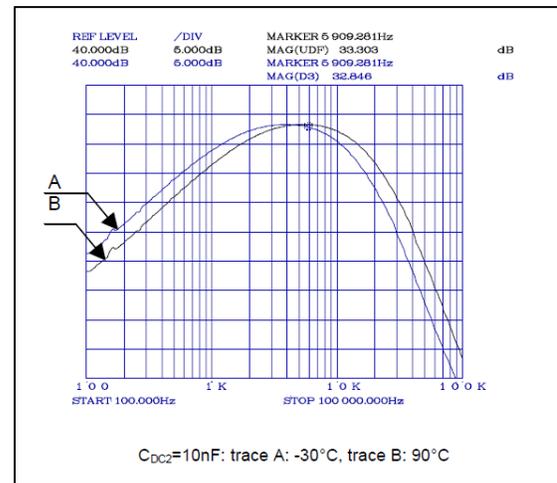


Figura 4.7b Características de filtrado como función de la temperatura.

El filtrado en la recepción se logra mediante dos etapas. El cero de la primera etapa está definido por un capacitor externo C_{DEC} y el resistor interno de 100kΩ. El polo de la primera etapa es configurado internamente aproximadamente a 25kHz. El cero de la segunda etapa está definido por capacitor C_{DC2} y un resistor interno. El polo de la segunda etapa está definido internamente a 12kHz. Esto significa que los polos de la recepción no

⁴¹ Ver tabla de máximos valores soportados por el *EM4095* en el **Anexo IV**.

pueden ser cambiados y que las frecuencias superiores están limitadas por un filtro de 2 etapas teniendo -3dB a las frecuencias de 25kHz y 12kHz, no obstante, los dos ceros de las dos etapas pueden ser cambiados. Las configuraciones por defecto son $C_{DEC} = 100\text{nF}$ y $C_{DC2} = 10\text{nF}$, las cuales son más que suficiente para llenar las especificaciones de sensibilidad y habilitar una operación confiable. Incrementar el valor del capacitor C_{DC2} (máximo valor 22nF), incrementará en una aplicación la sensibilidad en la recepción, especialmente si el valor de Q del transpondedor es alto, lo cual causará una señal de entrada no rectangular, es decir con una pendiente (**Figura 4.7b y 4.7b**). Incrementar el valor del capacitor C_{DC2} incrementará el ancho de banda de recepción, lo que en consecuencia incrementará la ganancia de recepción para las señales con pendiente. El rango adecuado de C_{DC2} es de 6.8nF a 22nF y C_{DEC} de 33nF a 220nF. Valores más altos de estos capacitores incrementaran los tiempos de inicio del sistema.

4.1.5.6. Divisor capacitivo

El divisor capacitivo del sistema, en la **Figura 4.8**, debería ser diseñado de tal manera que las capacitancias parasitas (pocos “pF” en el pin DEMOD_IN y la PCB) no influyan en la razón de ambos capacitores. Se propone usar un capacitor de 1nF a 2nF entre el pin DEMOD_IN y VSS (C_{DV2}). El capacitor entre el pin DEMOD_IN y el alto voltaje de la antena (C_{DV1}) debe ser calculado con la razón necesaria de división. Luego debe reducirse el valor de capacitancia del capacitor resonador C_{RES} ya que los valores de C_{DV1} y C_{DV2} descompensarán un poco la capacitancia de resonancia.

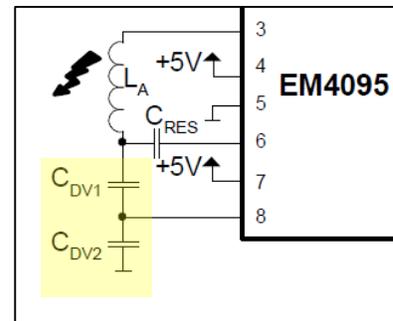


Figura 4.8 Circuito divisor capacitivo.

4.1.5.7. “Ground” analógico del sistema (AGND)

El capacitor AGND puede ser incrementado desde 220nF hasta 1μF. Entre más grande sea el capacitor este puede reducir más ligeramente el ruido en la recepción. El voltaje AGND es filtrado por un capacitor externo y un resistor interno de 2kΩ.

4.1.5.8. Recomendaciones de diseño para el PCB

Los pines $DVDD$ y $DVSS$ deberían ser conectados a VDD y VSS respectivamente. Deberá tomarse en cuenta que el voltaje en los pines VDD y VSS no se caiga debido a la corriente fluyendo en la antena. Las terminales $DVSS$ y $DVDD$ deben de ser bloqueadas por un capacitor de 100nF entre los dos pines lo más cerca posible del chip. Esta configuración deberá prevenir picos en la fuente causados por los drivers de la antena. Bloquear los pines analógicos VSS y VDD tan cerca como sea posible del chip es aconsejable también. Los capacitores de bloqueo no se muestran en los esquemas de aplicación recomendados del EM4095. Todos los capacitores relacionados con $DC2$, $AGND$ y $DEMOD_IN$ deberán ser conectados a la misma línea VSS , la cual debería ser conectada directamente al pin VSS del chip. Esta línea VSS no deberá ser conectada a otros elementos o ser parte de la línea de alimentación que va hacia $DVSS$. La interconexión hacia todos los pines sensibles (enlistados anteriormente), deberá ser lo más corta posible. Esto también es válido para para la línea VSS hacia los capacitores de bloqueo. Debe evitarse el acople capacitivo proveniente de todas las líneas “calientes”,

especialmente de la salida digital *DEMOD_OUT* hacia la entrada sensible *DEMOD_IN*, *FCAP*, *CDEC*, *DC2* y *AGND*.

4.1.6. Ecuaciones

La frecuencia de la antena es calculada por medio de:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_A C_0}} \quad (4.1)$$

Donde L_A es la inductancia de la antena, C_0 es el capacitor resonador compuesto por C_{RES} , C_{DV1} y C_{DV2} .

La ecuación del capacitor resonador total está dada por:

$$C_0 = C_{RES} + \frac{C_{DV1} C_{DV2}}{C_{DV1} + C_{DV2}} \quad (4.2)$$

Usualmente las bobinas antenas son técnicamente especificadas por su inductancia (L_A) y su factor de calidad (Q_A). Para calcular el valor de la resistencia interna de la bobina (R_{ANT}) se usa la ecuación:

$$R_{ANT} = \frac{2\pi f_0 L_A}{Q_A} \quad (4.3)$$

La corriente pico de la antena se calcula mediante:

$$I_{ANT} = \frac{4}{\pi} \frac{V_{DD} - V_{SS}}{R_{ANT} + R_{SER} + 2R_{AD}} \quad (4.4)$$

R_{AD} es el valor de resistencia interna que tienen los controladores de antena y para conocer su valor se debe revisar el anexo relacionado a los máximos valores del EM4095. Asimismo, la corriente RMS en la antena se calcula mediante:

$$I_{RMS} = \frac{I_{ANT}}{\sqrt{2}} \quad (4.5)$$

El voltaje pico a pico de la antena se determina con:

$$V_{ANTpp} = \frac{I_{ANT}}{\pi f_0 C_0} \quad (4.6)$$

Para garantizar la correcta operación de la entrada de demodulación, se debe configurar el voltaje V_{DEMODO_IN} de tal manera que no exceda 4Vpp, como muestra la ecuación del divisor capacitivo:

$$V_{DEMODO_INpp} = V_{ANTpp} \frac{C_{DV1}}{C_{DV1} + C_{DV2}} \quad (4.7)$$

Para calcular el valor de factor de división d_c usamos la ecuación:

$$d_c = \frac{C_{DV1} + C_{DV2}}{C_{DV1}} \quad (4.8)$$

Para calcular la potencia disipada por el sistema usamos:

$$P = 2 I_{RMS}^2 R_{AD} + I_{DDon}(V_{DD} + V_{SS}) \quad (4.9)$$

Para calcular la temperatura que se generará en la unión al operar el sistema usamos:

$$\Delta T = P R_{Th} \quad (4.10)$$

Donde R_{Th} es el la resistencia térmica del encapsulado⁴²

⁴² En el disco del documento se adjunta una hoja de "Microsoft Excel" para facilitar los cálculos.

4.2. Teoría de diseño para una bobina antena

Como se mencionó anteriormente, en las aplicaciones pasivas de identificación por radio frecuencia (RFID) una antena es necesaria por dos razones principales:

- Para transmitir la señal RF portadora y alimentar los transpondedores.
- Para recibir señales de datos provenientes de los transpondedores.

Una señal RF puede ser radiada efectivamente si la dimensión lineal de la antena es comparable con la longitud de onda de la frecuencia de operación. En una aplicación RFID utilizando la banda **LF** de 100kHz hasta 500kHz, la longitud de onda de la frecuencia de operación es de unos pocos kilómetros, por ejemplo: $\lambda = 2.4 \text{ km}$ para una señal de 125kHz. Por tal razón, debido al tamaño de la longitud de onda, una verdadera antena no puede ser formada dentro del limitado espacio de un dispositivo portátil [13]. Alternativamente, esta es la razón por la que se diseña una pequeña antena de lazo que resuena a la frecuencia de interés. Como se explicó anteriormente en el *Capítulo 1*, este tipo de antena utiliza un acople de inducción de campo magnético por proximidad entre la bobina del transmisor y la del receptor. El campo producido por la pequeña antena de lazo, no es una onda de propagación, pero si es más como una onda que se atenúa. La fuerza del campo decae a r^{-3} , donde r es la distancia hacia la antena. Por ello, este comportamiento de campo cercado (r^{-3}) es un factor limitante del rango de lectura en las aplicaciones RFID inductivas. Cuando un campo magnético variable en el tiempo está pasando a través de una bobina antena, induce un voltaje a través de las terminales de esta. Este voltaje es utilizado para activar el transpondedor en caso que sea 100% pasivo, *cabe señalar que, la bobina antena debe ser diseñada para maximizar el voltaje inducido*. Este epígrafe revisa lo básico de la teoría electromagnética para comprender las bobinas funcionando como antenas en los sistemas RFID, asimismo, se explica el procedimiento para la fabricación de una bobina antena.

4.2.1. Corriente y campo magnético

La *Ley de Ampere* enuncia que la corriente que fluye en un conductor produce un campo magnético alrededor de ese conductor [13]. La **Figura 4.9** muestra el campo magnético producido por un elemento de corriente. La ecuación que representa este fenómeno está dada por:

$$B_{\phi} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \text{ (Weber/m}^2\text{)} \quad (4.11)$$

Dónde: I es la corriente, r es distancia desde el centro del cable, μ_0 es la permeabilidad del espacio libre dado como $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (Henry/metros). En un caso especial donde se tiene un cable infinitamente largo; donde $\alpha_1 = -180^\circ$ y $\alpha_2 = 0^\circ$, la ecuación anterior puede ser reescrita como:

$$B_{\phi} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \text{ (Weber/m}^2\text{)} \quad (4.12)$$

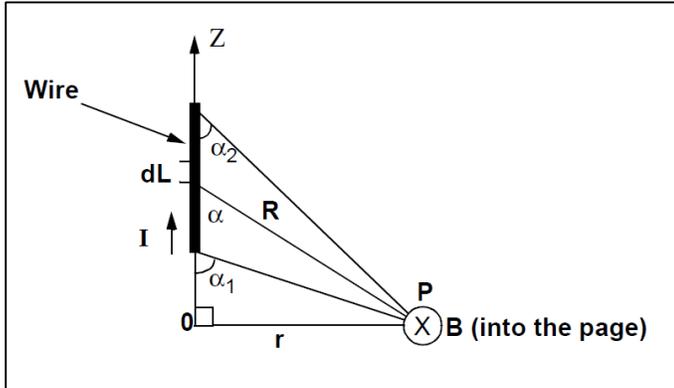


Figura 4.9 Cálculo del campo magnético \mathbf{B} a una localización \mathbf{P} debido a la corriente I que circula por un cable recto conductor.

Asimismo, el campo magnético producido por una antena bobina circular de lazo con N vueltas, tal como se muestra en la **Figura 4.10** se encuentra por medio de **(4.13)**:

$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{\text{Weber}}{\text{m}^2} \right) \quad (4.13)$$

$$= \frac{\mu_0 I N a^2}{2} \left(\frac{1}{r^3} \right); \text{ para } r^2 \gg a^2$$

Dónde: ' a ' es el radio del lazo. Asimismo, la ecuación **(4.13)** indica que el campo magnético producido por una antena de lazo decae con cada $1/r^3$ como se muestra en el gráfico de la **Figura 4.11**. Este comportamiento de decaimiento en el campo cercano es el principal factor limitante en el rango de lectura de los dispositivos RFID. La fuerza del campo es máxima en el plano del lazo y directamente proporcional a la corriente ' I ', el número de vueltas ' N ' y el área de superficie del lazo. La ecuación **(4.13)** es frecuentemente usada para calcular los requerimientos de *amperios-vuelta* para el rango de lectura. Unos cuantos ejemplos para calcular los amperios-vuelta y la intensidad necesaria del campo magnético para energizar una etiqueta serán expuestos en las siguientes secciones.

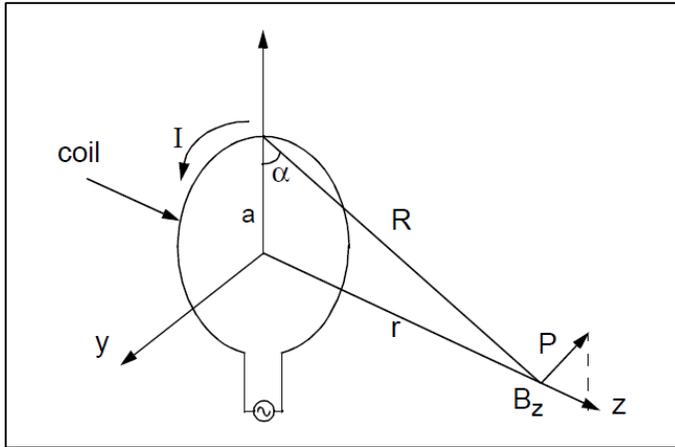


Figura 4.10 Cálculo del campo magnético \mathbf{B} a una localización \mathbf{P} debido a la corriente \mathbf{I} que circula por un lazo.

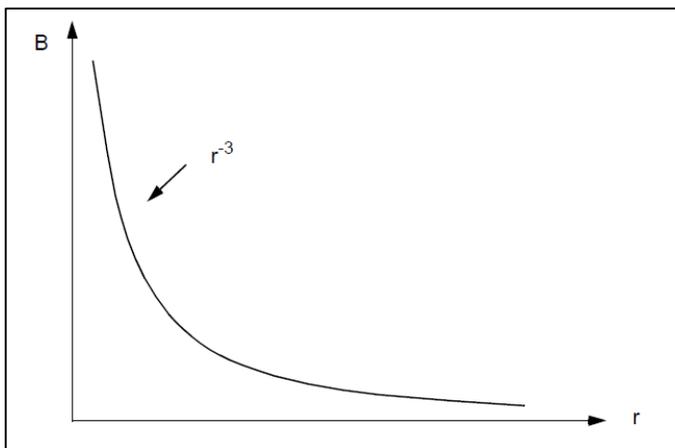
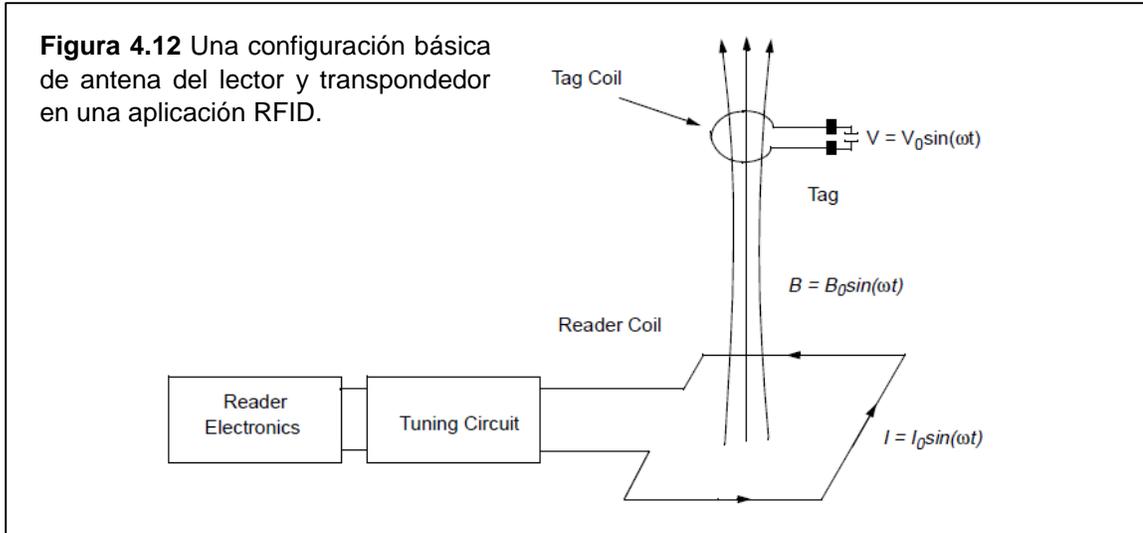


Figura 4.11 Decaimiento del campo magnético \mathbf{B} vs distancia r .

4.2.2. Voltaje inducido en la bobina antena

La ley de *Faraday* enuncia que un campo magnético variable en el tiempo a través de una superficie limitada por una vía cerrada induce un voltaje alrededor de ese lazo. Este principio fundamental tiene importantes consecuencias para la operación de los dispositivos RFID pasivos. La **Figura 4.12** muestra la simple geometría de una aplicación RFID. Cuando las antenas de la etiqueta y el lector están a una distancia aproximada, el campo magnético variable en el tiempo \mathbf{B} , el cual es producido por la bobina antena del lector induce un voltaje (llamado Fuerza electromotriz EMF o FEM) en la antena de la etiqueta [13]. Esto es llamado ley de Faraday. El voltaje inducido en la bobina de la etiqueta es igual a la razón de cambio temporal del flujo magnético ψ [14].

$$V = -N \left(\frac{d\Psi}{dt} \right) \tag{4.14}$$



Dónde: N es el número de vueltas en la antena bobina y Ψ es el flujo magnético a través de cada vuelta. El signo negativo de la ecuación (4.14) denota que el voltaje inducido actúa de manera opuesta al flujo de campo magnético que lo produce. Esto es conocido como la *Ley de Lenz* y enfatiza el hecho que la dirección del flujo de corriente en el circuito es de tal forma que el campo magnético inducido producido por la corriente inducida será opuesto al campo magnético original. El flujo magnético ψ en la ecuación (4.14) es el campo magnético total B que atraviesa la superficie entera de la antena de la bobina y se puede encontrar por medio de la ecuación (4.15):

$$\Psi = \int B \cdot dS \quad (4.15)$$

Dónde: B es el campo magnético dado en la ecuación (4.13), S es el área de superficie de la bobina y “ \cdot ” es producto punto de los vectores B y S (coseno del ángulo entre ambos). La presentación del producto punto de dos vectores en la ecuación (4.15) sugiere que el total de flujo magnético ψ que pasa a través de la bobina antena es afectado por la orientación de las bobinas. El producto punto de dos vectores se vuelve máximo cuando los dos vectores están en la misma dirección. Por ello, el flujo magnético que está pasando a través de la bobina de la antena será máximo cuando las dos bobinas (bobina del lector y bobina del transpondedor) estén posicionadas en paralelo una con respecto a la otra. De las ecuaciones (4.13), (4.14) y (4.15), el voltaje inducido V_0 para una antena sin sintonizar es:

$$V_0 = 2\pi f N S B_0 \cos \alpha \quad (4.16)$$

Dónde: f es la frecuencia de llegada de la señal, N es el número de vueltas de la bobina en el lazo, S es el área del lazo en metros cuadrados (m^2), B_0 es la fuerza de llegada de la señal y α es el ángulo de llegada de la señal. Si la bobina es sintonizada con un

capacitor **C**, a la frecuencia de llegada (125kHz por ejemplo), la salida de voltaje V_0 incrementará. La salida de voltaje encontrada en la ecuación (4.16) es multiplicada por el factor de calidad **Q** que ha sido cargado al circuito. El cual típicamente puede variar de 5 a 50 en aplicaciones RFID de baja frecuencia, de tal forma que la ecuación sería:

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \quad (4.17)$$

Dónde: **Q** es la medida de selectividad de la frecuencia de interés. El factor **Q** será definido más adelante para el circuito resonante general, circuito paralelo y circuito serial. Además, el voltaje inducido a través del lazo de la bobina antena es una función del ángulo de llegada de la señal. El voltaje inducido es maximizado cuando la bobina antena es posicionada perpendicular a la dirección de la señal entrante donde $\alpha = 0$. En el **Anexo VII-I** se muestra el **Ejemplo 1** con las ecuaciones anteriores para calcular el campo magnético de un sistema RFID. Asimismo, para un mayor rango de lectura, se debe considerar el incrementar el radio de la bobina. Por ejemplo, al doblar el radio del lazo de 16cm, los requerimientos de “amperios-vuelta” para el mismo rango de lectura 10 pulgadas 25.4cms expuestos en el **Ejemplo 2** del **Anexo VII-II** se convierten en:

$$\begin{aligned} NI &= \frac{2 (1.5 \times 10^{-6})(0.16^2 + 0.254^2)^{\frac{3}{2}}}{(4\pi \times 10^{-7})(0.16^2)} \quad (4.18) \\ &= 2.44 \text{ (ampere - turns)} \end{aligned}$$

Por otro lado, para un rango de lectura de 20 pulgadas (50.8cm), los amperios-vueltas se convierten en 13.5 y para un rango de 25.2 pulgadas (64cm) los amperios-vueltas resultan ser 26.8. Por ello, para un mayor rango de lectura, incrementar el tamaño de la etiqueta (“tag”), es a menudo más efectivo que incrementar la corriente en la bobina. La **Figura 4.14** muestra la relación entre el rango de lectura y los amperios-vueltas.

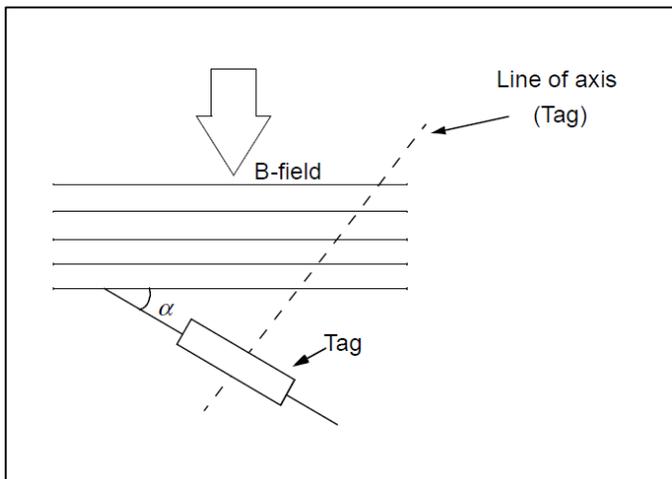


Figura 4.13 Dependencia de la orientación de la antena del transpondedor.

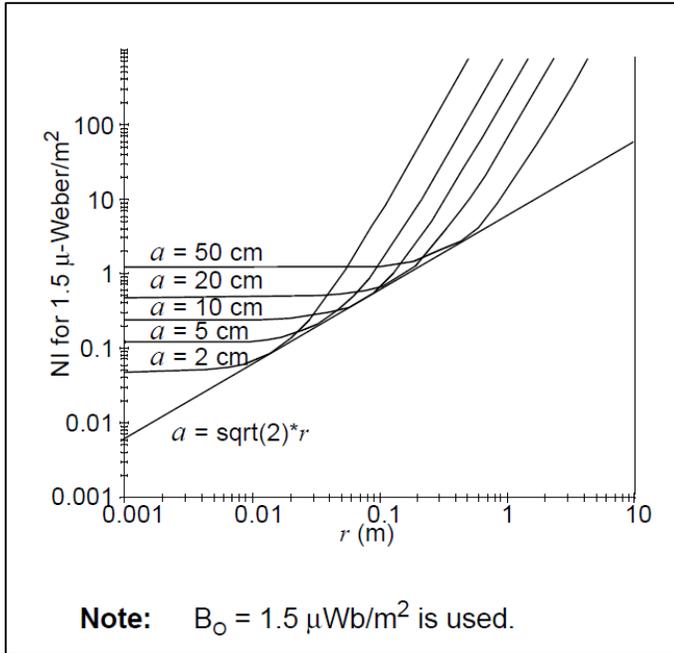


Figura 4.14 Amperios-vuelta vs rango de lectura para una tarjeta de control de acceso (tamaño tarjeta de crédito).

El radio óptimo de lazo que requiere el mínimo número de “amperios-vueltas” para un rango particular de lectura puede ser encontrado de la ecuación (4.13) tal como:

$$(NI) = \frac{K(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}{a^2} \quad (4.19)$$

Donde:

$$K = \frac{2B_z}{\mu_0}$$

Al tomar derivadas con respecto al radio “a” se tiene:

$$\frac{d(NI)}{da} = K \frac{2B_z}{\mu_0}$$

$$= K \frac{(a^2 - 2r^2)(a^2 + r^2)^{\frac{1}{2}}}{a^3}$$

La ecuación de arriba se vuelve mínima cuando:

$$a^2 - 2r^2 = 0$$

El resultado de arriba muestra la relación entre el rango de lectura y el tamaño de la etiqueta. El radio óptimo es encontrado como:

$$a = \sqrt{2}r$$

Dónde: “a” es el radio de la bobina y “r” es el rango de lectura. El resultado de arriba indica que el radio óptimo para la antena del lector es 1.414 veces el rango de lectura.

4.2.3. Tipos de alambre y pérdidas óhmicas

4.2.3.1. Tamaño del alambre y resistencia DC

El diámetro de un alambre eléctrico es expresado por medio de un número del estándar: “American Wire Gauge” (AWG) [14]. El número del calibre es inversamente proporcional al diámetro y los diámetros son aproximadamente doblados cada seis calibres de alambre. El cable con un diámetro más pequeño tiene más alta resistencia. La resistencia DC de un conductor con un área de sección transversal uniforme se encuentra con:

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} (\Omega) \quad (4.20)$$

Dónde: “ l ” es la longitud total del alambre, “ σ ” es la conductividad y “ S ” el área transversal. La **Tabla AVII.1** en el **Anexo VII-III** muestra el diámetro para un cable desnudo y esmaltado, además de su resistencia DC.

4.2.3.2. Resistencia AC del alambre

Para un voltaje DC las cargas portadoras son igualmente distribuidas a través de toda la sección transversal del alambre. Conforme la frecuencia incrementa, la resistencia cerca del centro del cable incrementa también. Esto resulta en una más alta impedancia para la densidad de corriente en la región. Por ello las cargas se mueven lejos del centro del alambre hacia el borde del alambre. Como resultado, la densidad de corriente decrece en el centro del cable e incrementa cerca del borde del alambre. Esto es llamado el **efecto piel**⁴³. La profundidad del conductor en la que la densidad de corriente decae $1/e$, es decir 37% de su valor a lo largo de la superficie, es conocida como **profundidad de piel**⁴⁴ [13]. La profundidad de piel es una función de la frecuencia, la permeabilidad y la conductividad del medio. La profundidad de piel está dada por:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (4.21)$$

Dónde: f es la frecuencia, μ es permeabilidad del material y σ es la conductividad del material. De esa manera, la resistencia del cable incrementa con la frecuencia, y la resistencia debido a la profundidad de piel es llamada una resistencia AC. Una fórmula aproximada para la resistencia AC es dada por:

$$R_{AC} = \frac{1}{2\sigma\pi\delta} = (R_{DC}) \frac{a}{2\delta} \quad (4.22)$$

Dónde: “ a ” es el radio de la bobina. Además, para un alambre de cobre, la pérdida es aproximada por la resistencia DC de la bobina, si el radio del alambre es más grande que $0.066/\sqrt{f}$ cm. En 125kHz, el radio crítico es 0.019 cm. Esto es el equivalente de un alambre de calibre AWG 26. Por ello para pérdidas mínimas, un calibre de alambre más grande que el AWG 26 debería evitarse si se quiere maximizar el Q de la bobina.

4.2.4. Cálculo de Inductancia para varios tipos de bobinas

La corriente eléctrica que fluye a través de un conductor produce un campo magnético. Este campo magnético variable en el tiempo es capaz de producir un flujo de corriente a través de otro conductor. Este fenómeno está relacionado con la inductancia. La inductancia L depende de las características físicas del conductor. Una bobina tiene más inductancia que un alambre recto del mismo material, y una bobina con más vueltas tiene más inductancia que una bobina con menos vueltas. La inductancia L de un inductor es definida como la razón del acoplamiento de flujo magnético total con la corriente I a través del inductor, por medio de la ecuación:

⁴³ “*skin effect*” en inglés.

⁴⁴ “*skin depth*” en inglés.

$$L = \frac{N\Psi}{I} \text{ (Henry)} \quad (4.23)$$

Dónde: **N** es el número de vueltas, **I** es la corriente y **Ψ** el flujo magnético. En una aplicación típica de antena bobina RFID para 125kHz, la inductancia es a menudo elegida como unos pocos de mili-henrios (mH) para una etiqueta y de unos pocos cientos a unos pocos miles de micro-henrios (μH) para el lector. Para una antena bobina con múltiples vueltas, una inductancia más grande se consigue con vueltas más cerradas. Por ello, la antena de la etiqueta, que debe ser formada en un espacio limitado, generalmente necesita un devanado multi-capas para reducir el número de vueltas. El diseño del inductor pareciera ser un asunto simple, sin embargo, es casi imposible construir un inductor ideal por dos razones:

- a) La bobina tiene una conductividad **finita** que resulta en pérdidas.
- b) Existe una capacitancia parásita distribuida entre las vueltas de una bobina y entre el conductor y los objetos alrededor.

La inductancia actual es siempre una combinación de la resistencia, inductancia y capacitancia [14]. La inductancia aparente es la inductancia efectiva a cualquier frecuencia, esto es, el efecto inductivo menos el efecto capacitivo. Varias fórmulas existen disponibles en las literaturas para el cálculo de la inductancia para alambres y bobinas. Los parámetros en el inductor pueden ser medidos, por ejemplo con un medidor *LCR HP 4285* que puede medir la inductancia, resistencia y Q de una bobina.

4.2.4.1. Inductancia a través de un cable recto

La inductancia de un cable recto mostrado en la **Figura 4.9** está dada por:

$$L = 0.002l \left[\ln \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right] (\mu H) \quad (4.24)$$

Dónde: **l** y **a** son la longitud y el radio del alambre en cm respectivamente.

4.2.4.2. Inductancia de una bobina de una sola capa

La inductancia de una bobina de una sola capa mostrada en la **Figura 4.15** puede ser calculada por medio de:

$$L = \frac{(aN)^2}{22.9l + 25.4a} (\mu H) \quad (4.25)$$

Dónde: '**a**' es el radio de la bobina en *cm*, **l** es el largo de la bobina en *cm* y **N** es el número de vueltas de la bobina.

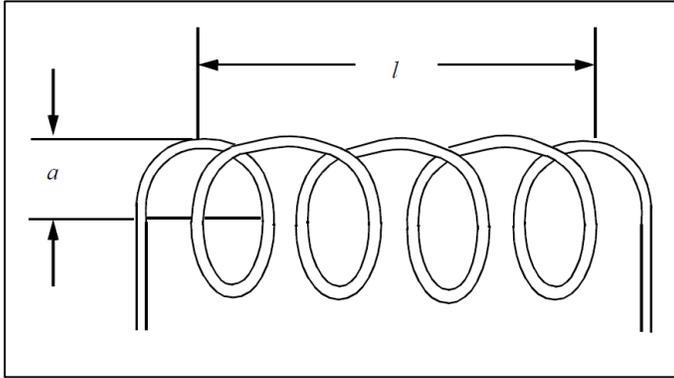


Figura 4.15 Bobina de una sola capa. Para un mejor Q de bobina, la longitud debería ser aproximadamente la misma que el diámetro de la bobina.

4.2.4.3. Inductancia de una bobina circular con múltiples capas

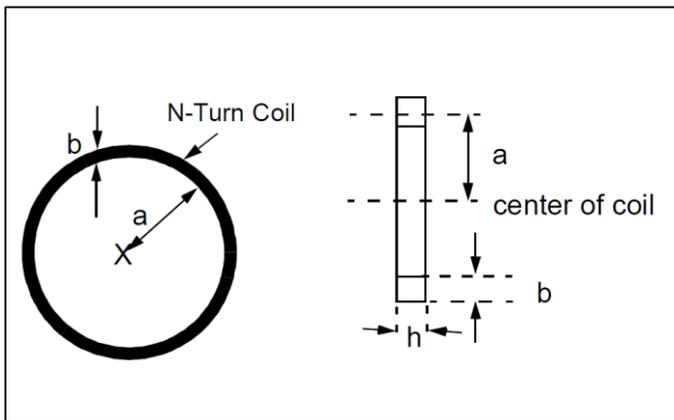


Figura 4.16 Bobina circular de lazo multi-capas con núcleo de aire y N-vueltas.

Para formar una inductancia muy alta en un espacio limitado, es más eficiente usar bobinas ensambladas en multi-capas. Por esta razón, una antena típica RFID es formada mediante una estructura plana multi-vueltas. Asimismo, Las bobinas antenas multi-capas pueden ser de diferentes formas. La **Figura 4.16** muestra la sección transversal de una bobina multi-capas circular. La inductancia de una antena circular de anillo es calculada por la formula empírica:

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} (\mu H) \quad (4.26)$$

Dónde: '*a*' es el radio promedio de la bobina en cm, *N* es el número de vueltas, *b* es el grosor del devanado en cm y *h* la altura del devanado en cm. El número de vueltas para el valor de una inductancia determinada es simplemente obtenido de la ecuación (4.26) tal como se muestra a continuación:

$$N = \sqrt{\frac{L_{\mu H}(6a + 9h + 10b)}{(0.31)a^2}} \quad (4.27)$$

4.2.4.4. Inductancia de una bobina cuadrada con múltiples capas

Si N es el número de vueltas y ' a ' es el lado del cuadrado medido con el centro de la sección transversal rectangular que tiene longitud ' b ' y profundidad ' c ' como se muestra en la **Figura 4.17**, entonces:

$$L = 0.008aN^2 \left(2.303 \log_{10} \left(\frac{a}{b+c} \right) + 0.2235 \left(\frac{b+c}{a} \right) + 0.726 \right) (\mu H) \quad (4.28)$$

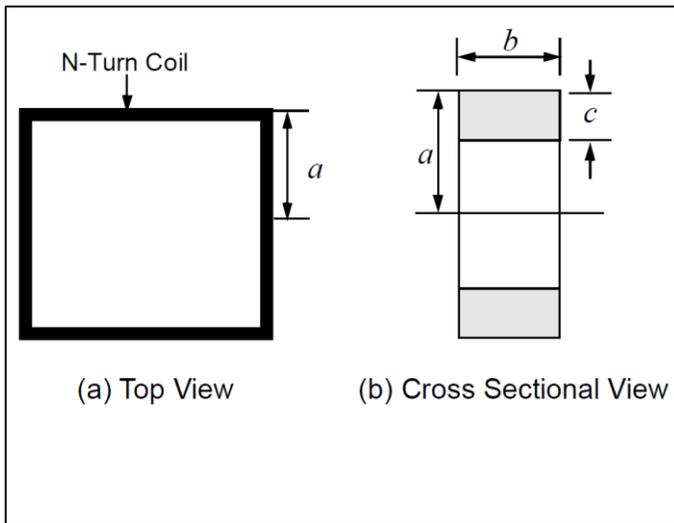


Figura 4.17 Bobina cuadrada de lazo con multi-capas y núcleo de aire.

Las fórmulas para los cálculos de inductancia son ampliamente publicadas y proveen de una aproximación razonable para la relación entre inductancia y número de vueltas para un tamaño físico dado de bobina [13]. Cuando se construyen prototipos de bobinas, es correcto exceder el número calculado de vueltas en un 10%, y luego remover vueltas para alcanzar la resonancia. Para la producción de bobinas, es mejor especificar una inductancia y una tolerancia más que un número específico de vueltas.

4.2.5. Configuración de bobinas como antenas RFID

4.2.5.1. Bobina antena de un transpondedor RFID

Una bobina antena para una etiqueta RFID puede ser configurada en muchas diferentes formas, dependiendo del propósito de la aplicación y de las restricciones dimensionales. Una típica inductancia L para la bobina de una etiqueta es de unos cuantos mili-henrios (mH) para dispositivos de 125kHz. La **Figura 4.18** muestra varias configuraciones de bobinas antenas para una etiqueta. La inductancia y el número de vueltas de la bobina pueden ser calculadas por las fórmulas dadas en las secciones previas. Un medidor de inductancia es a menudo usado para medir la inductancia. Un número típico de vueltas de la bobina es en el rango de las 100 vueltas para 125kHz y 3-5 vueltas para los dispositivos de 13.56MHz. Para un rango de lectura mayor, la bobina antena debe ser sintonizada apropiadamente a la frecuencia de interés. La sintonización se alcanza con un capacitor resonador que se conecta en paralelo a la bobina como se muestra en la **Figura 4.18**. La fórmula para el valor de capacitor resonador está dado por la ecuación (AVII.5) en el Anexo VII-VI.

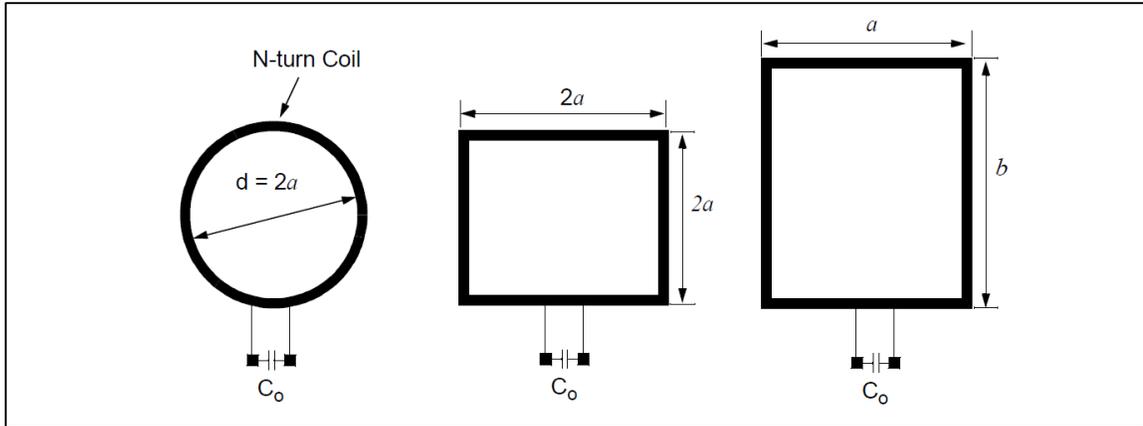


Figura 4.18 Varias configuraciones para bobinas antenas en un transpondedor.

4.2.5.2. Bobina antena de un lector RFID

La inductancia para la bobina antena de un lector RFID esta típicamente en el rango de unos cuantos cientos a unos pocos miles de micro-Henrios (μH) para aplicaciones de baja frecuencia. La antena lectora puede ser diseñada con una sola bobina, que es típicamente un circuito resonante en serie, o bien, puede ser fabricada como una bobina de doble lazo (transformador), que se forma al implementar un circuito resonador en paralelo [13]. El circuito resonador en serie tiene como resultado una mínima impedancia a la frecuencia de resonancia [14]. Por ello, un circuito en serie conduce una mayor corriente a la frecuencia de resonancia que un circuito en paralelo. Por otro lado, el circuito resonante paralelo, resulta en una mayor impedancia a la frecuencia de resonancia. Por esta razón, la corriente se vuelve mínima a la frecuencia de resonancia. Ya que en un circuito en paralelo el voltaje puede ser elevado al formar un doble lazo de bobina, el circuito resonante paralelo es a menudo usado en sistemas donde una señal de mayor voltaje es requerido en lugar de una señal con más corriente. La **Figura 4.19** muestra un ejemplo de una antena bobina de lazo doble.

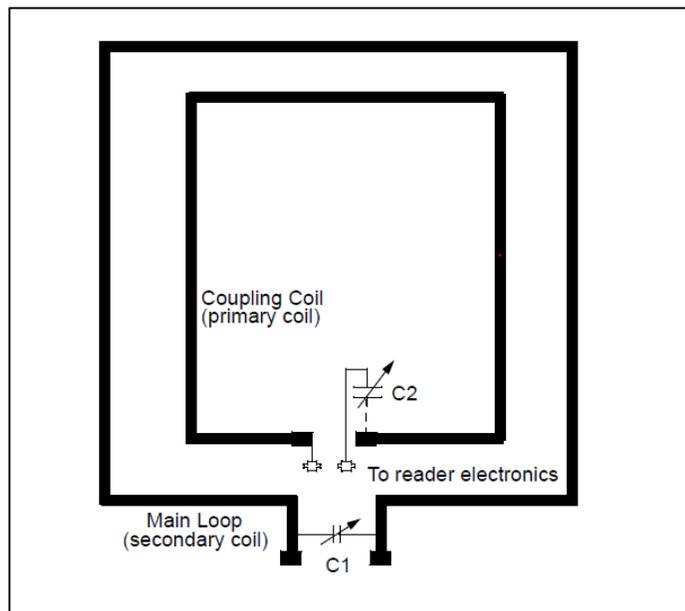


Figura 4.19 Antena de lazo doble para lector RFID.

El lazo principal (secundario), está formado con muchas vueltas de alambre en un gran marco, con un capacitor sintonizador que opera con la frecuencia de resonancia (125kHz). El otro lazo es llamado lazo de acople y está formado con menos de dos o tres vueltas. Este lazo está posicionado, usualmente pero no necesariamente, en el borde interno y a no más de un par de centímetros lejos del lazo principal. El

propósito de este lazo es acoplar las señales inducidas por el lazo principal hacia el lector (o vice versa) en una impedancia de enlace más razonable. El lazo de acoplamiento (primario), provee una impedancia que coincide con la entrada o salida de la impedancia del lector. La bobina es conectada a la entrada o salida del controlador de señales en los componentes del lector. Por otro lado, el lazo de acople estará usualmente desintonizado, pero en algunos diseños, un capacitor de sintonización C_2 es posicionado en serie con el lazo de acople. Además, ya que hay menos vueltas en el lazo de acople que en el lazo principal, entonces la inductancia es considerablemente pequeña. Como resultado, la capacitancia para resonar es usualmente más grande.

4.2.6. Circuitos de resonancia y factor de calidad Q

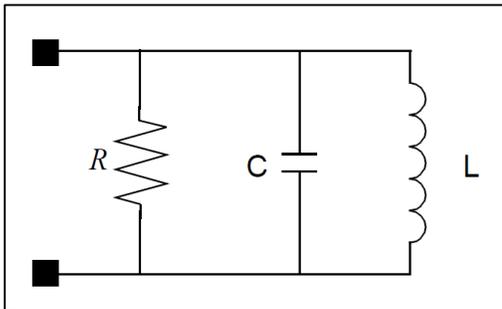


Figura 4.20 Circuito resonador paralelo.

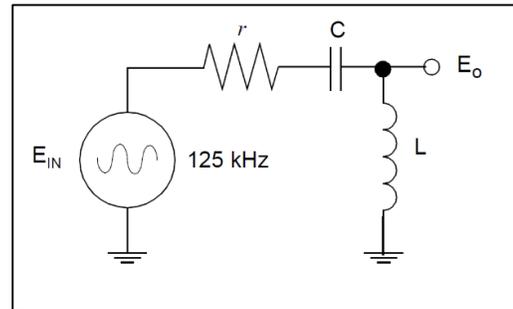


Figura 4.21 Circuito resonador en serie.

En las aplicaciones RFID, la bobina antena es el elemento del circuito resonante y el rango de lectura del dispositivo es en gran manera afectado por el desempeño del circuito resonante. La **Figuras 4.20** y **Figura 4.21** muestran ejemplos típicos de circuitos resonantes formados por una bobina antena y un capacitor de sintonización. La frecuencia de resonancia (f_0) del circuito es determinada por:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.29)$$

Dónde: L es la inductancia de la bobina antena y C es la capacitancia de sintonización. De esa manera, el circuito resonante puede ser formado ya sea por series o paralelos. El circuito resonante en serie tiene una impedancia mínima en la frecuencia de resonancia. Como resultado, hay una máxima corriente disponible en el circuito. El circuito resonante en serie es típicamente usado para la antena del lector. Por otro lado, el circuito resonante en paralelo tiene una máxima impedancia a la frecuencia de resonancia. Esta ofrece una mínima corriente y un máximo voltaje a la frecuencia de resonancia. Este circuito resonante en paralelo es usado para la antena de los transpondedores [13].

4.2.6.1. Circuito resonante en paralelo

La **Figura 4.20** muestra un circuito simple resonante en paralelo. La impedancia total del circuito está dada por:

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\frac{\omega L}{R}} \quad (\Omega) \quad (4.30)$$

Dónde: ω es la frecuencia angular igual a $2\pi f$ y R es el resistor de carga. Asimismo, la resistencia óhmica r de la bobina es ignorada. La máxima impedancia ocurre cuando el denominador en la ecuación de arriba es minimizado tal como se muestra a continuación:

$$\omega^2 LC = 1 \quad (4.31)$$

Esto es llamado condición de resonancia y la frecuencia está dada por:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.32)$$

Asimismo, al incluir la ecuación (4.31) dentro de (4.30), tenemos que la impedancia a la frecuencia de resonancia se convierte en:

$$Z = R \quad (4.33)$$

Por otro lado, el valor de R y C determinan el ancho de banda B del circuito mediante:

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (\text{Hz}) \quad (4.34)$$

Y el factor de calidad Q es definido de varias maneras tal como:

$$Q = \frac{\text{Energía almacenada en el sistema por un ciclo}}{\text{Energía disipada en el sistema por un ciclo}} \quad (4.35)$$

$$Q = \frac{f_0}{B}$$

Dónde: f_0 es la frecuencia de resonancia, B es el ancho de banda, de esa manera al aplicar la ecuación (4.32) y la ecuación (4.34) dentro de la ecuación (4.35), el Q cargado en el circuito resonante paralelo es:

$$Q = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (4.36)$$

El valor de Q en el circuito resonante paralelo es directamente proporcional al resistor de carga (R) y también a la raíz cuadrada de la razón de la capacitancia (C) con respecto a la inductancia en el circuito [14]. Cuando este circuito resonante en paralelo es usado para el circuito de antena del transpondedor, la caída de voltaje a través del circuito puede ser obtenida al combinar las ecuaciones (4.17) y (4.36) como se muestra a continuación:

$$V_0 = 2\pi f_0 N \left(R \sqrt{\frac{C}{L}} \right) S B_0 \cos \alpha \quad (4.37)$$

La ecuación (4.37) indica que el voltaje inducido en la bobina del transpondedor es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la inductancia de la bobina, pero proporcional al número de vueltas y al área de superficie de esta.

4.2.6.2. Circuito resonante en serie

Un circuito simple resonante en serie se muestra en la **Figura 4.21**. La expresión para la impedancia de este circuito es:

$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (\Omega) \quad (4.38)$$

Dónde: r es la resistencia óhmica del circuito, asimismo:

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (\Omega) \quad (4.39)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 L} \quad (\Omega) \quad (4.40)$$

De esa manera, la impedancia en la ecuación (4.38) se vuelve mínima cuando la componente reactiva se cancela una con la otra, es decir, cuando $X_L = X_C$. Esto es llamado condición de resonancia. La frecuencia de resonancia es la misma que la resonancia en paralelo dada en la ecuación (4.32). Por otro lado, el ancho de banda es determinado por r y L dado por:

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (\text{Hz}) \quad (4.41)$$

El factor de calidad, Q , en el circuito resonante en serie está dada por:

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega C r} ; \text{para el circuito sin carga} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} ; \text{para el circuito con carga} \end{cases} \quad (4.42)$$

El circuito resonante en serie forma un divisor de voltaje; el voltaje a través de la bobina está dado por:

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_{in} \quad (4.43)$$

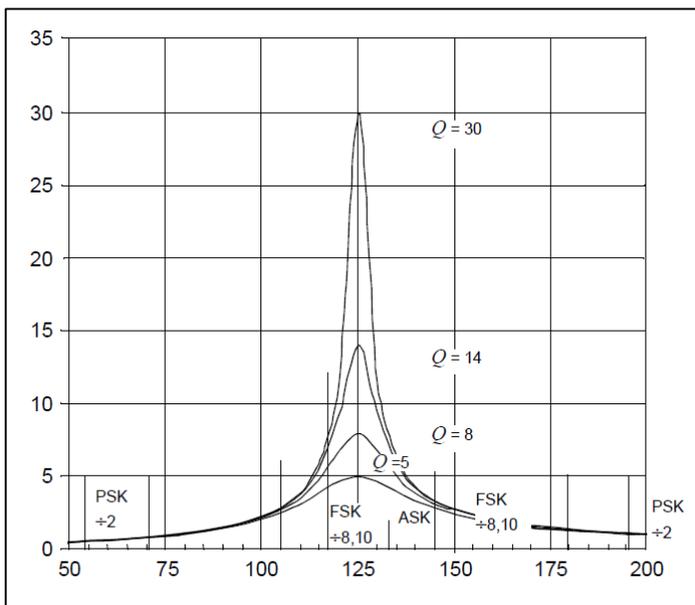
O mediante la ecuación:

$$\left| \frac{V_0}{V_{in}} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (4.44)$$

4.2.6.3. Q y ancho de banda

La **Figura 4.22** muestra las bandas aproximadas de frecuencia para las formas más comunes de modulación: **ASK**, **FSK** y **PSK**. Para una completa recuperación de las señales de datos provenientes de las etiquetas, el circuito lector necesita un ancho de banda el cual es al menos el doble de la razón de transferencia de datos. Por ello, si la razón de transferencia de datos es 8kHz para una señal ASK, el ancho de banda debe ser al menos de 16kHz para una recuperación completa de la información que proviene de la etiqueta. La razón de transferencia para una señal FSK ($\div 10$) es 12.5kHz. Por ello, es necesario un ancho de banda de 25kHz para una recuperación completa de los datos. El valor de **Q** para esta señal FSK ($\div 10$) puede ser obtenido de la ecuación **(4.35)**.

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{125kHz}{25kHz} ; Q = 5 \quad (4.45)$$



Para una señal PSK ($\div 2$), la razón de transferencia es 62.5kHz (si la frecuencia portadora es 125kHz), por ello, el circuito lector necesita 125kHz de ancho de banda. El **Q** en este caso es 1, y en consecuencia el circuito se convierte en independiente de **Q**. Este problema puede ser resuelto separando las bobinas transmisoras y receptoras. La bobina de transmisión puede ser diseñada con un **Q** más alto y la bobina receptora con un **Q** más bajo.

Figura 4.22 Factor Q versus señales moduladas.

4.2.6.4. Limitación de Q

Cuando se diseña un circuito de antena para un lector, la tentación es diseñar una bobina con un Q muy alto. Pero hay 3 importantes limitaciones en esta aproximación:

- a) Un Q muy alto produce voltajes muy altos en las terminales de la bobina, lo cual puede causar la ruptura del aislamiento tanto en la bobina como en el capacitor resonador. Por ejemplo 1A de flujo de corriente en una bobina de 2mH producirá una caída de voltaje de 1500Vpp. Estos voltajes son fáciles de obtener pero son difíciles de aislar. Además, en el caso de diseños con una sola bobina lectora, la recuperación de la señal de retorno proveniente de la etiqueta debe ser alcanzado en la presencia de esos altos voltajes.
- b) La sintonización se vuelve crítica. Para implementar un circuito con un alto **Q** de antena, deben usarse componentes de alto voltaje con muy baja tolerancia y alta estabilidad. Tales partes son generalmente caras y difíciles de obtener.
- c) Conforme el **Q** del circuito se vuelve más grande, la amplitud de la señal de retorno relacionada con la potencia de la portadora se vuelve proporcionalmente más pequeña complicando su recuperación por el circuito lector.

4.2.7. Métodos de sintonización

El circuito de antena debe ser sintonizado a la frecuencia de resonancia para un máximo desempeño (rango de lectura) del dispositivo. Dos ejemplos de sintonizado de circuito se muestran a continuación.

4.2.7.1. Medición de voltaje

- a) Configurar una fuente de señal de voltaje a la frecuencia de resonancia.
- b) Conectar una fuente de señal de voltaje a través del circuito resonante.
- c) Conectar un osciloscopio a través del circuito resonante.
- d) Sintonizar el capacitor o la bobina mientras observa la amplitud de la señal en el osciloscopio.
- e) Detener la sintonización en el máximo voltaje.

4.2.7.2. Parámetro S o medición de impedancia (analizador de red)

- a) Configurar el analizador de red (S-Parameter Test Set) para una medida S11, y hacer una calibración.
- b) Medir el S11 para el circuito resonante.
- c) La reflexión de impedancia o admitancia puede ser medida en lugar de S11.
- d) Sintonizar el capacitor o la bobina hasta un máximo nulo (S11) ocurra en la frecuencia de resonancia f_0 . Para la medida de la impedancia, el pico máximo ocurrirá para el circuito resonante paralelo, y un mínimo pico para el circuito resonante en serie.

4.2.8. Rango de lectura de un dispositivo RFID inductivo

El rango de lectura está definido como la máxima distancia de comunicación entre el lector y la etiqueta. El rango de lectura de los productos RFID típicamente varía de una

pulgada (2.54cm) hasta 1 metro, dependiendo de la configuración del sistema. El rango de lectura de un dispositivo RFID es, en general, afectado por los siguientes parámetros:

- Frecuencia de operación y desempeño de las bobinas antenas.
- Q de la antena y sintonización del circuito.
- Orientación de la antena.
- Voltaje de excitación.
- Sensibilidad del receptor.
- Algoritmo de codificación (o modulación) y decodificación (demodulación).
- Algoritmo de número de bits de datos y detección (interpretación).
- Condición de operación en el entorno (metales, ruido eléctrico etc.)

Con una frecuencia de operación dada, las condiciones de arriba (“a-c”), están relacionadas con el sintonizado del circuito. Las condiciones (“d-e”) están determinadas por la topología del lector. La condición “f” es llamada protocolo de comunicación del dispositivo y “g” está relacionada con al programa de interpretación de datos. Asumiendo que el dispositivo opera bajo ciertas condiciones dadas, el rango de lectura del dispositivo es altamente afectado por el desempeño de la bobina antena. Es siempre cierto que un rango de lectura más grande es esperado con un tamaño de antena más grande. Las **Figura 4.23** y **Figura 4.24** muestran ejemplos típicos de los rangos de lectura para varios dispositivos pasivos.

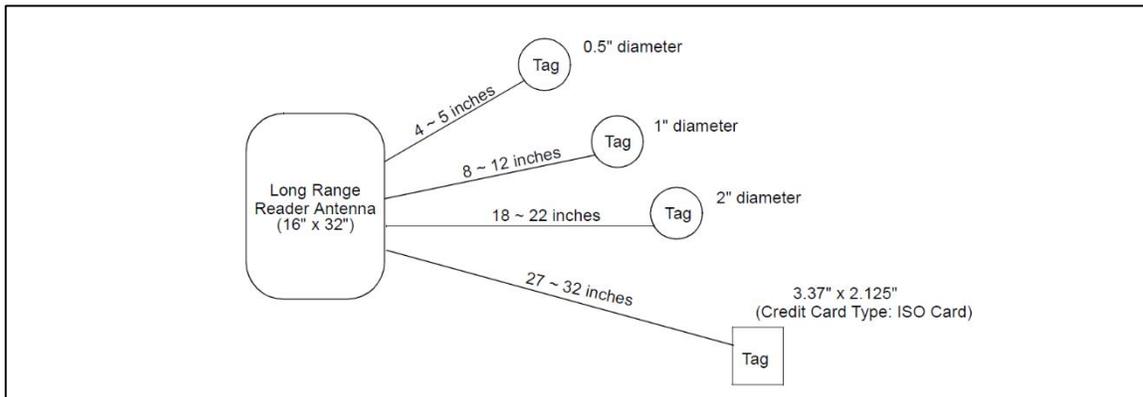


Figura 4.23 Rango de lectura para etiqueta en aplicaciones de proximidad.

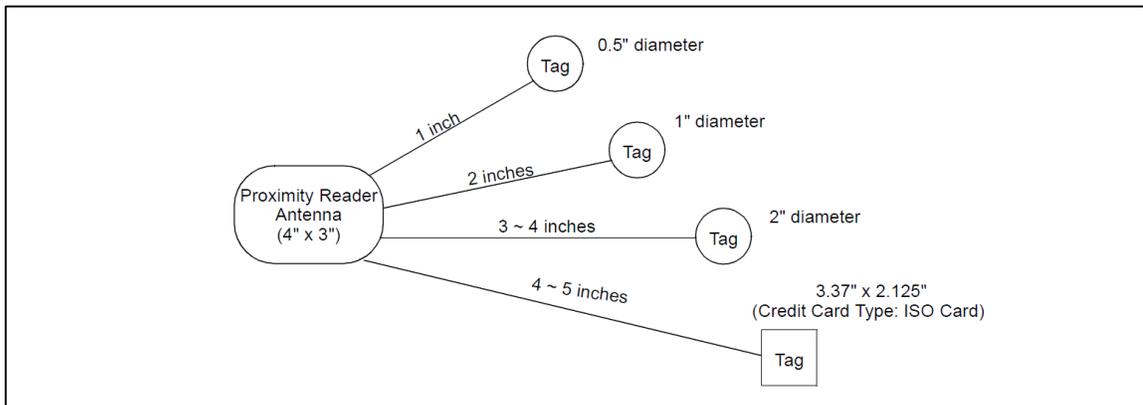


Figura 4.24 Rango de lectura para etiqueta en aplicaciones de distancia.

5. Trazabilidad bovina

5.1. ¿Qué es trazabilidad alimentaria?

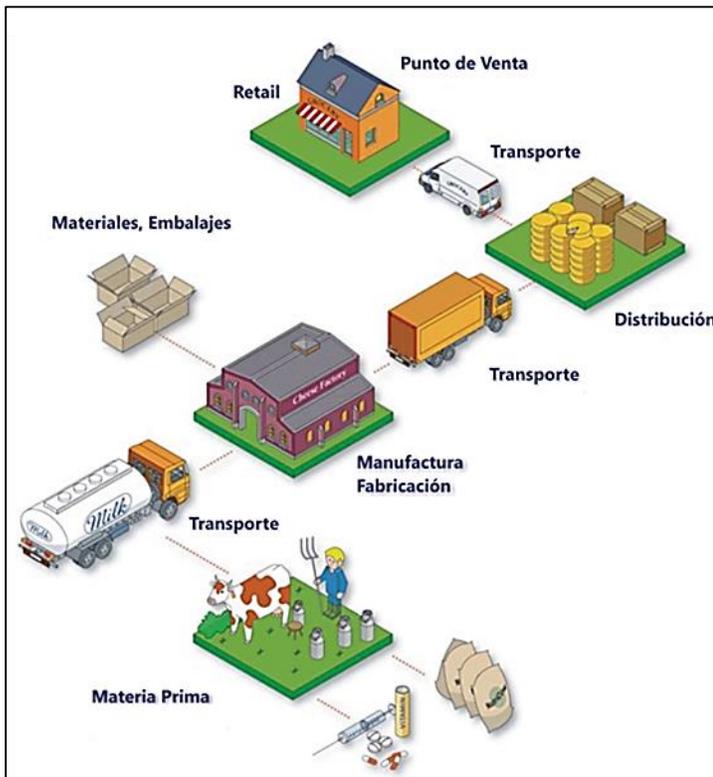


Figura 5.1 Etapas de producción que deben ser trazadas.

Según el “Codex Alimentarius”, Trazabilidad es: “La capacidad para seguir el movimiento de un alimento a través de etapas especificadas de la producción, transformación y distribución”. También, según el Reglamento **178/2000** de la Unión Europea Trazabilidad es: “La posibilidad de encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución de un alimento, un pienso, un animal destinado a la producción de alimentos o a una sustancia destinados a ser incorporados en alimentos o piensos o con probabilidad de serlo”. Estos conceptos llevan inseparablemente la necesidad de poder identificar cualquier producto dentro de la empresa productora de alimentos, desde la adquisición de las

materias primas o mercancías de entrada, a lo largo de las actividades de producción, transformación y/o distribución que se desarrolle, hasta el momento en que el operador realice su entrega al siguiente eslabón en la cadena [15]. De esa forma, seguir el rastro de los alimentos desde sus orígenes hasta su consumidor final, a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución ayuda a encontrar posibles puntos frágiles que vulneran la seguridad alimentaria del consumidor. La finalidad de la trazabilidad es mejorar la eficacia del sistema de control de la inocuidad de los alimentos a lo largo de la cadena alimentaria. De esta manera, si aparece un problema, se dispone de la información necesaria para proceder a su localización dentro de la cadena productiva, identificar las causas, adoptar las medidas correctoras y, si es necesario, retirar el producto del mercado. La trazabilidad bovina sigue este mismo procedimiento tal como muestra la **Figura 5.1**, en los próximos epígrafes se detallara más acerca de los métodos utilizados para controlar el ganado.

5.2. Origen de la trazabilidad

En la actualidad la globalización de los mercados y la facilidad con la que un consumidor puede adquirir información sobre los productos que se encuentran en él, son dos de los puntos más importantes gracias a los cuales se puede realizar una toma de decisiones para la adquisición de un producto en concreto.

Los principales motivos que empujaron a la *Unión Europea* a desarrollar una legislación pionera sobre los sistemas de trazabilidad y hacer obligatoria su implantación en todas las empresas alimentarias fueron las sucesivas crisis alimentarias ocurridas en el seno de la unión entre 1986 y 1996 tales como las dioxinas, las encefalopatías de vacuno y ovino y la fiebre porcina [15] (Ver **Figura 5.2**). En aquel entonces, a pesar que las autoridades sanitarias tomaron las medidas pertinentes para atajar las crisis y proteger la vida de los consumidores, el daño ya estaba hecho. El continuo bombardeo informativo por parte de los medios había generado una considerable alarma social y ya todos los consumidores desconfiaban de determinados productos, fundamentalmente los cárnicos. Esta sucesión de crisis y otras más pequeñas y puntuales como podrían ser los brotes de salmonelosis y otras toxiinfecciones alimentarias, pusieron en el punto de mira del consumidor a las empresas implicadas en la cadena alimentaria y los alimentos en sí. Como consecuencia, el consumidor, razonablemente preocupado por su salud exigía cada vez más información sobre los productos que adquiría. En un primer momento y como respuesta a cada una de las crisis alimentarias la *Unión Europea* fue creando directivas y reglamentos referentes a la seguridad alimentaria, tanto a nivel general como a nivel sectorial [15].

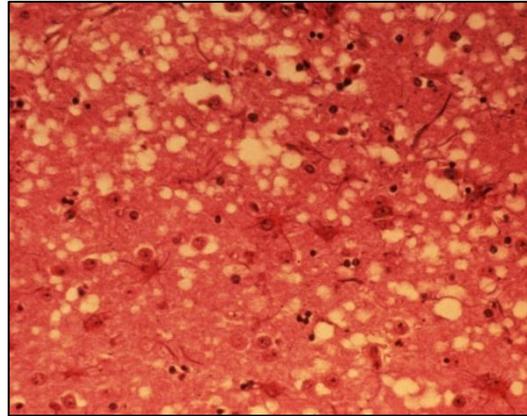


Figura 5.2 Vista microscópica de los priones causantes de la encefalopatía espongiforme bovina o mal de las “vacas locas”.

No obstante, las directrices y reglamentos no eran suficientes para actuar de una manera rápida y eficaz ante las crisis alimentarias, por lo que la *Unión Europea* impulsó la creación de un reglamento específico en el que se obliga a todas las empresas alimentarias y de piensos a instaurar un sistema de identificación y rastreabilidad de la totalidad de los productos que fabricaban o manipulaban. A partir de este momento todas las empresas alimentarias y de piensos debían disponer de un sistema de trazabilidad. Estos sistemas permiten mejorar la respuesta ante una crisis alimentaria, pues los productos están correctamente identificados y el sistema de rastreabilidad permite seguir el producto desde su origen hasta que este llega al consumidor. Además, se ofrece al consumidor, mediante la identificación de los productos, un aumento en la calidad de la información, no solo nutricional, sino también de lo referente a los componentes y materias primas que lo integran, fechas de envasado, origen, parámetros de calidad etc.

Es por esta razón que el mercado global es cada vez más exigente con las empresas alimentarias, con el fin de garantizar el derecho del consumidor de recibir alimentación sana, y que los productos alimenticios puestos en el mercado a su disposición sean salubres e inoocuos, y cuyo consumo no constituya ningún riesgo a la salud. Se entiende como empresa alimentaria aquella dedicada a la actividad de producción de alimentos o a su fabricación, procesamiento, almacenamiento, distribución o expedición o a todas estas acciones.

5.3. ¿Por qué es importante la implementación de sistemas de trazabilidad?

En esencia, porque garantiza la salubridad de los productos, lo que repercute en un aumento de la calidad [15]. La implantación de un sistema de trazabilidad permite a la empresa productora:

- La identificación y localización de los productos o materias primas a lo largo de la cadena productiva.
- Una mejora en el control de los procesos de producción, así como en la gestión de la empresa y de sus procesos. Por ejemplo, en el control de “stock” en el almacén (rotación, que productos hay en el almacén, cuanto tiempo llevan en él, saber si está prevista su expedición, etc.). Esto es posible gracias a la información generada por el sistema, facilitada en muchos casos por la aplicación de nuevas tecnologías.
- La garantía de calidad e inocuidad del producto. El que un producto, tanto fresco como preparado, lleve una etiqueta o algún distintivo que verifique que ha pasado ciertos autocontroles y ciertas inspecciones sanitarios, es un punto a favor para el empresario, asegurándose este un aumento de confianza por parte del consumidor y un consecuente aumento en las ventas.
- En caso de incidencia alimentaria, facilita por medio de los registros generados, la localización e inmovilización del producto.

Podemos decir que la trazabilidad tiene dos entornos, uno *sanitario* y el otro *comercial*, de tal manera que, el entorno sanitario está relacionado con la inocuidad de los alimentos, y el entorno comercial se relaciona con la calidad del producto y la capacidad de satisfacer a los consumidores con productos garantizados.

5.4. ¿Quién está a cargo de la trazabilidad alimentaria?

Los responsables de los sistemas de trazabilidad son las entidades públicas o privadas de un país que están relacionadas con las exportaciones. Podemos enumerar sus responsabilidades de la siguiente forma:

- *Operadores o actores económicos (Sector Privado):*
 - a. Implementar el sistema de trazabilidad.
 - b. Disponer de la información.
 - c. Colaborar con las autoridades.
- *Autoridades competentes (Sector Público):*
 - a. Promover la implantación del sistema de trazabilidad (facilitadores).
 - b. Verificar el cumplimiento de la legislación.
 - c. Auditar los procesos de trazabilidad.
 - d. Adoptar acciones conjuntas con los operadores económicos.
 - e. Coordinar las actuaciones en la materia.

5.5. ¿Porque la trazabilidad está relacionada con la electrónica?

Para poder identificar los productos a trazar, llevar registros y tener acceso a información de estos en todo momento, se necesitan marcas identificadoras y un sistema para almacenar la información relacionada a esos identificadores. En un principio cualquier sistema de identificación, localización y registro sería útil, no obstante, cuando se toma en cuenta la cantidad de productos que se deben trazar entonces no cualquier método resulta adecuado. Por ejemplo, usualmente en nuestro país se lleva un control manual por medio de papel y lápiz de la trazabilidad bovina, y no se puede negar que este método funciona para fincas con menos de una decena de animales, pero cuando la cantidad de animales incrementa a cientos o miles ya no se vuelve tan factible escribir manualmente todos los datos porque llevaría mucho tiempo y la introducción de errores incrementa. Es por ello que, se debe recurrir a sistemas computacionales con la capacidad de almacenar grandes cantidades de información de manera automática y confiable, además, se deben implementar métodos de identificación que sean compatibles con los sistemas computacionales, es decir que los métodos de identificación deben ser electrónicos también. Como ya se había mencionado en el *Capítulo 1* de este trabajo, el sistema RFID y el código de barras juegan un papel muy importante en este tipo de tareas. La **Figura 5.3** muestra información brindada al consumidor final del producto trazado mediante el uso de código QR. El código QR es una variante del código de barras, lo que lo hace versátil y accesible al consumidor final es que solo se necesita un “Smartphone” con cámara para decodificarlo.

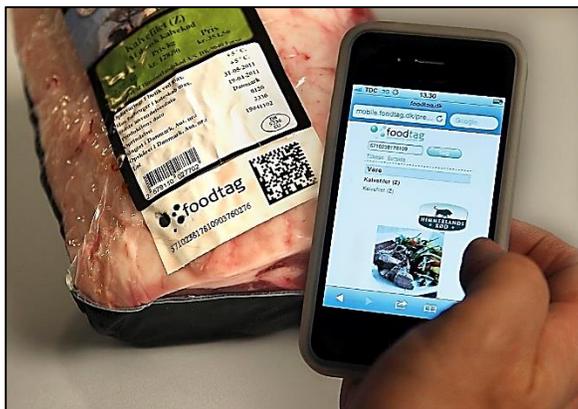


Figura 5.3 Información alimentaria por medio de código QR.

5.6. Métodos de identificación empleados en la trazabilidad bovina

En este apartado se desarrollará el tema de los métodos de identificación implementados para llevar a cabo la trazabilidad bovina. Podemos clasificar los métodos de identificación del ganado que existen en dos, ya sean: *No Electrónicos* y *Electrónicos*. Asimismo, nos enfocaremos principalmente en los métodos electrónicos, ya que son de interés en este trabajo monográfico. Para saber más de los métodos *No electrónicos* referirse al **Anexo XII-III**.

Según IPSA y APEN, en Nicaragua se utilizan dos métodos de identificación ganadera referidos como: “*Visual-Visual*” y el “*Visual-Electrónico*”. El método *Visual-Visual* mostrado en la **Figura 5.4 (1)** consiste en dos aretes, uno en forma de etiqueta plana que contiene el número identificador del animal y el otro en forma de arete redondo que tiene

impreso el mismo número que la etiqueta plana. El arete redondo es llamado de reposición ya que si se rompe la etiqueta plana entonces el arete redondo aún tiene la información del animal. El método *Visual-Visual* implica manejar manualmente los datos de los animales ya que este no contiene ningún identificador electrónico. En el caso del método Visual-Electrónico de la **Figura 5.4 (2)**, tenemos los mismos dos aretes que en el método Visual-Visual, la diferencia es que aquí el arete de reposición en realidad es el arete principal ya que internamente contiene un transpondedor *RFID* que almacena digitalmente el mismo código identificador que la etiqueta plana tiene impreso. El método *Visual-Electrónico* permite utilizar equipamiento electrónico para llevar control de los animales.

Figura 5.4
(1) Identificación
Visual-Visual,
(2) Identificación
Visual-Electrónica.



5.6.1. Métodos electrónicos de identificación ganadera

Explicaremos los métodos electrónicos de identificación y nos enfocaremos en el sistema *RFID* el cual es el sistema con el cual el bastón lector del presente trabajo debe operar.

5.6.1.1. Códigos de barra

La aparición de los códigos de barras ha traído un avance adicional en el desarrollo de aretes para ganado. Los aretes con códigos de barras tienen todas las ventajas que los aretes visuales en términos de retención y legibilidad, excepto que, la lectura y el registro se hacen electrónicamente con el uso de un lector o escáner de códigos. De esa manera, se elimina el error humano. Sin embargo, la presencia de suciedad en la etiqueta hace ilegible el código de barras, lo que significa que el arete debe ser físicamente limpiado antes de la lectura. Además si el arete es dañado o rayado sobre el código de barras, este ya no será reconocido por el escáner. Otra desventaja, es la necesidad de una infraestructura electrónica compatible con el código de barras. Este debe ser un sistema de computadoras ligadas a escáner para que el uso de códigos de barras a gran escala sea efectivo. La **Figura 5.5** muestra una etiqueta con código de barra.



Figura 5.5 Arete con código de barra.

5.6.1.2. Sistema RFID para ganado

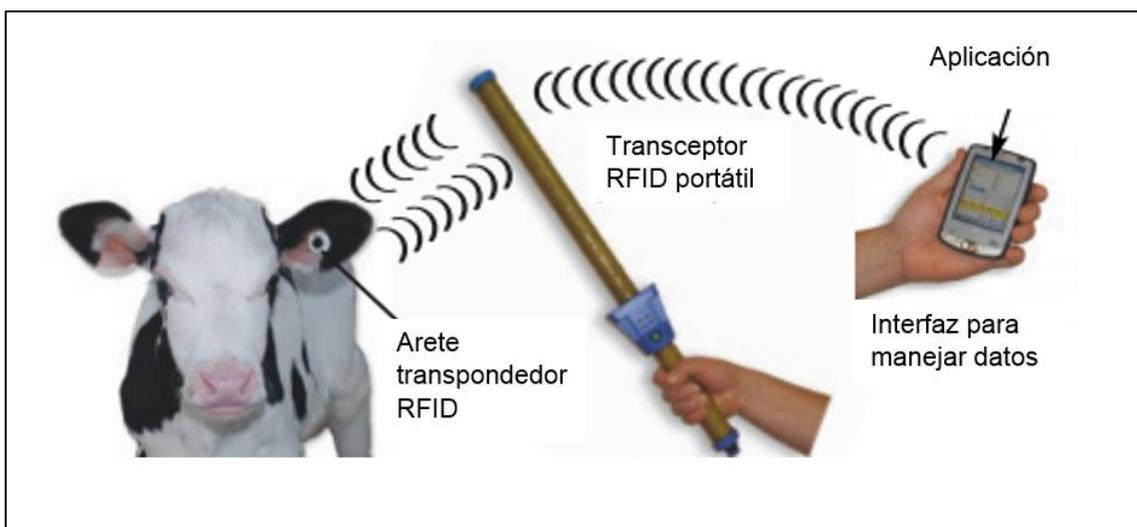


Figura 5.6 Manejo del ganado con sistema RFID.

La **Figura 5.6** muestra la aplicación del sistema *RFID* para el control del ganado. Al analizar el sistema podemos ver que se trata de los mismos bloques funcionales de un sistema RFID básico como ya se explicó en el *Capítulo 1* en la **Figura 1.2**. De esa manera, lo que varía con respecto a la **Figura 1.2** es la aplicación y los parámetros de operación los cuales están definidos en el estándar *ISO 11784* e *ISO 11785*. Si analizamos las partes básicas de la **Figura 5.6** tendríamos:

- *Transpondedor (Etiqueta, tag, arete, bolus, collar o cápsula)*: Puede estar en la oreja, en el estómago o bajo la piel del bovino y sirve para asignarle un código digital único que lo identificará dentro de todo el sistema de trazabilidad.
- *Transceptor (Interrogador, lector, estación base RFID)*: Este dispositivo puede ser portátil y tener un tamaño compacto con forma de bastón alargado o puede estar situado en forma de portones en los corrales para contar los animales que entran y salen tal como se hace con *EAS* en la **Figura 1.6**. El lector es el puente entre los códigos identificadores y la base de datos de trazabilidad, sin los lectores RFID no existiría sistema de trazabilidad.
- *Interfaz de aplicación (“App”, “Software”)*: Es la abstracción virtual que permite manejar los datos que son asociados con cada número identificador de cada animal. La aplicación y el software enlazan los lectores con una base de datos nacional o privada de trazabilidad bovina.

Como se puede apreciar, el sistema *RFID* para ganado es como un sistema de cedulación donde cada animal tiene un identificador único e irrepetible. Además el transpondedor debe ser destruido luego que el animal llega al final de la cadena productiva ya que estos no son reutilizables. El sistema *RFID* para bovinos ha demostrado ser el método más efectivo de identificación para aplicar la trazabilidad bovina. Una de sus ventajas sobre el

sistema de código de barras es que permite la decodificación de los transpondedores aun si estos se encuentran sucios o húmedos. Además, a pesar que los lectores *ISO 11784/85* tienen un corto alcance de lectura en comparación con otros estándares *RFID*, este rango de identificación no es superado por el rango de lectura del código de barras que es muchísimo menor. Asimismo, otra ventaja del sistema *RFID* es que los lectores cada vez son más sofisticados e independientes, tanto así, que pronto no será necesario tener que usar un “*smartphone*” para comunicarse con una aplicación que maneja los datos de trazabilidad sino que la aplicación estará integrada dentro del lector y no será necesario nada más que el lector para realizar las labores de trazabilidad. De esta manera, se reducirá la cantidad de equipos necesarios para completar un sistema de trazabilidad, lo que a la vez se traduce como una reducción de costos en la implementación del sistema. Asimismo, la reducción de los costos de los equipos es beneficioso debido a que podría ponerse un producto derivado de la ganadería certificado y de calidad en el mercado con baja inversión en el sistema de identificación y manejo.



Figura 5.7 Diferentes transpondedores dedicados a la ID animal. (1) Aretes para ganado, (2) Bolus rumen, implantes estomacales para rumiantes, (3) Implantes subcutáneos y (4) collares.

Por otro lado, la radio identificación del ganado ha estado en el mercado por aproximadamente 20 años [6]. Periodo en el cual, con ayuda de esta, se han implementado labores de: alimentación automática de animales, cálculos de productividad, identificación local y nacional de animales, control de epidemias, y aseguramiento de la calidad del producto. La **Figura 5.7** muestra los diferentes formatos de transpondedores que existen disponibles para el ganado. Implementar una forma u otra de transpondedor se decide según la necesidad y la aplicación. A continuación describiremos brevemente cada tipo de transpondedor.

- *Transpondedores tipo collar*: se usan para identificar de manera momentánea, ya que no es permanente. Este permite asociar datos únicos relacionados a un animal en especial. Puede ser implementado aun si otro tipo de transpondedor ya ha sido puesto en el animal ya que como se mencionó antes este transpondedor en forma de collar no es de carácter permanente [6].

- *Transpondedor tipo arete*: este transpondedor si es permanente, además es el más utilizado a nivel ganadero. Los aretes RFID han probado ser muy robustos en cuanto a distancias de lectura, resistencia a la humedad y el fango además de poseer una expectativa de vida aproximada de 10 años desde el momento que son adjuntados al animal. Este tipo de transpondedor es adherido a la oreja del bovino con una herramienta de perforación parecida a una engrapadora que fija el transpondedor de manera permanente en la oreja del bovino como muestra la **Figura 5.8**. Estos transpondedores también son llamados “**EID tags**”⁴⁵.



Figura 5.8
Aplicador
para
transponde-
dores tipo
arete.



Figura 5.9
Jeringa
para
implante
subcutáneo.

- *Transpondedor tipo inyectable (subcutáneo)*: estos fueron implementados hace aproximadamente una década [6]. Este transpondedor es puesto bajo la piel del animal usando una herramienta especial como la mostrada en la **Figura 5.9**. La única manera de remover este implante es mediante cirugía. Este tipo de transpondedor ya fue mostrado antes en la **Figura 1.17a** y en **Figura 1.17b**. Asimismo, este tipo de transpondedores solo pueden implantarse si las agujas y el transpondedor están selladas y esterilizadas, de lo contrario provocarán una infección. Este tipo de etiquetado de ganado no es usual en animales destinados para carne ya que una vez que el animal crece y es sacrificado se vuelve difícil saber en qué lugar quedo el transpondedor y luego este podría aparecer en la carne vendida lo cual significaría un problema para el consumidor final. Este tipo de transpondedores podrían utilizarse para animales que no serán sacrificados como sementales por ejemplo.
- *Transpondedor tipo Bolus*: El transpondedor *Bolus* es insertado oralmente en el bovino y este permanece en el primer estomago del animal [6]. La **Figura 5.7 (2)** muestra como este es parecido al transpondedor subcutáneo, la diferencia es que este se encuentra incrustado dentro de un encapsulado de porcelana, lo cual permite que no sea digerido por el animal y se mantenga permanentemente dentro de él. Una de las ventajas del Bolus es que al ser más grande y poseer una antena más grande posee mayor rango de lectura, además que permite que la etiqueta asignada al animal sea invisible.

La **Figura 5.10** resume los posibles lugares donde puede ser ubicado un transpondedor para bovinos.

⁴⁵ “EID tag”= “Electronic Identification tag”.

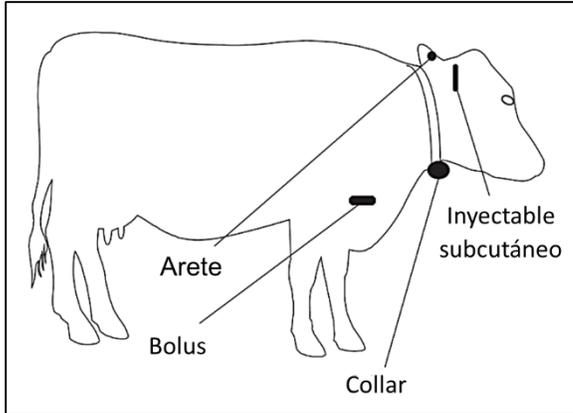


Figura 5.10 Partes del cuerpo de un bovino adecuadas para etiquetarlo.



Figura 5.11 Lector portátil marca Gallagher™.



Figura 5.12 Lector estacionario Gallagher™.

Los lectores mostrados en el *Capítulo 3* de este documento son compatibles con todos los transpondedores que aparecen en la **Figura 5.7** a causa del *ISO 11784/85*. Asimismo, los lectores pueden ser de diferentes formas y pueden presentar funcionalidades variadas tal como se mostró en el mismo *Capítulo 3*. Además, tal como se especificó en el *Capítulo 1*, los lectores los podemos clasificar según su movilidad en portátiles o estacionarios. Los lectores portátiles como el de la **Figura 5.11** son los más usados ya que pueden ser llevados en todo el territorio de la finca y luego los datos recolectados por estos son sincronizados en una computadora o en un “smartphone”. También, demostramos en el *Capítulo 3* que las funcionalidades de un lector portátil son directamente proporcionales a su precio, esto es debido a que para agregar más características se deben agregar circuitos o módulos extras que elevan más los costos de producción. Los lectores más sofisticados como el *Gallagher™* de la **Figura 5.11** pueden escribir datos de trazabilidad directamente en el dispositivo ya que poseen una aplicación integrada. Por otro lado, están los lectores estacionarios, los cuales en su mayoría necesitan una fuente de poder fija para funcionar. Estos lectores son adecuados para labores de alimentación, conteo, vacunación, pesaje y otros. Generalmente se ubican en los portones y corrales y son mucho más caros que un lector portátil pero al tener una fuente fija pueden poseer un mayor rango de lectura en comparación con los lectores portátiles. La **Figura 5.12** muestra un lector estacionario fabricado por *Gallagher™*. Este lector ha sido ubicado al paso de los animales en el corral para contarlos. A continuación la **Tabla 5.1**

muestra un resumen de los diferentes métodos de identificación ganadera ya antes descritos. Esta tabla incluye tanto los métodos *no electrónicos*, como los métodos *electrónicos*. La finalidad de esta tabla es establecer una comparación que muestre las ventajas y desventajas de todos los sistemas de identificación ya antes expuestos. Como

se puede apreciar, una de las desventajas del sistema RFID es el costo de implementación, esto es debido a que cada transpondedor RFID que debe ponerse en cada animal es mucho más caro que cualquier otro tipo de etiqueta identificadora. Aproximadamente los transpondedores RFID para ganado puede costar desde U\$D 3.00 dólares hasta U\$D 5.00 cada uno. Asimismo, el costo de las herramientas para comunicarse con los transpondedores es elevado y por ello se propuso realizar esta investigación con miras a desarrollar un prototipo lector de bajo costo.

Tabla 5.1 Resumen de los métodos de identificación ganadera.

Tipo	Legibilidad	Costo	Durabilidad	Transcripción	Control central ⁴⁶
Herrado con calor	Pobre	Barato	Buena	Manual	Imposible
Herrado con frio	Pobre	Caro	Buena	Manual	Imposible
Tatuaje	Muy pobre	Barato	Buena	Manual	Imposible
Arete visual	Buena	Razonable	Regular	Manual	Posible
Arete con código de barras	Buena (Si está limpio o sin rayones)	Razonable	Buena	Electrónica	Posible
Arete RFID	Excelente	Caro	Buena	Electrónica	Posible
RFID subcutáneo	Excelente	Caro	Buena	Electrónica	Posible
RFID estomacal	Excelente	Caro	Buena	Electrónica	Posible
Métodos Genéticos (ADN, retina)	Difícil	Caro	Buena	Compleja	Básico

Además, el gráfico de la **Figura 5.13** muestra de manera porcentual los beneficios que trae consigo la identificación del ganado utilizando la tecnología RFID. Entre los mayores beneficios tenemos: el ahorro de costos de producción ya que el sistema RFID automatiza ciertas etapas del proceso de crianza de bovinos, la colección de datos que es primordial para tener un sistema de trazabilidad y el cumplimiento de un estándar mundial que permite identificar un animal dentro de una región extensa. Además, el gráfico de la **Figura 5.14** muestra datos acerca de la implementación del sistema RFID para el manejo

⁴⁶ El control central hace referencia a la capacidad de manejar automáticamente las bases de datos.

del ganado en los países desarrollados⁴⁷. El gráfico muestra que el país que está a la cabeza con la identificación del ganado con la tecnología RFID es Australia y el que le sigue es Estados Unidos. El grupo del 26% corresponde a países sudamericanos.

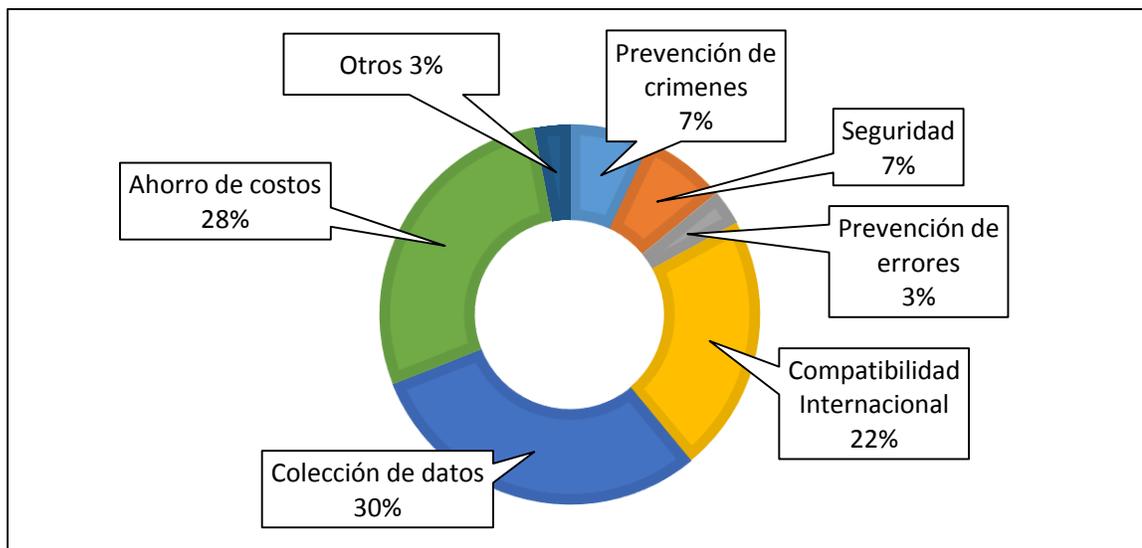


Figura 5.13 Beneficios porcentuales de implementar un sistema RFID para ganado.

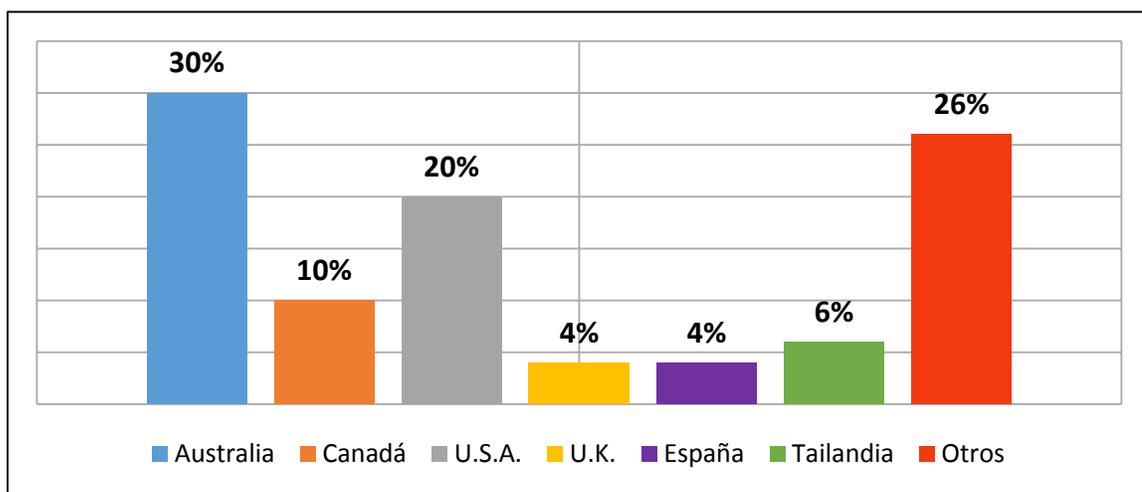


Figura 5.14 % de animales identificados con el sistema RFID alrededor del mundo.

5.7. Trazabilidad bovina en Nicaragua

El proceso de trazabilidad bovina en Nicaragua comienza cuando un productor pecuario se afilia a alguna de las entidades del país que posee una base de datos de trazabilidad, en el caso de nuestro país pueden ser **IPSA** o **APEN**. La diferencia entre **IPSA** y **APEN** es que la primera es una OG⁴⁸ y la segunda es una ONG⁴⁹. El siguiente paso después

⁴⁷ Esta información es correspondiente al año 2006.

⁴⁸ "OG"=Organización Gubernamental (Estatal).

⁴⁹ "ONG" = Organización no Gubernamental (Privada).

declarar quien es el dueño de los animales y de la tierra, es identificar el ganado y esto se hace generalmente con el etiquetado o enchapado⁵⁰ con aretes “visuales-visuales” o “visuales-electrónicos”. El enchapado o etiquetado debe realizarse con las herramientas adecuadas para implantar los dispositivos identificadores. Asimismo, la trazabilidad bovina no termina con el enchapado como comunmente se cree, si bien es cierto que este es un paso muy importante, no es el ultimo. Ya que se necesitan recolectar todos los datos del tiempo de vida de cada animal como: origen, edad, peso, vacunas, alimentos que ingiere, problemas de salud, **movimientos**⁵¹ etc. En el **Anexo XII-IV** se pueden encontrar las legislaciones del país que promueven la trazabilidad bovina.

5.8. Sistemas de trazabilidad implementados en Nicaragua

Los sistemas de trazabilidad implementados en el país hasta el día de hoy son dos: **TRAZAR-Nic** por parte de **APEN** (No Gubernamental) y **SNITB** por parte de **IPSA** (Gubernamental). A continuación veremos cada uno de estos.

5.8.1. TRAZAR-Nic



Figura 5.15 Trazar-Nic
<http://www.trazar.org.ni/index.php>

El objetivo de *Trazar-Nic* es brindar la plataforma tecnológica para gestionar los procesos de certificación y trazabilidad del ganado bovino de Nicaragua. Entre las dificultades que atraviesa este sistema encontramos que se hace difícil recolectar los datos de trazabilidad porque el método usado para identificar los animales sigue siendo el “visual-visual” ya que no se cuenta con los sistemas lectores ISO 11784/85 que permitan ingresar los datos automáticamente para que luego sean descargados su base de datos. Esto significa que aunque sea un sistema destinado a la trazabilidad, la trazabilidad no se está cumpliendo correctamente. Además, Trazar-Nic cuenta con la capacidad de llevar registros en una base de datos completamente dedicada a la actividad de identificación ganadera, su software está basado en las buenas prácticas argentinas, ya que Argentina tiene la experiencia de la exportación hacia Europa, el cual es un mercado sumamente exigente. Sin embargo, como ya se mencionó, se precisa de

⁵⁰ **Etiquetado** o **enchapado** se refiere a ubicar un dispositivo identificador al animal (sea electrónico o no).

⁵¹ **Movimientos** se refiere a la compra y venta de animales, esto implica generalmente un cambio de finca y debe ser registrado.

un método o instrumento de bajo costo que permita ingresar esos datos de trazabilidad de manera ágil para que la robustez del sistema sea aprovechada.

5.8.2. SNITB

Este es el “*Sistema Nacional de Información de Trazabilidad Bovina*”. IPSA está a cargo de este sistema donde se registran aspectos básicos del ganado como movimientos, edad, vacunas, raza y se hace mediante un servidor web. A este servidor web se puede acceder como un usuario para obtener información de los bovinos (ver **Figura 5.16**). Asimismo, a pesar que IPSA posee aretes electrónicos aún no se hace el cambio a estos porque no se cuenta con los dispositivos lectores *RFID ISO 11784/85*.



Figura 5.16 “Login” al SNITB por medio de la web:
<http://trazabilidad.ipsa.gob.ni:8080>

Además, IPSA tiene puesta la mira en la certificación de un segundo sistema de trazabilidad llamado **SSPB** (*Sistema Segregado de Producción Bovina*) con la finalidad de alcanzar mercados más exigentes como la Unión Europea, Japón, Estados Unidos y otros mercados que exigen calidad y que la carne sea trazada. Según el Sr. *Enrique Zamora*, presidente de la *Bolsa Agropecuaria de Nicaragua* (“Bagsa”), explicó que una finca segregada se diferencia del resto porque produce reses que cumplen los requisitos de los mercados internacionales mediante la adopción de: nuevas tecnologías, buenas prácticas de manejo ambiental, además del bienestar y la sanidad animal. El proyecto iniciará a finales de 2017 en fincas ubicadas en los municipios de: *Boaco, Camoapa, Matiguás, Río Blanco, Mulukukú y Paiwas*. En la parte inicial del proyecto se beneficiarán a 700 productores y la meta es que para 2020 cuando se concluya se hayan incluido a diez mil productores. Según el Sr. *René Blandón*, presidente de la *Comisión Nacional Ganadera de Nicaragua* (“Conagan”) el desarrollo de las técnicas de manejo de las fincas permitirá el aumento en la productividad del ganado. De tal manera, que se prevé un incremento anual de producción en kilogramo de carne por hectárea del 25 por ciento, así como un aumento del 20 por ciento en la producción de leche por cabeza de ganado. El presupuesto del proyecto es de 1.65 millones de dólares de los cuales 830 mil dólares son financiados por el “*Fomin*” (*Fondo Multilateral de Inversiones*) y los restantes 820 mil dólares serán aportados por Conagan, Bagsa, las cooperativas beneficiadas por el proyecto y “*Canicarne*” (*Cámara Nicaragüense de Plantas Exportadoras de Carne Bovina*). Dentro de los objetivos de este proyecto está la reforestación de 120 mil hectáreas de potrero con especies de madera preciosa y cultivos agroforestales.

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

I. Requerimientos de diseño

Al conversar con el *Ing. Leonardo Garcia* encargado del área de trazabilidad de APEN, se nos hizo saber que el requerimiento principal es que el precio del diseño fuera reducido significativamente para poder competir con el producto internacional, asimismo, el *Ing. Juan Carlos Miranda* del IPSA corroboró que U\$D 450 es el precio de lector con el cual se debe competir. Además, ambas entidades concuerdan con que se requiere un dispositivo que además de identificar los animales permita manejar datos de trazabilidad para que sean exportados fácilmente hacia una base de datos. Basándonos en estos parámetros y lo mencionado en el *Capítulo 3* es que se decidió diseñar un dispositivo de “*Categoría 2*” ya que un dispositivo de esta categoría es el que cumple con los requerimientos de funcionalidades versus costo. Resumiendo nuestros requerimientos de diseño tendríamos:

- Identificador de etiquetas HDX y FDX-B. Según el estándar ISO 11784 e ISO11785.
- Pantalla para mostrar los datos leídos y el estado del lector.
- Botones para controlar el dispositivo. Es necesario agregar botones a nuestro diseño para permitir la comunicación entre el dispositivo y el usuario.
- Recargable. Se debe garantizar el funcionamiento del dispositivo por al menos una jornada de trabajo es decir 8-12 horas. De ser posible se debe incluir la capacidad de carga mediante otra fuente alternativa de energía ya que a veces no se cuenta con suministro eléctrico convencional en las fincas o áreas remotas.
- Indicadores visuales para batería baja, lectura exitosa y lectura fallida.
- Transmisión de datos mediante USB, RS232 o Bluetooth hacia cualquier dispositivo como ordenador o “smartphone”.
- Bajo costo. El precio internacional de referencia es U\$D 450.
- Caja apropiada para entornos ásperos.

En los próximos epígrafes se detalla cómo se resolvieron los requerimientos anteriormente planteados. Además se agrega en los **Anexos** toda información secundaria que pueda ser relevante para el desarrollo o mejora del prototipo.

II. Diseño del lector RFID ISO 11784/ 11785

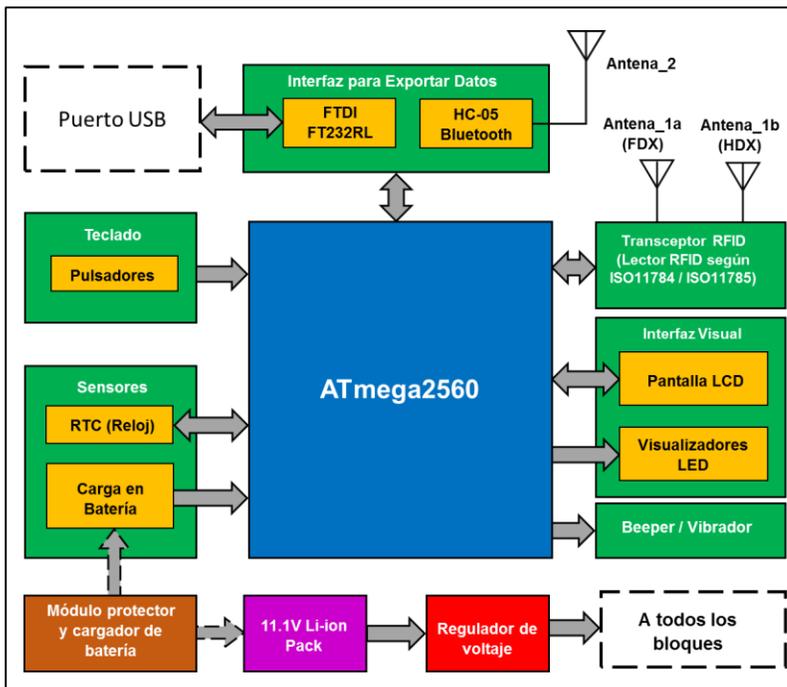


Figura R.1 Diagrama funcional del lector *ISO 11784/85* propuesto.

La **Figura R.1** muestra el diagrama funcional del lector *ISO 11784/85* que se diseñó para dar solución al problema planteado en el presente trabajo de tesis. Como puede apreciarse, el controlador a cargo de todas las operaciones es el chip microcontrolador *ATMEL ATmega2560*. La razón para escoger este microcontrolador es debido a que posee la cantidad suficiente de bloques *USART* para poder realizar la comunicación serial con todos los dispositivos periféricos conectados a él, además, el chip microcontrolador *ATmega2560* opera con 5V lógicos lo cual resulta adecuado ya que la mayoría de las partes que se conectarán a este dispositivo operan con nivel de 5V lógicos. Para el transceptor RFID según el estándar *ISO 11784/85*, se ha seleccionado el módulo *RFIDRW-E-TTL* para realizar las funciones de estación base RFID según los protocolos *FDX-B* y *HDX*, de esa forma, se cumple con el estándar *ISO 11784/85* tal como fue descrito en el *Capítulo 2*. Para el caso de la interfaz para exportar los datos, se seleccionó un chip *FTID FT232RL* para la comunicación vía *USB* y un módulo *HC-05* para la comunicación vía Bluetooth. Para el caso de la interfaz de usuario, esta se compone de dos pulsadores que realizan funciones variadas, asimismo, se seleccionó un display de caracteres *LCD16x2* para mostrar los datos, LEDs como indicadores visuales y un buzzer/vibrador como indicador sonoro o de tacto en caso de entornos muy ruidosos. Los únicos sensores que el dispositivo posee son la entrada de monitoreo para el estado de la batería y el reloj de tiempo real *DS1307* que permite tener un control de las lecturas realizadas. En el caso de la fuente de poder, esta fue diseñada con baterías de iones de litio combinadas en un arreglo de 11.1V y protegidas con un módulo *BMS HH-P3-10.8*. Además, la carga del paquete de baterías se realiza por medio de un panel solar fotovoltaico o por medio de un adaptador AC/DC de 12V con 1A de corriente, igualmente, el control de la carga de las baterías está a cargo del circuito integrado *SY6912A*. Como se puede apreciar el sistema es bastante sencillo en comparación con los lectores en el mercado, esto es una ventaja a favor para la comercialización del producto además, que un PCB con menos partes es más barata de fabricar y ensamblar. En los próximos apartados se detallará más explícitamente el desarrollo de todos los bloques funcionales.

III. Ejemplo de diseño de un lector con el chip EM4095 para transpondedores tipo FDX

A. Aplicación para 125kHz

Se desea diseñar una estación base RFID de baja frecuencia que opere a 125kHz usando el circuito integrado EM4095. Para la antena se poseen tres tipos de bobinas:

- a) $L_a=2.7mH$, $R_{ANT}=19\Omega$
- b) $L_a=2.8mH$, $R_{ANT}=53.8\Omega$
- c) $L_a=2.8mH$, $R_{ANT}=63\Omega$

Recuerde que se deben aproximar los valores capacitivos calculados a valores reales comerciales.

Solución:

a) Para $L_a=2.7mH$, $R_{ant}=19\Omega$ tendríamos (Ver **Figura R.2**):

El circuito en la Figura 4.10 brinda la solución a los requerimientos solicitados.

$$C_{RES} = C_1 + C_2 \quad (R.1)$$

Es decir:

$$C_{RES} = 593pF$$

Eso nos proporciona una frecuencia de resonancia: $f_{RES} = 124.63kHz$

b) Para $L_a=2.8mH$, $R_{ant}=53.8\Omega$ tendríamos (Ver **Figura R.3**)

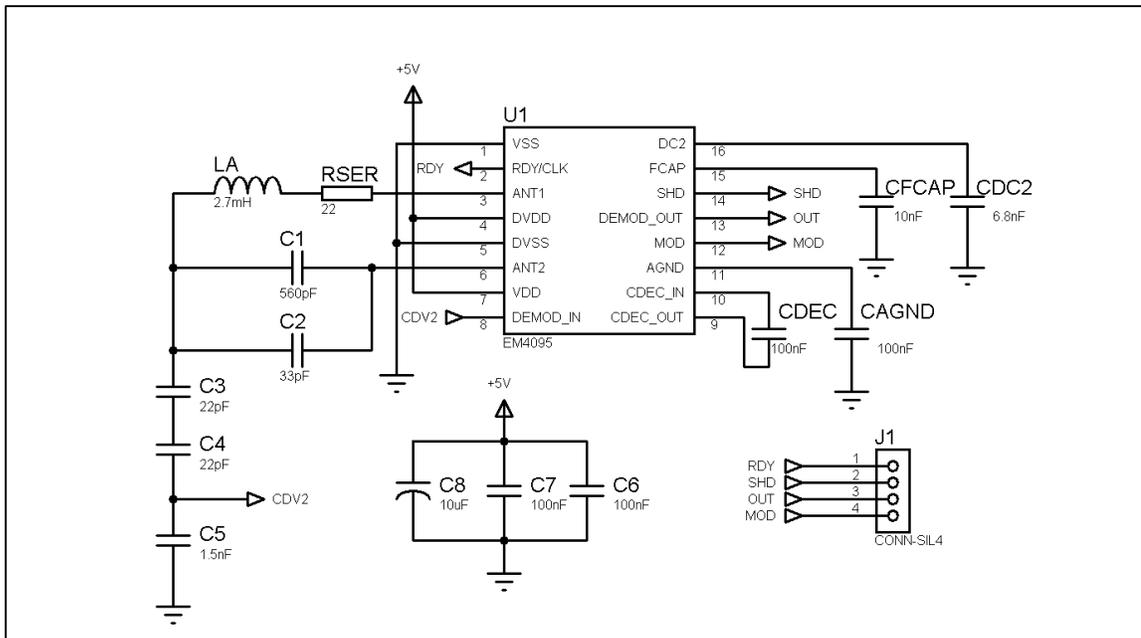


Figura R.2 Esquema para 125kHz con $L_a=2.7mH$ y $R_{ant}=19\Omega$.

Para este caso:

$$C_{RES} = \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right) + C_3 \quad (\text{R.2})$$

Y la frecuencia resultaría ser aproximadamente: $f_{RES} = 124.99\text{kHz}$

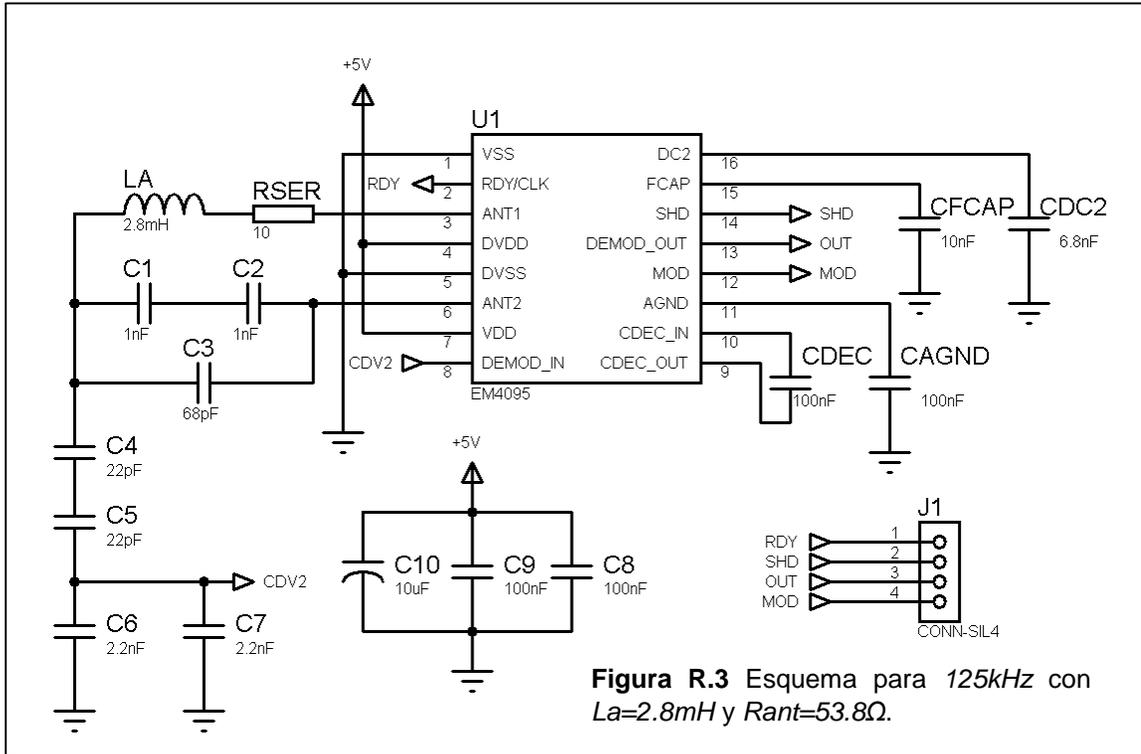


Figura R.3 Esquema para 125kHz con $La=2.8\text{mH}$ y $R_{ant}=53.8\Omega$.

c) Ahora para $La=2.8\text{mH}$, $R_{ant}=63\Omega$ tendríamos:

Ya que en este caso la inductancia es la misma, el circuito resonador resulta ser igual, entonces usamos el mismo diagrama de la **Figura R.3** y eliminamos el resistor R_{SER} de 10Ω y lo cambiamos por un resistor de 0Ω o un cable como se muestra en la **Figura R.4**, de esa manera, mantenemos los parámetros en el sistema para que sigan siendo aproximados al anterior.

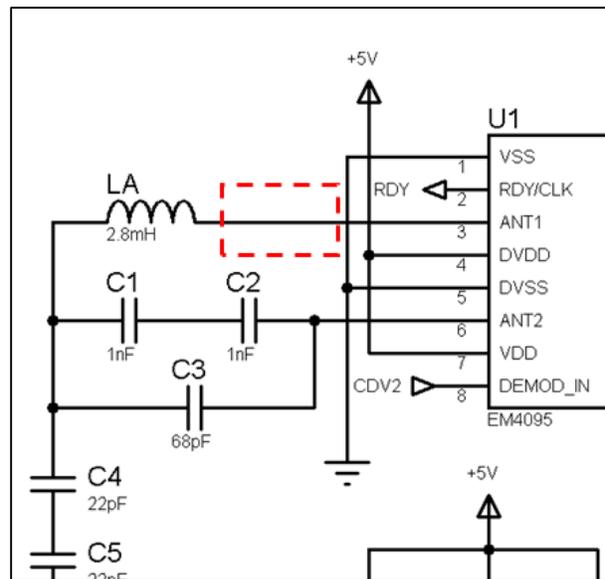
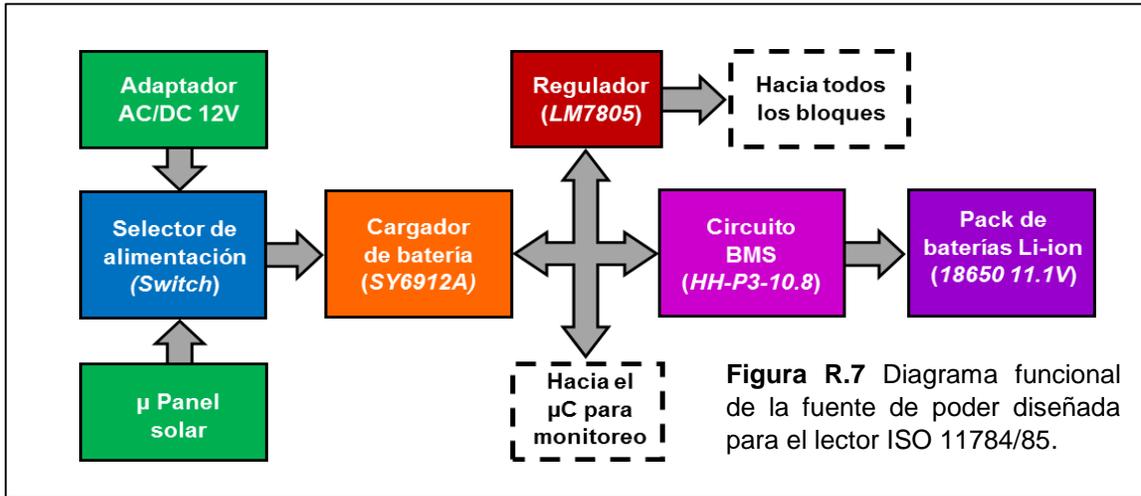


Figura R.4 Ajuste para 125kHz con $La=2.8\text{mH}$ y $R_{ant}=63\Omega$.

IV. Diseño de la fuente de poder



La **Figura R.7** muestra el esquema funcional para la fuente de poder del lector ISO 11784/85. Como se mostró en los capítulos anteriores la fuente de poder es una parte fundamental para la operación del sistema, y no solo porque provee de energía al lector, sino también porque deben considerarse varios requerimientos de diseño para evitar introducir el ruido RF de la fuente conmutada del adaptador AC/DC para que el módulo RFID ISO 11784/85 opere de manera correcta. La fuente de poder en la **Figura R.7** puede entregar 11.1V con hasta 1A, no obstante, la salida completa de la fuente no es utilizada, sino que se regula el voltaje máximo para convertirlo a una salida de 5V con hasta 1.5A, lo cual resulta conveniente para alimentar todos los circuitos de todos los bloques mostrados en la **Figura R.1**. En los próximos epígrafes se detallará cada bloque funcional.

A. Pack de baterías



Figura R.8 Baterías de Li-ion 18650.

Existen varias químicas de baterías en el mercado, no obstante, para nuestro diseño seleccionamos la química Li-ion. Esto se debe a que con la química Li-ion es más fácil alcanzar voltajes más altos con menos arreglos de celdas que con otras químicas. Usualmente, otras químicas como *NiMH* o *NiCd* operan con voltajes nominales de 1.2V en cambio las baterías de litio operan en el rango de 3.6V-3.7V. Esto quiere decir que, con baterías de níquel se necesitarían más de 9 pilas para alcanzar 11.1V en cambio con baterías de litio solo se necesitan 3 pilas para alcanzar los mismos 11.1V. Ahora bien, usar menos celdas no solo supone ahorro en los costos, sino que garantiza la seguridad del producto, ya que 3 pilas recargables son más fáciles de controlar por el circuito BMS que 10 pilas. Además, la selección de las pilas tamaño 18650, mostradas en la **Figura R.8**,

se debe a que estas presentan la relación de potencia-tamaño adecuado, asimismo, su forma cilíndrica va conforme el diseño del bastón lector que tiene forma tubular. La potencia de cada batería en nuestro diseño es de 8.1Wh, lo cual da una potencia total a la fuente de 24.3Wh. El consumo del lector es de aproximadamente 300mA en modo lectura y 150mA en modo reloj. El paquete de baterías junto con el protector se muestra en la **Figura R.9**. En el siguiente epígrafe se detallará más acerca del módulo BMS y las funciones que realiza. Asimismo, en el **Anexo V-I** se muestran los detalles técnicos extraídos de la hoja de datos de las baterías 18650.

B. BMS HH-P3-10.8

BMS son las siglas para “*Battery Management System*”, es decir, sistema de manejo de batería. Hoy en día, las baterías recargables de litio y níquel son muy populares, no obstante, el manejo de estas es delicado, porque la cantidad de potencia que poseen se vuelve inestable bajo ciertas condiciones y por ello, es necesario monitorear constantemente el uso de las celdas o pilas de manera individual. De ese modo, los circuitos BMS proveen protección contra cortocircuitos, sobrecarga de voltaje o daño de alguna pila en el arreglo. No existe una aplicación electrónica basada en baterías recargables que no posea circuitos BMS para garantizar la protección del usuario y la integridad del producto. Asimismo, los circuitos BMS pueden variar dependiendo de la complejidad de la aplicación a la que estén destinados o al número de celdas que sea necesario monitorear. En nuestro caso, como muestra la **Figura R.10**, seleccionamos un circuito BMS modular *HH-P3-10.8* que está basado en el chip *S-8254A* fabricado por “*SII Semiconductor Corporation*”, el cual controla los chips MOSFETs canal P de código *AO4407* en caso de ser necesario cortar el flujo de corriente hacia el exterior o interior del pack de baterías para evitar daños a las pilas 18650 o explosiones en el sistema completo. El módulo *HH-P3-10.8* puede controlar 3-4 pilas de química litio en arreglos de serie, en nuestro diseño como muestra la **Figura R.9** utilizamos 3 pilas del tipo 18650, igualmente, el módulo provee la salida total de la serie de baterías en las terminales P+ y P-. Las medidas del módulo *HH-P3-10.8* son: 48mmx15mmx1.0mm. En el **Anexo V-II** se encuentran los detalles del módulo *HH-P3-10.8*, del circuito integrado *S-8254A* y de los chips *AO4407*.

C. SY6912A

El circuito integrado *SY6912A* fabricado por “*SILERGY*” es un chip diseñado para cargar baterías de la química Li-ion, y es adecuado para aplicaciones portátiles como el lector del presente proyecto.

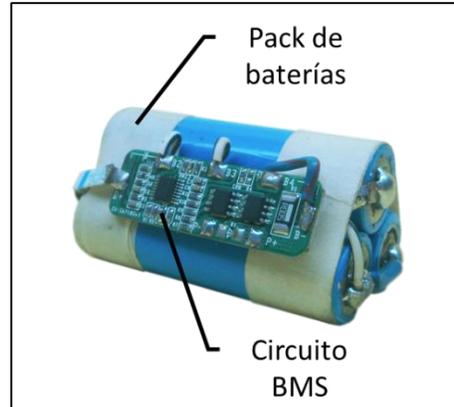


Figura R.9 “Pack” de Li-ion 18650 con módulo BMS.

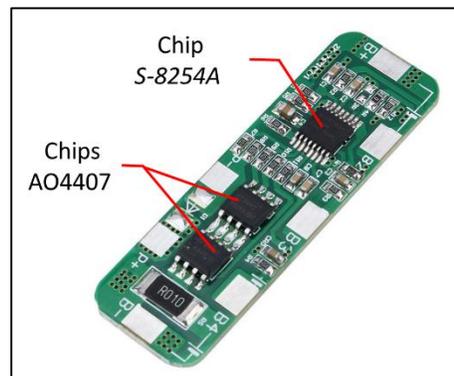


Figura R.10 Circuitos integrados del módulo BMS HH-P3-10.8.

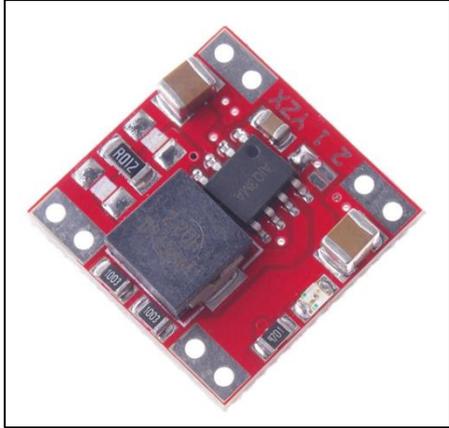


Figura R.11 Modulo cargador de celdas Li-ion basado en el chip SY6912A.

Este circuito integrado permite cargar 1-3 celdas de litio en serie y está basado en la topología “*buck converter*” con una frecuencia fija de operación de 800kHz. Puede manejar una entrada de voltaje desde 4.0VDC hasta 23VDC para realizar la tarea de carga según el arreglo de celdas propuesto, asimismo, soporta una corriente máxima de 2A DC [16]. Es adecuado usar este chip debido a su bajo costo, además de lo simple que es implementarlo. La **Figura R.11** muestra la forma modular de este producto. Como puede apreciarse, el circuito integrado SY6912A posee solo 8 pines, no obstante, incluye un pin llamado “STAT” dedicado a informar el estado de carga del “pack” de baterías, lo cual es útil para informar al usuario del lector del estado de carga del sistema. Este módulo es conectado a la

salida P+ y P- del módulo BMS *HH-P3-10.8* tal como muestran los bloques de la **Figura R.7** y es alimentado mediante un panel solar o un adaptador AC/DC de 12V para cargar el pack de baterías de la **Figura R.9**. Para más información acerca del integrado SY6912A revisar el **Anexo V-III**.

D. LM7805

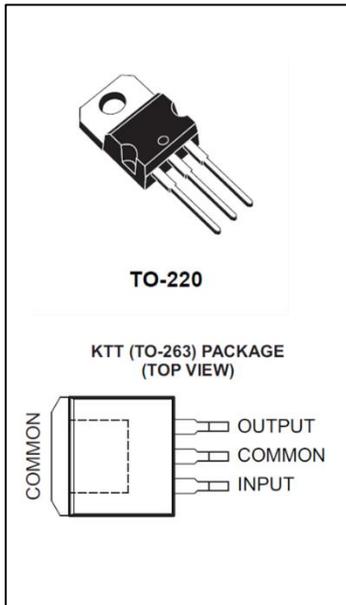


Figura R.12 Regulador 7805 en las dos versiones utilizadas.

Para regular el voltaje que alimentará todos los bloques del lector se usa un circuito integrado LM7805 el cual provee una salida de +5VDC lineal. Este circuito integrado debe conectarse entre en cargador SY6912A y el módulo de protección *HH-P3-10.8* como muestra la **Figura R.7**, de esa manera, esta configuración estará basada en la recomendación descrita anteriormente en la **Figura 4.6b** ya que el circuito de carga y la fuente de poder de 12V AC/DC generan un rizado RF el cual es reducido con ayuda del LM7805. Cabe señalar que se utilizaron dos versiones de LM7805 para las pruebas de diseño en el lector. Una versión corresponde al 7805 a través de agujeros fabricado por “*ST Microelectronics*” y la otra es la versión SMD fabricada por “*Texas Instruments*”. Asimismo, ambas series del chip fueron seleccionadas tomando en cuenta que la máxima corriente a la salida fuera de 1.5A para poder alimentar correctamente todos los bloques del lector evitando sobrecalentamientos que ameriten un disipador térmico. La **Figura R.12** muestra las dos versiones utilizadas del regulador LM7805, igualmente para mayor información acerca de los dos dispositivos revisar el **Anexo V-IV**.

E. Adaptador AC/DC, μ Panel solar y selector de alimentación

Para recargar las baterías de litio 18650 se puede utilizar un adaptador AC/DC de 12V con 1A, o bien, se puede usar un arreglo de micro-paneles solares. El motivo de incluir

un sistema fotovoltaico portátil es debido a que en el campo ganadero de Nicaragua no siempre se posee suministro convencional eléctrico, por lo cual es necesario recurrir a otras alternativas para proporcionar energía al dispositivo RFID mientras el adaptador AC/DC no pueda ser utilizado. En el **Anexo V-V** se muestran las imágenes relacionadas con este epígrafe.

V. Interfaz para exportar datos

A. FTDI FT232RL

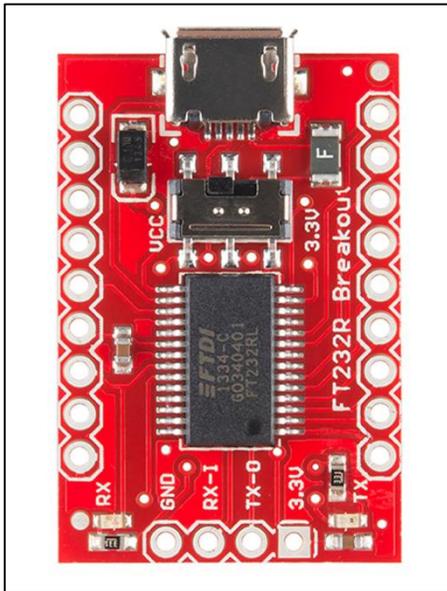


Figura R.13 Módulo FTDI FT232R ensamblado por *Sparkfun*.

Para la comunicación USB se utiliza un chip *FTDI FT232RL* fabricado por “*Future Technology Devices International Ltd*”. Este circuito integrado funciona como convertidor de UART a puerto virtual serial. Esto permite conectar una salida serial TTL del microcontrolador *ATmega2560* hacia el chip FTDI directamente y entablar una comunicación con cualquier computadora para exportar los datos recolectados por el lector. Cabe señalar que, una de las ventajas de los chips *FTDI* es que son compatibles con cualquier sistema operativo, ya sea: *Windows*, *Linux* o *Mac* [17]. Por otro lado, cada chip necesita de pocos componentes externos para realizar sus funciones, lo cual es beneficioso para ahorrar costos. El chip *FT232RL* es el mismo utilizado en el módulo *RFIDRW-E-USB* fabricado por “*Priority 1 Design*” mostrado anteriormente en la **Figura 3.6**. Asimismo, se utilizó un chip *FTDI FT232RL* en forma modular ya configurado por *Sparkfun Electronics* como el que se muestra en la

Figura R.13. La razón para seleccionar un módulo para el prototipo de lector es ahorrar tiempo en el ensamblaje de este y enfocarse más en el desarrollo del software de comunicación USB. No obstante, para un diseño comercial es necesario realizar una configuración propia del chip la cual puede realizarse basándonos en el esquemático del módulo de la **Figura R.13** ya que es hardware de código abierto y puede ser replicado por cualquier persona. Para más información acerca del chip y módulo *FTDI FT232RL* referirse al *Anexo VI-I*.

B. Módulo Bluetooth HC-05

Como se mostró anteriormente en el *Capítulo 3*, la interfaz Bluetooth es imprescindible en un lector ISO 11784/85 de *Categoría 2*. Esto se debe a que la interfaz Bluetooth es más versátil que la interfaz USB ya que permite conectividad inalámbrica y no solo con computadoras, sino que también permite hablar con cualquier “*Smartphone*” para digitar datos de trazabilidad bovina con ayuda de una aplicación móvil, de manera que, estos datos puedan ser sincronizados en su respectiva base de datos. El módulo seleccionado

para realizar la función de Bluetooth es un HC-05, el cual es un dispositivo Bluetooth *categoría 2*⁵² de bajo costo que permite conectividad de hasta 10 metros. Asimismo, este módulo posee conectividad con el microcontrolador o procesador mediante SSP (“*Serial Port Protocol*”), la razón de baudios de la conexión puede ser configurada a varias velocidades, la sensibilidad típica que se posee es de -80dBm, el transmisor posee una potencia de hasta +4dBm, asimismo, el modulo está diseñado para ser de bajo consumo y opera desde 1.8VDC hasta 3.6VDC, además, está basado en un chip “*CSR Bluecore*”. Este dispositivo Bluetooth es muy popular, y por ende barato, debido a que es muy utilizado en aplicaciones DIY en conjunto con la plataforma Arduino. La **Figura R.14** muestra detalles del módulo en cuestión, igualmente, en el *Anexo VI-II* se muestra más información de este producto.

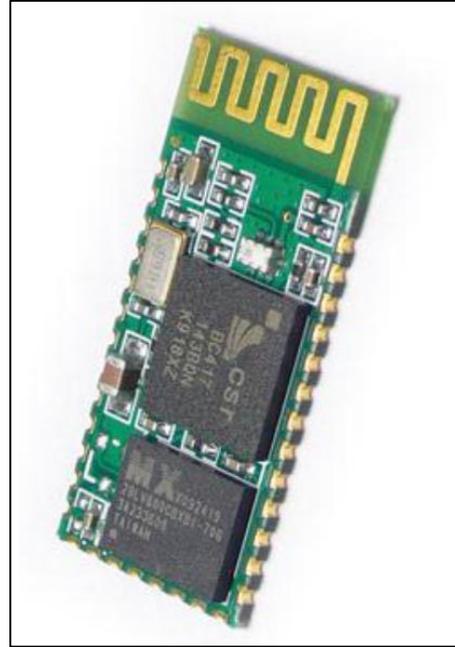


Figura R.14 Módulo Bluetooth HC-05.

C. Reloj de tiempo real

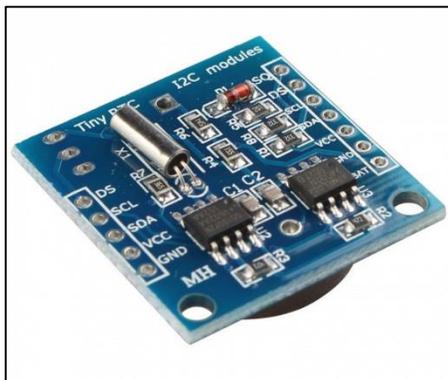


Figura R.15 Módulo RTC DS1307.

Para la gestión del tiempo en las operaciones internas del lector y para agregarle la funcionalidad de mostrar la hora y fecha actual, se seleccionó el módulo RTC de la **Figura R.15**, el cual está basado en el chip *DS1307*. El circuito integrado *DS1307* permite contar segundos, minutos, horas, fecha del mes y años. Asimismo, este chip comunica su información a un microcontrolador externo mediante la interfaz *I2C*. Por otro lado, el mismo modulo consta de un chip *AT24C32* el cual es una memoria EEPROM de 32 kbytes la cual es utilizada para almacenar datos de los transpondedores leídos por el sistema RFID. Para más información acerca de

los detalles y esquemas de aplicación del circuito de tiempo y memoria ver el **Anexo VI-III** y **Anexo VI-IV** respectivamente.

VI. Antena utilizada

Las antenas utilizadas para pruebas y experimentos en el lector *RFID ISO11784/85* fueron las antenas: *RFIDCOIL-22A*, *RFIDCOIL-49A* y *RFIDCOIL-160A*, proporcionadas

⁵² No confundir la categoría de los módulos *Bluetooth* con la categorización realizada en este trabajo de los lectores RFID ISO 11784/85. La clasificación en categorías de los módulos Bluetooth está relacionada con el rango de conectividad y otras características incorporadas por el fabricante.

por el fabricante “*Priority 1 Design*”. Estas se muestran en la **Figura R.16**, no obstante, se presentaron algunos problemas de índole mecánico ya que las antenas con la mejor distancia de lectura son la *RFIDCOIL-160A* y *RFIDCOIL-49A*, sin embargo, la única que era portable dentro del lector era la *RFIDCOIL-22A*, la cual por ser más chica posee un rango de lectura mucho menor. En el **Anexo VII-IX** se pueden encontrar más detalles de las bobinas antenas fabricadas por “*Priority 1 Design*”.

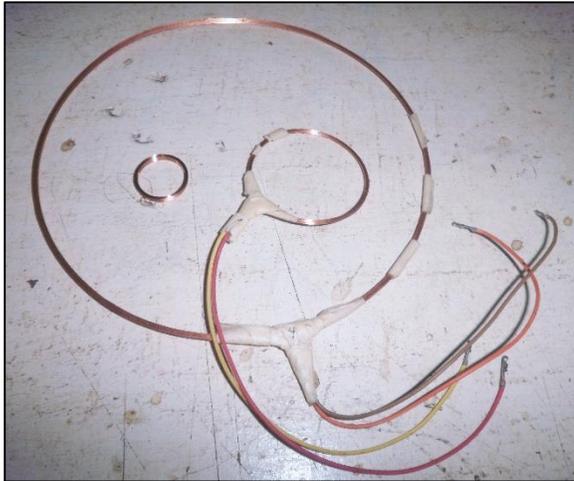


Figura R.16 De mayor a menor diámetro: *RFIDCOIL-22A* ($d=22\text{mm}$), *RFID COIL-49A*, ($d=49\text{mm}$) y *RFIDCOIL-160A*, ($d=160\text{mm}$).

Es por ello se diseñaron otras antenas con un mejor Q basándose en la teoría de antenas expuesta en el *epígrafe 4.2* para solucionar el problema, sin embargo, los resultados fueron similares a los anteriores debido a que el módulo *RFIDRW-E-TTL* solo puede entregar una cantidad limitada de corriente a pesar que se mejore el Q de la bobina antena. La **Figura R.17** muestra las antenas diseñadas las cuales se formaron con alambre magnético o esmaltado AWG #26 y AWG #32. Las ecuaciones para el número de vueltas pueden ser encontradas en el *epígrafe 4.2.4*.



Figura R.17 Antenas fabricadas. El valor de cada una es de aproximadamente $400\mu\text{H}$ y el diámetro es de 3cm .

Al final, para solucionar el problema, se implementaron antenas bobinas con rodo de ferrita tal como se muestra en la **Figura R.18**. Como puede apreciarse, la antena con rodo de ferrita es adecuada para la aplicación en forma de bastón lector ya que permite que la bobina sea encapsulada dentro de una forma tubular sin presentar problemas



Figura R.18 Antena con núcleo de rodo de ferrita y modulo Bluetooth ensambladas en el tubo superior del lector.

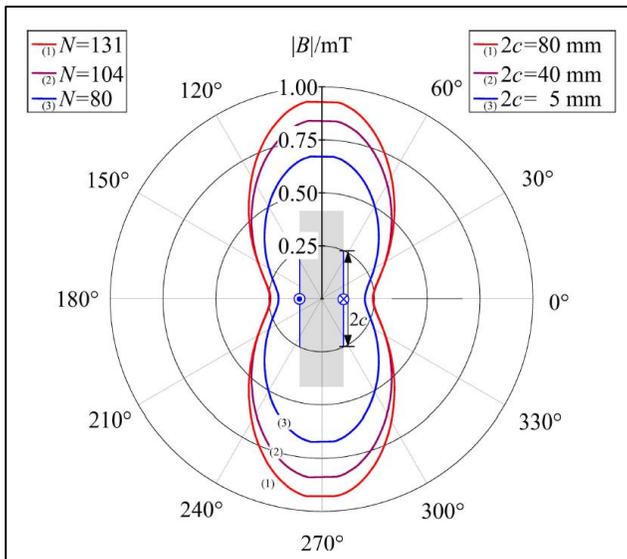


Figura R.19 Patrón de radiación de una antena con núcleo de ferrita.

transpondedor en la oreja del animal es muy difícil establecer comunicación usando la energía lateral, por eso es preferible cargar esa energía hacia el lado frontal para incrementar el rango de lectura lo mayor posible. La **Figura R.20** ilustra el comportamiento descrito anteriormente.

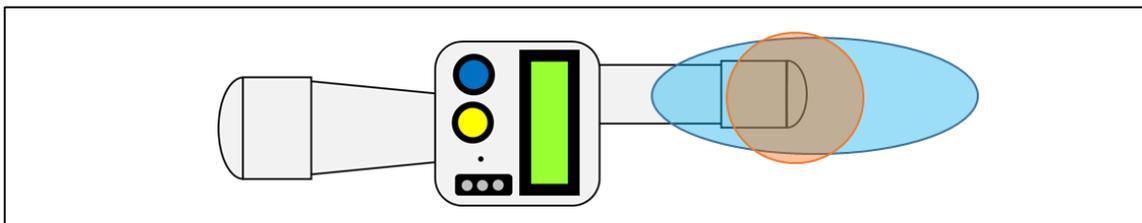


Figura R.20 Bobina con núcleo de aire (naranja) vs bobina con núcleo de ferrita (celeste).

mecánicos relacionados al tamaño del tubo con respecto al tamaño de la antena. Esta solución está basada en el trabajo publicado por el señor *Alexander Stadler* en la librería de la IEEE con el título: “*Radiated Magnetic Field of a Low-Frequency Ferrite Rod Antenna*”. De este trabajo pueden extraerse las ventajas de utilizar una antena con núcleo de ferrita en lugar de una antena convencional con núcleo de aire. En la **Figura R.19** se aprecia el comportamiento electromagnético en el espacio circundante de una antena con rodo de ferrita en a una frecuencia aproximada de 135kHz. Es notorio como el rodo de ferrita se comporta como un elemento parásito que modifica el patrón de radiación, ya que una antena circular con núcleo de aire posee un patrón de radiación similar a una antena omnidireccional, no obstante, una antena con núcleo de ferrita posee un patrón de radiación similar a un ‘ocho’, donde la distancia frontal de lectura ha sido ensanchada y las distancias laterales han sido recortadas. De esa manera, al modificarse la propagación lateral de la antena es posible extender el rango de lectura. Lo ventajoso de este método es que en un lector tubular los laterales son pocos utilizados y debido a la posición usual del

Ahora bien, los módulos de “*Priority 1 Design*” están diseñados para operar con antenas en el orden de mili-henrios (mH) como se muestra en la **Tabla AVII.2** del **Anexo VII-IX**, sin embargo, las antenas diseñadas por nosotros en el presente trabajo tienen valores nominales en el orden los micro-henrios (uH) como se muestra en la **Tabla AII.3** del **Anexo VII-X**, por ello fue necesario ajustar el circuito resonante de acuerdo con las ecuaciones para el *EM4095* dadas en el *epígrafe 4.1.6* y las recomendaciones dadas por el fabricante *P1D* que se muestran en la hoja de datos del módulo *RFIDRW-E-TTL* y que también fueron documentadas en el **Anexo II-II-D** y **Anexo II-II-E**. Por otro lado, la sintonización de las antenas, incluidas las de ferrita, se logró mediante el kit medidor de inductancia y capacitancia LC100-A del cual se muestran los detalles en el **Anexo VII-XI**.

A continuación la **Tabla R.1** muestra el rango de lectura para las diferentes antenas utilizadas y el módulo *RFIDRW-E-TTL*. Los detalles de las mediciones, número que corresponde a cada antena, casos de polarización, transpondedores utilizados y demás información relacionada con la tabla se encuentran en los **Anexos XI-XIV**.

Tabla R.1 Rango de lectura para diferentes antenas bobinas.

Antena #	Transpondedor	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
RFIDCOIL-22A	HDX-Blanca	3.5 cm	0.5 cm		
	HDX-Amarilla ⁵³	3.0 cm	0.5 cm		
	FDX-B	3.6 cm	1.0 cm		
	TRPGR30ATGA			1.5 cm	0.5 cm
	TRPGR30ATGB			1.5 cm	0.5 cm
RFIDCOIL-49A	HDX-Blanca	4.0 cm	1.0 cm		
	HDX-Amarilla	4.0 cm	1.0 cm		
	FDX-B	4.5 cm	2.0 cm		
	TRPGR30ATGA			1.0 cm	0.0 cm
	TRPGR30ATGB			1.0 cm	1.0 cm
RFIDCOIL-160A	HDX-Blanca	6.0 cm	1.5 cm		
	HDX-Amarilla	6.0 cm	1.5 cm		
	FDX-B	5.5 cm	1.0 cm		
	TRPGR30ATGA			0.0 cm	1.0 cm
	TRPGR30ATGB			0.0 cm	1.5 cm
1	HDX-Blanca	2.0 cm	No		
	HDX-Amarilla	2.0 cm	No		
	FDX-B	4.3 cm	No		
	TRPGR30ATGA			0.5 cm	0.5 cm
	TRPGR30ATGB			0.6 cm	0.5 cm
2	HDX-Blanca	3.0 cm	No		
	HDX-Amarilla	3.0 cm	No		
	FDX-B	4.8 cm	No		
	TRPGR30ATGA			1.0 cm	0.5 cm
	TRPGR30ATGB			1.5 cm	1.0 cm
3	HDX-Blanca	1.5 cm	0.0 cm		
	HDX-Amarilla	1.5 cm	0.0 cm		
	FDX-B	3.5 cm	0.0 cm		
	TRPGR30ATGA			0.0 cm	0.0 cm
	TRPGR30ATGB			0.5 cm	0.0 cm

⁵³ El transpondedor HDX Amarillo es el equivalente al transpondedor HDX naranja autorizado en el país y mostrado anteriormente en la **Figura 2.10**.

Tabla R.1 Rango de lectura para diferentes antenas bobinas (continuación...)

4	HDX-Blanca	2.0 cm	0.0 cm		
	HDX-Amarilla	1.5 cm	0.0 cm		
	FDX-B	3.5 cm	0.0 cm		
	TRPGR30ATGA			0.0 cm	0.0 cm
	TRPGR30ATGB			0.0 cm	0.0 cm
5	HDX-Blanca	2.0 cm	0.0 cm		
	HDX-Amarilla	1.5 cm	0.0 cm		
	FDX-B	3.5 cm	0.0 cm		
	TRPGR30ATGA			0.0 cm	0.0 cm
	TRPGR30ATGB			0.0 cm	0.0 cm
6	HDX-Blanca	2.5 cm	0.5 cm		
	HDX-Amarilla	2.0 cm	0.5 cm		
	FDX-B	3.0 cm	0.6 cm		
	TRPGR30ATGA			0.5 cm	0.5 cm
	TRPGR30ATGB			0.5 cm	0.5 cm
7	HDX-Blanca	2.0 cm	0.4 cm		
	HDX-Amarilla	2.0 cm	0.4 cm		
	FDX-B	2.3 cm	0.5 cm		
	TRPGR30ATGA			0.0cm	0.0 cm
	TRPGR30ATGB			0.5 cm	0.5 cm
8	HDX-Blanca	2.0 cm	1.5 cm		
	HDX-Amarilla	2.0 cm	1.5 cm		
	FDX-B	2.5 cm	1.0 cm		
	TRPGR30ATGA			0.0 cm	0.0 cm
	TRPGR30ATGB			0.0 cm	0.0 cm

VII. Algoritmos y Software

El programa principal o firmware para el microcontrolador *ATmega2560* fue diseñado utilizando *Atmel Studio 7.0™* y las herramientas de programación *AVR DRAGON™* y *ATMEL ICE™*. La programación se llevó a cabo mediante la comunicación ISP (“In circuit serial programming”).

A. ATmega2560

Las razones para escoger un microcontrolador ATmega2560, en la Figura son:

- La facilidad que este posee para manejar 4 dispositivos USART para comunicarse con periféricos externos.
- La cantidad de memoria flash (256K) que posee para desarrollar un firmware razonablemente extenso con lenguaje C.
- El voltaje de operación lógico es de 5V similar al voltaje de operación de la mayoría de los periféricos conectados a este.
- Pines de propósito general abundantes para crear futuras mejoras.
- Costo razonable y fácil de conseguir al ser popular.

- Los microcontroladores ATMEL ejecutan 1 instrucción por cada ciclo de reloj, esto es ventajoso para aplicaciones RF donde se requiere sensibilidad y precisión en las entradas y salidas.
- Los microcontroladores ATMEL de la familia AVR son todos compatibles entre ellos porque el CPU AVR es el mismo para todos, lo que significa que es relativamente sencillo migrar de un AVR a otro con tan solo realizar mínimos cambios en el software⁵⁴.



Figura R.21 ATmega2560 en su encapsulado TQFP100.

En el *Anexo VIII-I* se puede encontrar más información de este microcontrolador.

B. Atmel Studio 7.0

Atmel Studio 7.0TM es la plataforma oficial de desarrollo provista por Atmel para programar la mayoría de los dispositivos fabricados por esta marca. Este software, en la **Figura R.22**, provee de todo el entorno necesario y herramientas virtuales para programar y depurar código ya sea en lenguaje C o en ensamblador. La razón para seleccionar este software es debido a las ventajas que brinda, por ejemplo: facilidad de comunicación con los microcontroladores Atmel, permite acceder a todos los registros y fusibles del

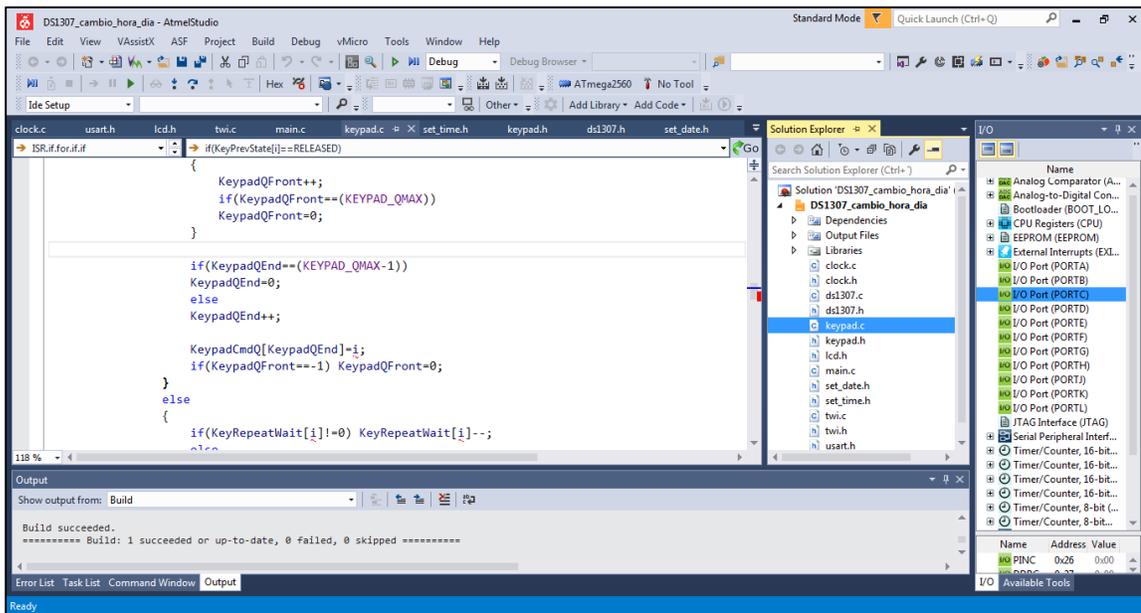


Figura R.22 Interfaz de ventada de Atmel Studio 7.0.

⁵⁴ Esta es la razón esencial de porque las placas *Arduino* funcionan con AVR en su mayoría.

microcontrolador que se emplee, por otro lado, es la herramienta oficial del fabricante y por ello está adecuada exclusivamente para los dispositivos de la marca Atmel, también, admite seleccionar gratuitamente el nivel de optimización del código en C, es compatible con la plataforma Arduino y permite exportar “sketches” de Arduino dentro del entorno de Atmel Studio, asimismo, reconoce agregar herramientas de desarrollo externas como el “USBasp” mientras sigue siendo compatible con todas las herramientas de desarrollo comercializadas por Atmel y además, este software es completamente gratis.

Sin embargo, a pesar que Atmel Studio 7.0 brinda varios beneficios, también tiene sus desventajas, por citar algunas, tenemos que: es necesario comprar una herramienta de desarrollo de Atmel como los dispositivos “AVR DRAGON” y “Atmel ICE” para explotar todas las funcionalidades del software, también, Atmel Studio no tiene integradas librerías como otros entornos de desarrollo de más alto nivel y por ende es necesario fabricar todo el código de librerías para conectar y hacer funcionar el hardware de acuerdo a las necesidades del proyecto, y por último, si bien es cierto que se pueden importar códigos de Arduino también es cierto que aún existen algunos gusanos en el código para importar estos “sketches” dentro del entorno del *Atmel Studio* y por ello a veces se tienen errores en el importe.

C. AVR DRAGON y ATMEL ICE

Para comunicarse con el microcontrolador ATmega2560 y poder programar el archivo “.hex” dentro de su memoria flash se utilizaron las herramientas de programación AVR DRAGON, en la **Figura R.23** y *Atmel ICE* en la **Figura R.24**. Ambos equipos son las herramientas de desarrollo oficial del fabricante Atmel y permiten comunicarse con el software antes mencionado Atmel Studio. El costo de la tarjeta AVR DRAGON es de U\$D 53.00 y el costo del dispositivo Atmel ICE es de U\$D 118.00. Estas herramientas son relativamente baratas en comparación con otras en el mercado y brindan un buen desempeño al momento de resolver problemas en los proyectos. Además, el método de comunicación con el dispositivo a programar puede variar y por ende se puede utilizar JTAG, ISP o programación paralela.

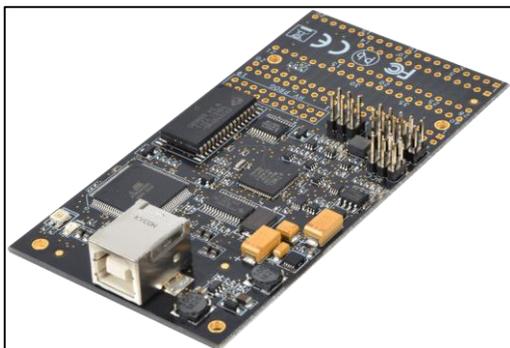


Figura R.23 Tarjeta AVR DRAGON.



Figura R.24 Kit Atmel ICE.

D. Algoritmos y Aplicaciones

El algoritmo para el prototipo de lector diseñado se muestra en el **Anexo VIII-II** en la **Figura AVIII.3**. Este muestra el comportamiento en forma de flujo del lector RFID ISO 11784/85. Este algoritmo se alcanzó programando todas las funciones alternas del lector en forma de subrutinas y dependencias en un código estructurado en lenguaje C con ayuda del software *Atmel Studio 7.0* tal como se muestra en la **Figura R.25**.

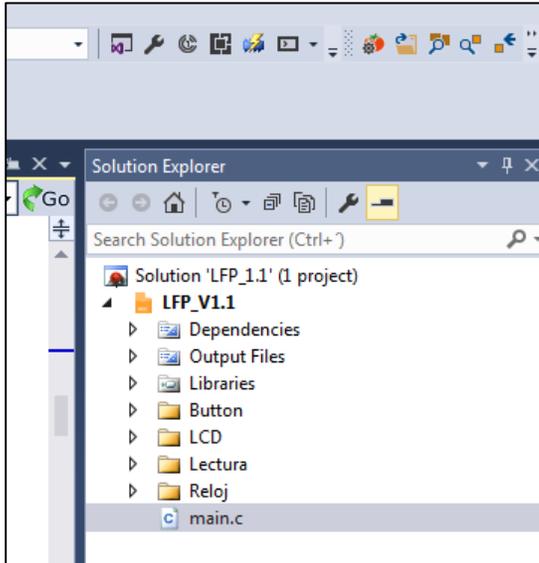


Figura R.25 Esquema de programación estructurada en Atmel Studio 7.0.

Asimismo, para verificar la funcionalidad del sistema Bluetooth se realizó una aplicación en “*MIT App Inventor 2*”, las capturas del diseño de la aplicación se muestran en el **Anexo VIII-III**. A continuación en la **Figura R.26** se muestran los resultados de la recepción de los códigos de identificación animal según el estándar ISO 11784/85.

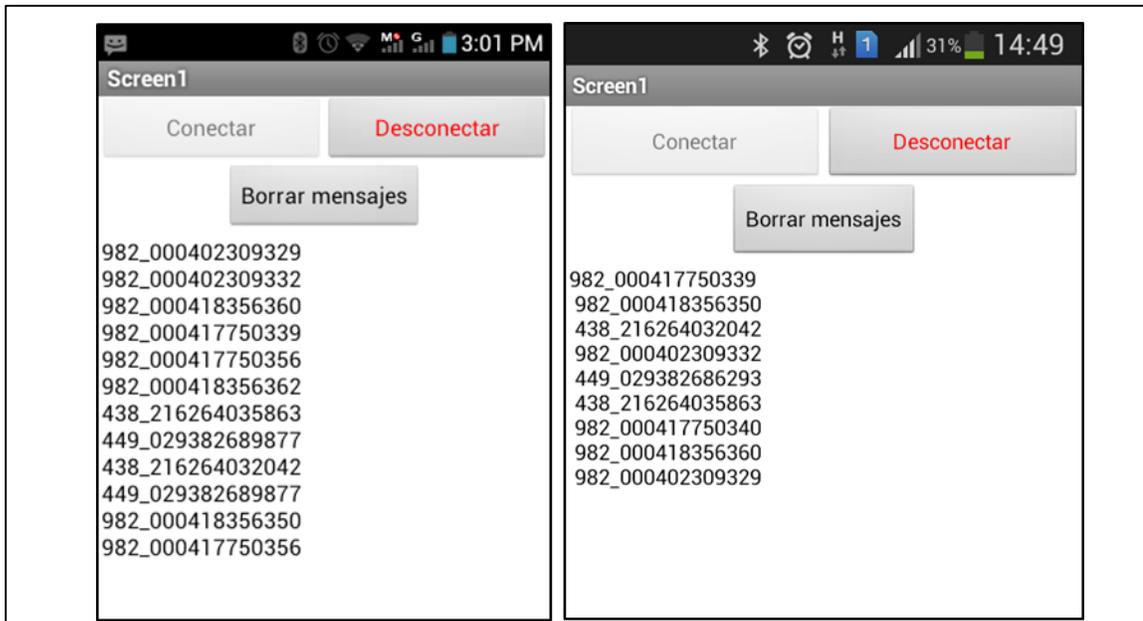
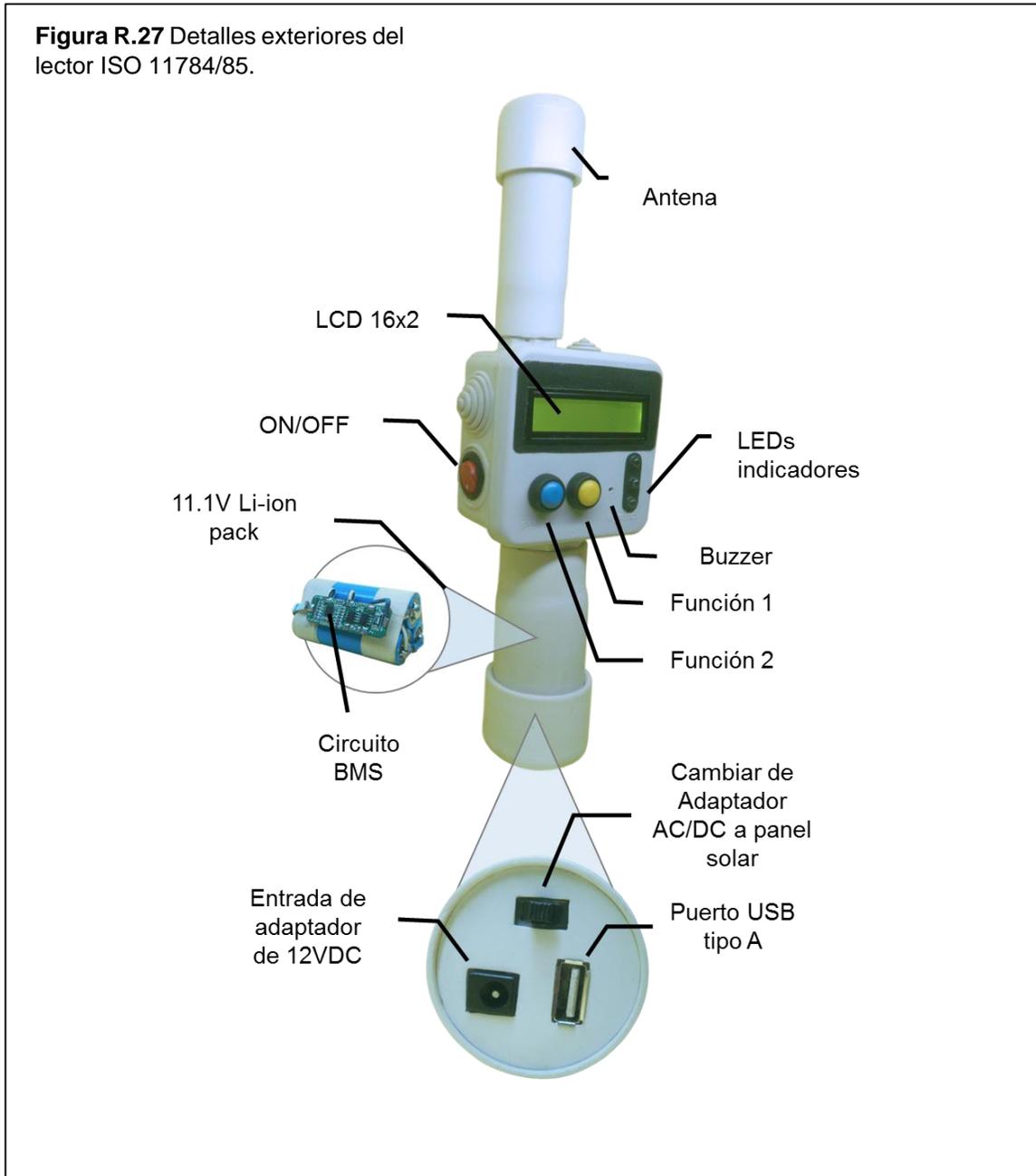


Figura R.26 Recepción de los IDs animales según ISO 11784/85 en dos teléfonos diferentes.

VIII. Diseño de la carcasa

El diseño de la carcasa se realizó con una caja eléctrica fabricada con material PVC sólido por la marca *LEGRAND* con protección IP65. Asimismo, la forma tubular se alcanzó con tubos de PVC blanco para agua potable de 1" y 1 ½". Por otro lado, para mostrar la información se utiliza un LCD de 16 caracteres por 2 filas y se combina con LEDs indicadores que muestran las diferentes funciones del dispositivo. También, para la interacción del usuario con el lector se usaron dos botones pulsadores de tipo "pbs-33b" los cuales son impermeables. Al final el resultado se muestra en la **Figura R.27**. Para más detalles ir al **Anexo IX**.



IX. Diseño del PCB

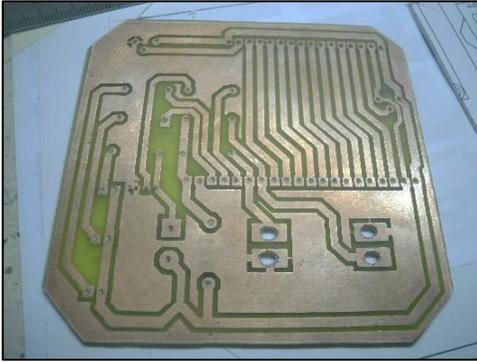


Figura R.28 Pista realizada por el método del planchado.

Para el diseño del circuito impreso se empleó la herramienta *Proteus 8.5*. Inicialmente se utilizó el método del planchado para darle el acabado a las pistas en los primeros experimentos y se alcanzaron resultados como los que se muestran en la **Figura R.28**. No obstante, conforme se fue avanzando se hizo necesario implementar tarjetas adaptadoras para poder comunicarse con los encapsulados muy pequeños como el del ATmega2560 mostrado anteriormente. Sin embargo, el tamaño de la caja a utilizarse y el requerimiento de portabilidad del lector no permitían una gran cantidad de cables o

adaptadores dentro del encapsulado de PVC por lo cual se manufacturaron las pistas con ayuda del fabricante “*PCBWay*” y en colaboración con la *Universidad de Villanova*. El resultado se muestra en la **Figura R.29**. Como puede apreciarse, el diseño del circuito impreso está en forma de panel, esto significa que es replicable fácilmente para la producción. Además, el diseño está compuesto de dos partes, la parte de control al lado izquierdo y la parte de interfaz de usuario que está al lado derecho del panel en la **Figura R.29**.

Para más detalles de este diseño, visualización 3D y sus respectivos esquemáticos ir al **Anexo X**.

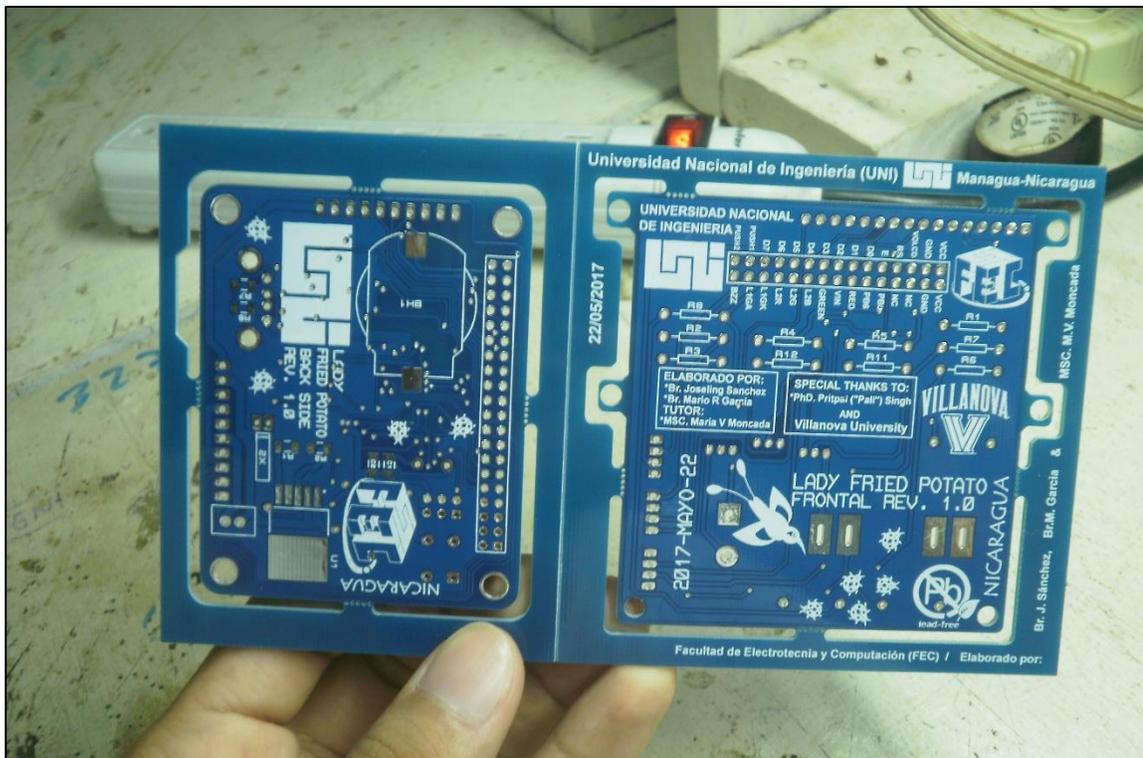


Figura R.29 Pista manufacturada por un fabricante internacional.

X. Costo de fabricación

Los costos de producir el prototipo tal como se muestra en la **Figura R.27** dependen del origen de los productos a utilizarse y la cantidad de lectores que deseen fabricarse. Cabe señalar que el dispositivo bastón lector RFID ISO 11784/85 no es comercializable aun ya que se trata de un prototipo, pero se realizó un análisis del precio de fabricación con la finalidad de saber si es posible competir con los fabricantes del *epígrafe 3.2*. Los resultados completos se presentan en una hoja de cálculo de “Microsoft Excel” adjunta en el disco del documento ya que esta ocupa un tamaño A3 de papel y no es posible adjuntarla en los Anexos. La **Figura R.30** resume el resultado de la hoja de cálculo.

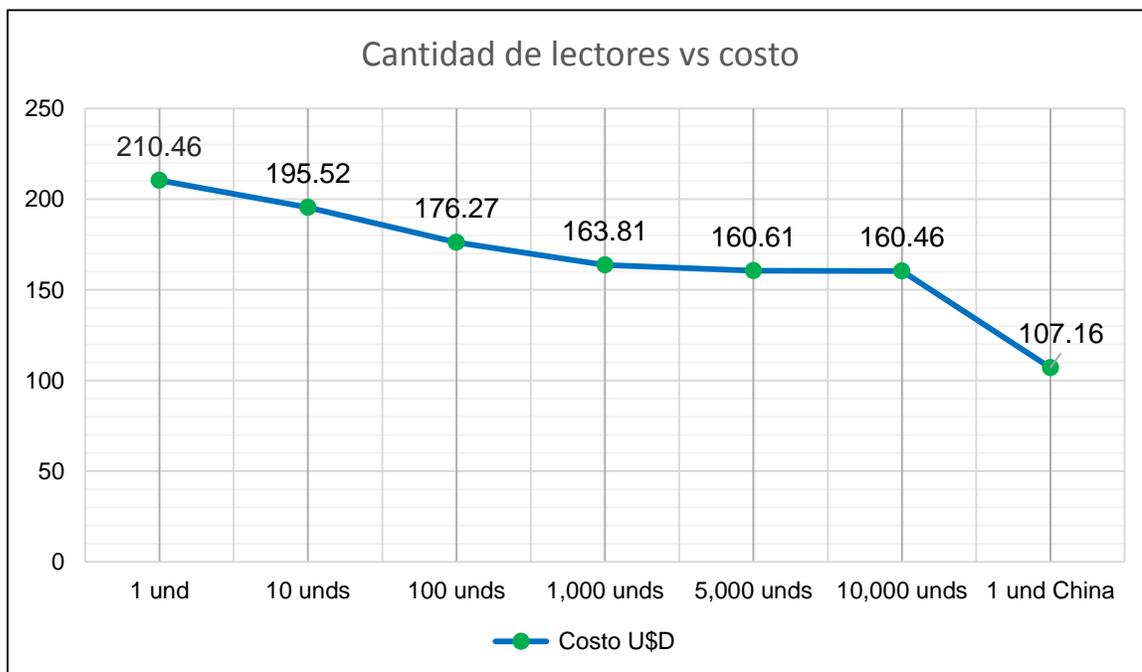


Figura R.30 Costos de fabricación del bastón lector ISO11784/85.

Como puede apreciarse, el precio máximo de fabricación es de USD 210.46⁵⁵ y el precio mínimo es de USD 160.46. Ahora bien, estos costos, a excepción del último, están basados en insumos comprados en los Estados Unidos, sin embargo si se realizan las compras en China, el costo podría reducirse aún más hasta un mínimo de USD 107.6. De esa manera, podemos darnos cuenta que aun con el precio mínimo de fabricación con partes importadas de Estados Unidos (USD 160.46) es posible competir con el precio del lector más barato mostrado en el *epígrafe 3.2.12 (USD 450)*. Además, se produce un margen de diferencia de USD 289.54 con el cual se puede generar ganancias y a la vez brindarle un producto asequible a los productores ganaderos nicaragüenses. No obstante, el gráfico anterior no contempla los costos de la mano de obra (salarios) ni el equipamiento necesario para poder fabricar los lectores, por tal razón se realizó el siguiente gráfico de la **Figura R.31** estimando el costo real de fabricar cada lector.

⁵⁵ El tipo de cambio a la fecha es de 1 USD = C\$ 29.71, Asimismo, el gráfico en C\$ se adjunta en el Anexo XI.

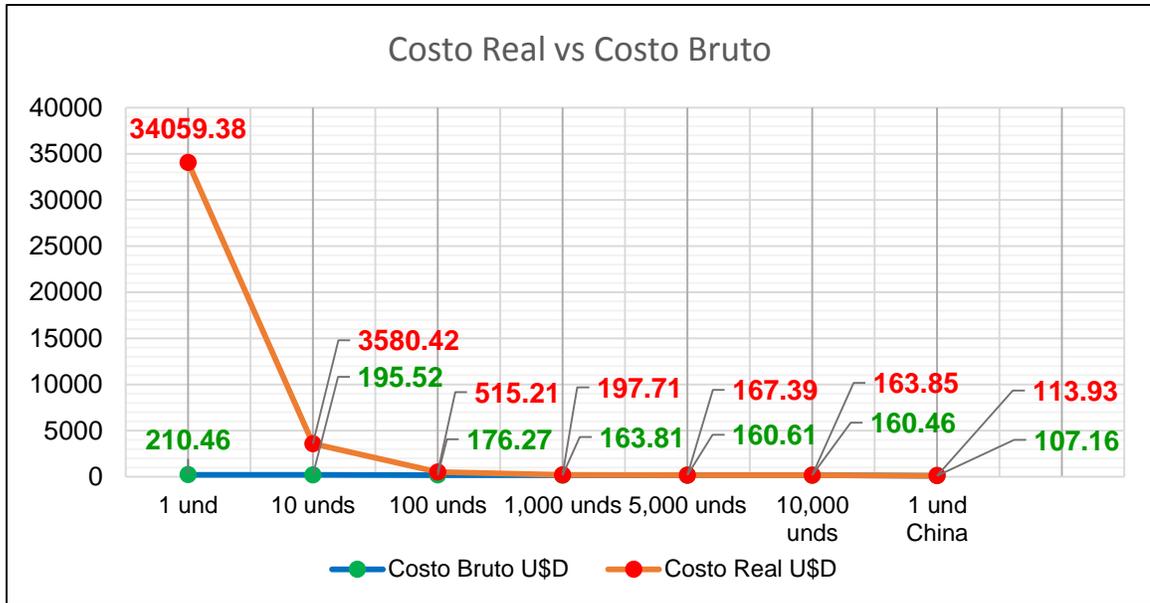


Figura R.31 Costos de fabricación del bastón lector ISO11784/85 incluyendo mano de obra.

Como puede apreciarse, aunque fabricar una unidad de bastón lector ISO 11784/85 aparenta ser de bajo costo, no lo es, ya que cuando se agregan los costos operacionales y de investigación el precio que resulta es exageradamente alto. Sin embargo, al seguir contemplando la **Figura R.31** podemos notar como el costo se normaliza conforme se fabrican más lectores. Este gráfico ayuda a comprender que la cantidad ideal de lectores a fabricar debe ser en lotes a partir de 1,000 unidades para garantizar el costo menor a U\$D 450 y obtener un margen de ganancias razonable. Por otro lado, lo que causa que el precio de un lector RFID ISO 11784/85 sea tan oneroso se muestra a continuación en la **Figura R.32**. Puede observarse que, el costo más alto en las partes utilizadas para fabricar el lector está en los módulos utilizados ya que ocupa un 33% del precio bruto de fabricación. Luego le siguen la fuente de poder con 27%, la carcasa con 14% y por último la manufactura de los circuitos impresos que utiliza 12%. Asimismo, en el *Anexo XI* al analizar más detenidamente los costos de los insumos. Podemos darnos cuenta por la **Figura AXI.2** que en el caso de los módulos, lo más caro es el módulo RFID ISO 11784/85 que ocupa un 68% del costo de todos los módulos. En el caso de la fuente de poder, según la **Figura AXI.3**, lo más caro resultan ser las baterías de litio 18650 que representan un 77% del costo de la fuente de poder.

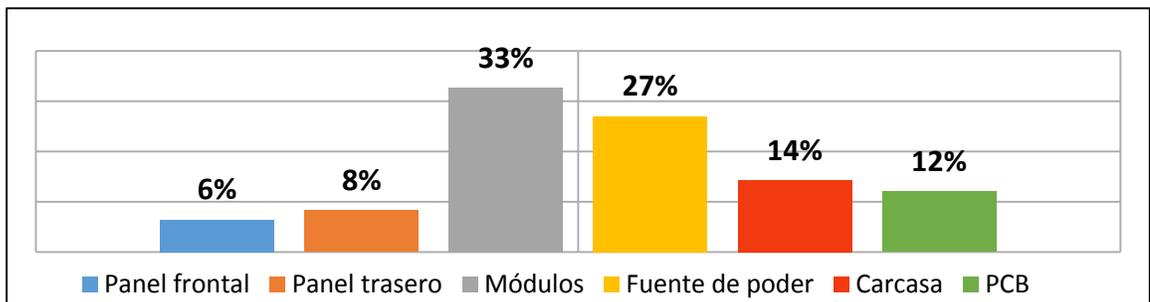


Figura R.32 Distribución porcentual de los costos de los insumos del lector RFID ISO11784/85.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del presente trabajo monográfico podemos resumir que es posible fabricar un bastón lector RFID ISO 11784/85 de bajo costo que permita agilizar el proceso de gestión ganadera y que sea compatible con los protocolos de transpondedores FDX-B y HDX descritos en el estándar. No obstante, se presentan muchos inconvenientes con respecto a las importaciones y políticas de aduana, por lo cual deben verificarse los tiempos de importe para no ocasionar retrasos en las entregas que luego puedan convertirse en costos adicionales.

Asimismo, como se mencionó anteriormente, el dispositivo diseñado opera con baterías, lo cual garantiza el requerimiento de portabilidad establecido en los objetivos. Al realizar las pruebas y los cálculos pertinentes se determinó que el lector tiene un consumo de 0.3A para modo lectura y 0.15A para modo reloj, con estos valores y con respecto a los 8.1Wh de potencia de cada celda de ion de litio utilizada, esto nos da una duración total de batería de 7.3 horas en modo continuo de lectura y 14.6 horas en modo reloj lo cual es adecuado para una jornada de trabajo. Cabe señalar que el tiempo mínimo de 7.3 horas puede sobrepasar más de 8 horas si se toman en cuenta el tiempo desplazamiento de los animales y las pausas del operario que manipule el lector. Además siempre existe la posibilidad de usar energía solar en caso de ser necesario.

En cuanto a la validación del dispositivo, esta se realizó mediante varias visitas a IPSA y APEN de donde se extrajeron los requerimientos necesarios para el diseño del prototipo. Además, se realizó una visita a IPSA con el dispositivo ya diseñado y se demostró la operación y funcionamiento del mismo al personal de equipo técnico los cuales se mostraron satisfechos con las funcionalidades del prototipo. Como consecuencia de esta actividad de validación del prototipo, el IPSA programó visitas técnicas de campo para validar la categorización propuesta del dispositivo. Se adjunta en el disco una copia de la carta cedida por vice-decanatura que prueban las visitas a IPSA y APEN de manera formal con la idea inicial de proyecto titulada “Sistema rastreador de animales”, también, se adjunta una copia de la última carta con la finalidad de responder a la solicitud del IPSA de brindarle más detalles técnicos del dispositivo.

Por otro lado, existen algunas mejoras a implementarse en el dispositivo para poder reducir más el costo de producción y mejorar su desempeño, entre ellas tenemos:

- Diseñar un módulo de comunicación RFID ISO 11784/85 con un chip DSP que sea fácilmente replicable, de bajo costo y que mejore la relación de consumo de energía versus rango de lectura. Como pudo apreciarse anteriormente, un buen porcentaje del costo del lector está asociado al módulo RFID ISO 11784/85 utilizado, por ello, diseñar un módulo propio que integre los protocolos FDX-B y HDX establecidos en el ISO 11784/85 ayudaría a reducir enormemente el costo de fabricación.
- Diseñar un algoritmo en MATLAB que permita calcular los patrones de radiación para las diferentes antenas de los diferentes sistemas RFID que existen, asimismo, que permita asociar los cálculos de antena con los insumos reales como barra de ferrita, alambre magnético según calibre etc., de esa manera se podría agilizar el proceso de diseño de antenas para cualquier sistema RFID.

- Mejorar el diseño de la fuente de poder de tal forma que se pueda operar el dispositivo bastón lector con un arreglo de menos celdas de litio. Recordemos que en el análisis y presentación de resultados se demostró mediante los costos de fabricación que el insumo más caro de la fuente de poder eran las baterías.
- Utilizar componentes de capacidad media para reducir los costos y compensar las funcionalidades requeridas desde el software. Por ejemplo: Emplear un microcontrolador más barato y emular las comunicaciones con los periféricos con los pines de propósito general I/O, usar un LCD o display más asequible y más pequeño etc.
- Reducir el tamaño de los componentes utilizados según sea necesario e integrar todo el sistema en un único PCB para reducir más los costos.
- Mejorar el diseño de la carcasa para que sea antihumedad con la norma IP-67.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Dra. Roser Solá, "Chapter 8: Ganadería," in Estructura Productiva de Nicaragua, Managua, Nicaragua, 2007.*
- [2] *Br. María Leticia Torres Sánchez, Br. Wendy Judith Orozco, Ing. Virginia López Orozco, UNAN-FAREM, Nivel de conocimiento de productores ganadores sobre el programa, trazabilidad bovina en tres comunidades de San Ramón-Matagalpa, 2011.*
- [3] *José Pablo Ortega Vergara, Trazabilidad Investigación, 2011.*
- [4] *Klaus Finkenzerler, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near field communication.*
- [5] *Feng Zheng, Thomas Kaiser, Digital signal processing for RFID.*
- [6] *Jerry Banks, Manual Pachano, Les Thomson, david Hanny, RFID Applied.*
- [7] *Communication Systems Engineering, John G. Proakis, Masoud Salehi, 2nd Ed.*
- [8] *Digital communications, John G. Proakis, Masoud Salehi, 5th Ed.*
- [9] *Radio frequency identification for animals, code structure, ISO 11784, 1996.*
- [10] *Radio frequency identification for animals, technical concepts, ISO 11785, 1996.*
- [11] *Radiofrequency identification of animals, advanced transponders, Part 1: Air interface ISO 14223-1, 2011.*
- [12] *EM Microelectronic, EM4095 datasheet.*
- [13] *Youbok Lee, Microchip Technology Inc., AN678, RFID Coil Design.*
- [14] *Frederick W. Grover, Inductance Calculations: Working Formulas and Tables, Dover Publications Inc., NY, 1946.*
- [15] *Trazabilidad avanzado: Guía práctica para la aplicación de un sistema de trazabilidad en una empresa alimentaria, Victoria de las Cuevas Insua, 2006.*
- [16] *SILERGY, SY6912 datasheet.*
- [17] *FTDI chip, FT232R USB UART IC datasheet.*
- [18] *ATMEL, ATmega2560 datasheet.*

ANEXOS

Anexo I: Diagramas de un lector RFID NFC que opera a 13.56MHz

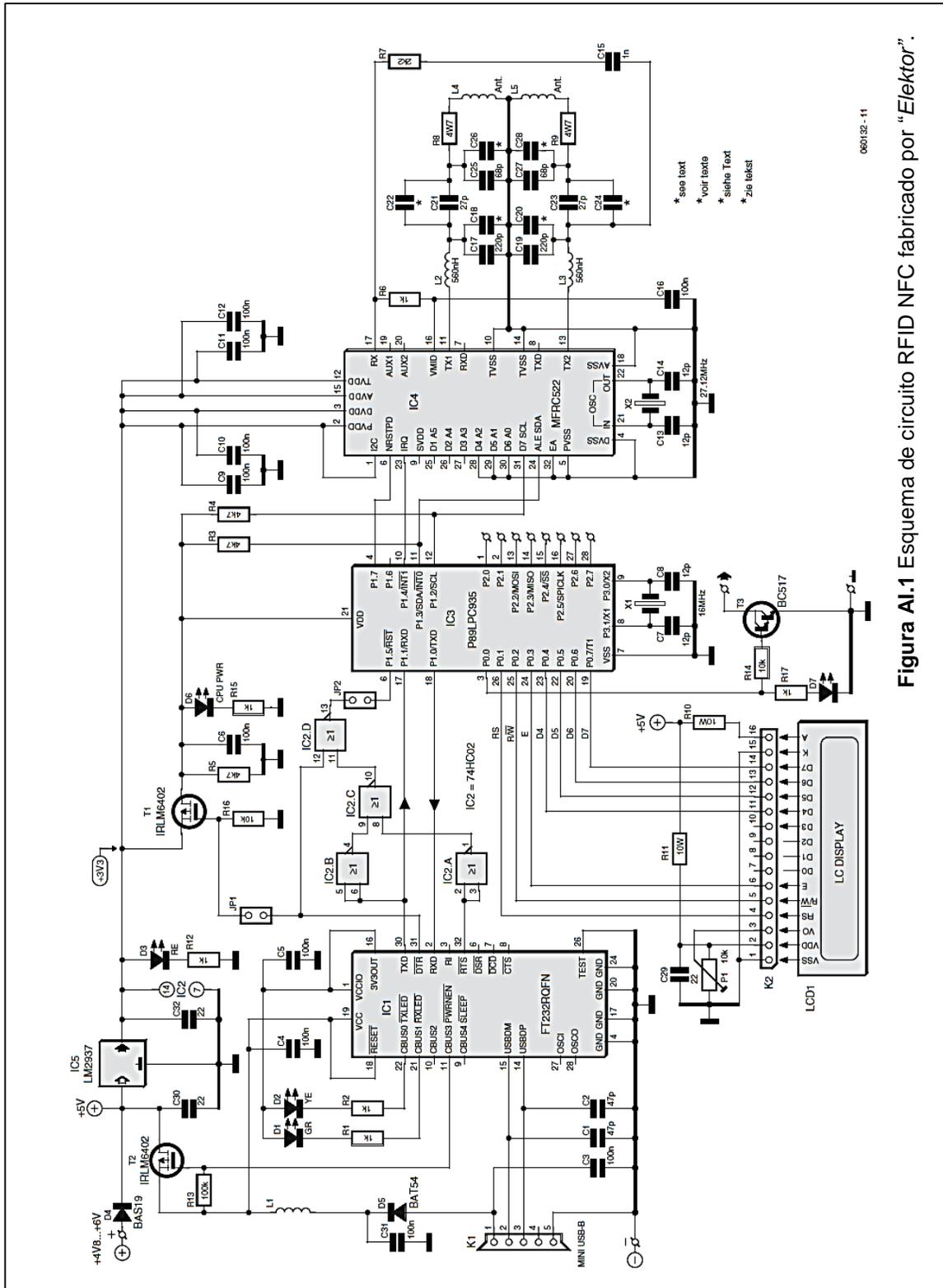


Figura A1.1 Esquema de circuito RFID NFC fabricado por "Elektor".

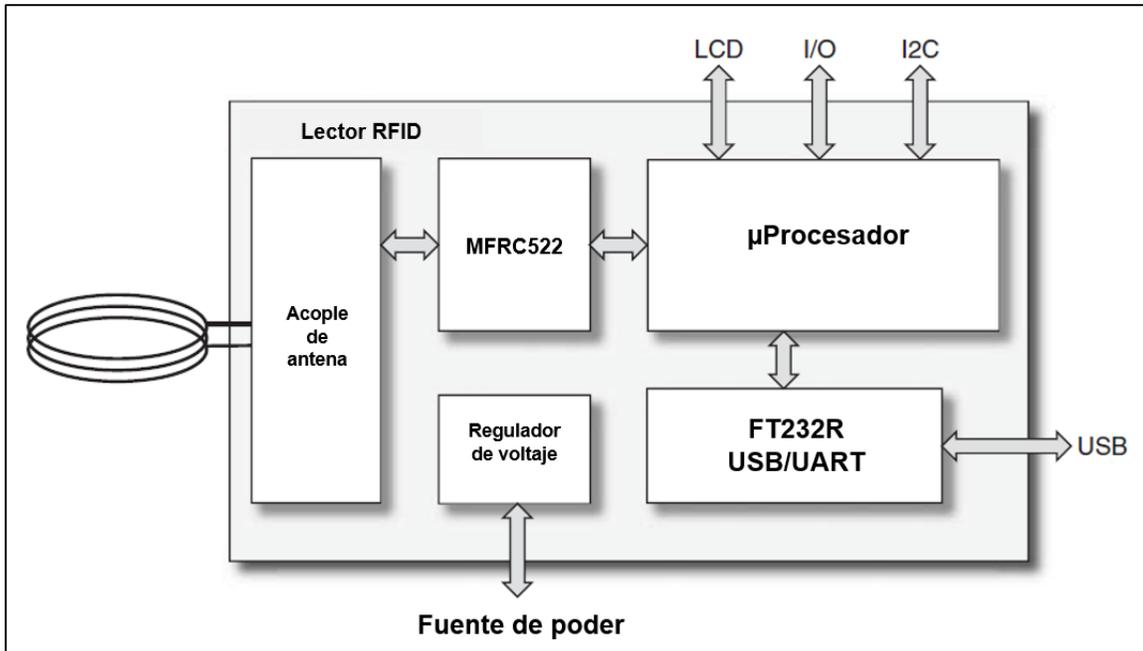


Figura A1.2 Bloques funcionales del lector de la Figura A1.1.



Figura A1.3 PCB del lector de la Figura A1.1.

Anexo II: Lectores RFID ISO 11784/85 en el mercado (manuales)

I. ID- innovations (www.id-innovations.com)

A. Detalles de la familia ID-xxLA-ISO

La familia “ID-xxLA-ISO” es una familia de módulos lectores RFID de bajo costo que es compatible con el ISO 11784/85 para la identificación de animales. La **Figura AII.1** y **Figura AII.2** muestran el diagrama de pines de estos módulos. La diferencia entre un *ID-3LA-ISO* y un *ID-12LA-ISO* o un *ID-20LA-ISO*, es que los módulos *ID-12LA-ISO* e *ID-20LA-ISO* incorporan una antena dentro de su encapsulado. En cambio el módulo *ID-3LA-ISO* necesita que se le adjunte una bobina externa para que pueda funcionar. Asimismo, la diferencia entre un *ID-12LA-ISO* y un *ID-20LA-ISO* es su rango de lectura y el tamaño del módulo.

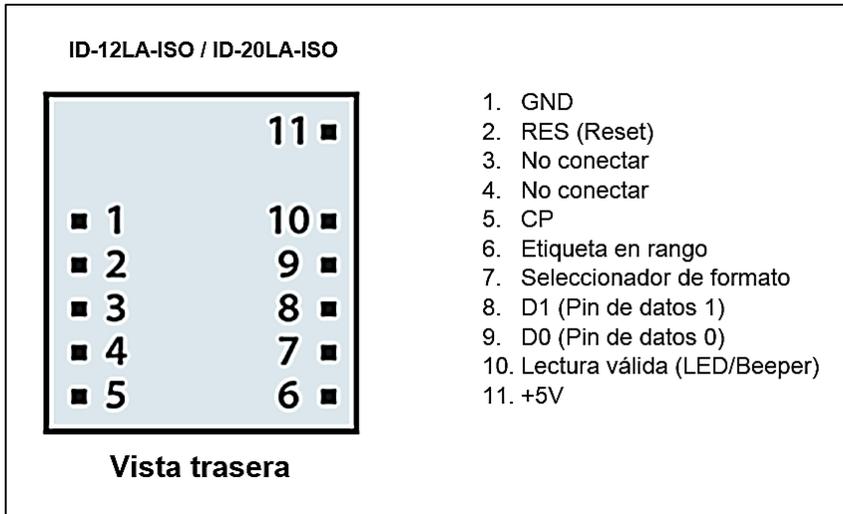


Figura AII.1 Salida de pines para *ID-12LA-ISO* e *ID-20LA-ISO*.

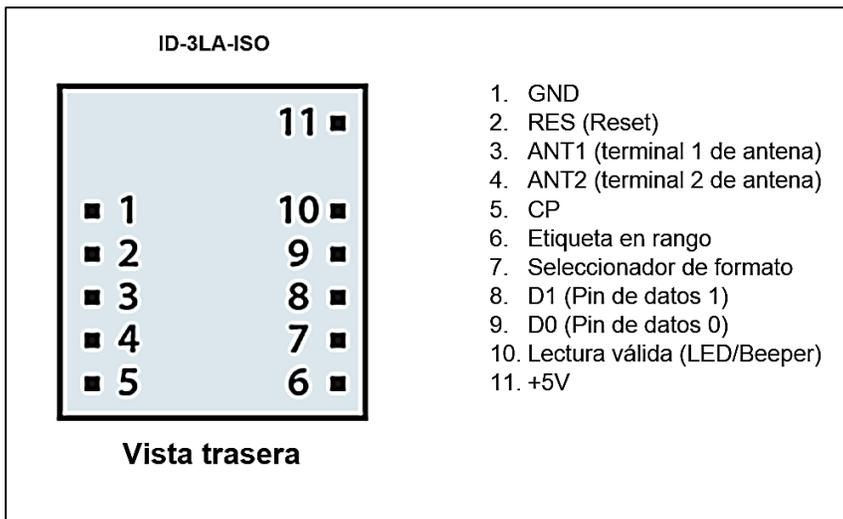


Figura AII.2 Salida de pines para *ID-3LA-ISO*.

B. Diagramas de conexión

A continuación en la **Figura AII.3** y **Figura AII.4** se muestran los esquemas de conexión de los módulos *ID-xxLA-ISO*. Las salidas de datos deben ser conectadas a un microcontrolador externo o alguna tarjeta de desarrollo para poder recibir las variables de lectura. Como es de esperarse en la **Figura AII.3** que corresponde a los módulos *ID-12LA-ISO* e *ID-20LA-ISO* se omite la bobina antenna ya que está integrada dentro del encapsulado.

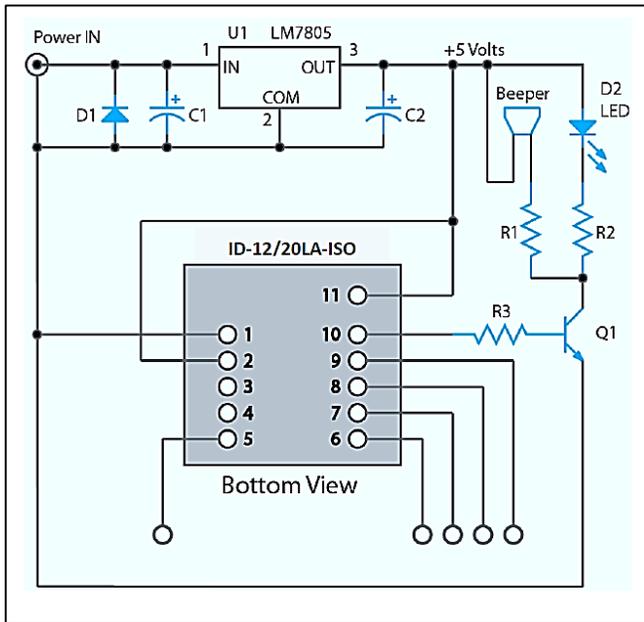


Figura AII.3 Diagrama de conexión recomendado para *ID-12LA-ISO* e *ID-20LA-ISO*.

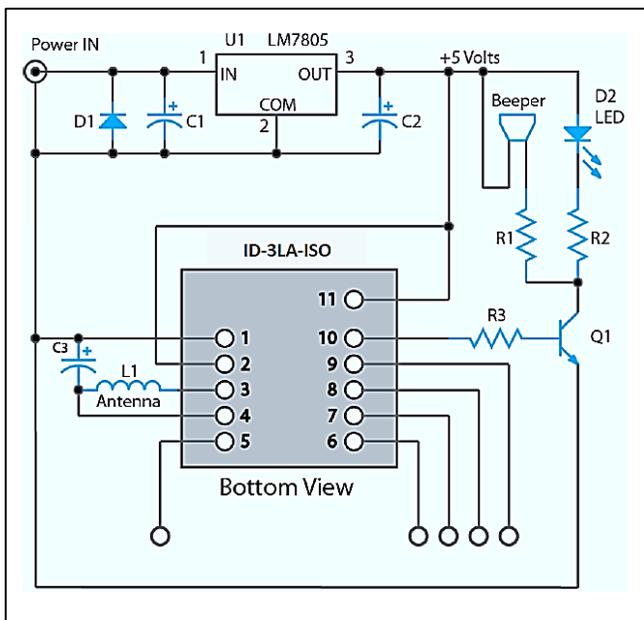


Figura AII.4 Diagrama de conexión recomendado para *ID-3LA-ISO*.

C. Medidas de los módulos fabricados por “ID-innovations”

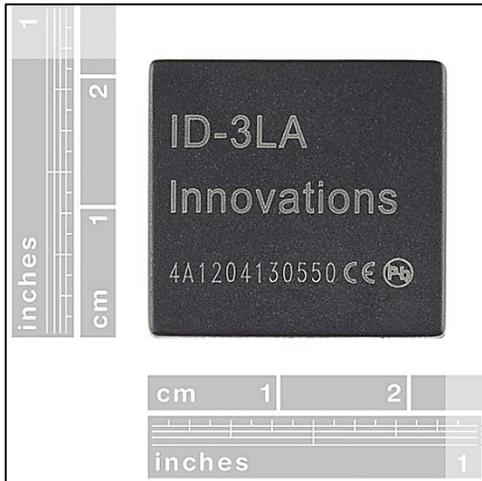


Figura AII.5 Medidas de *ID-3LA*.

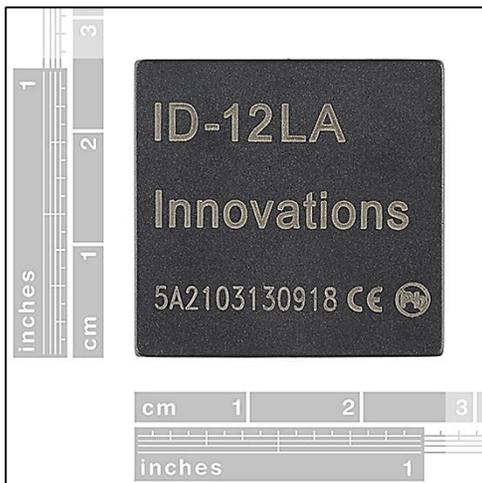


Figura AII.6 Medidas de *ID-12LA*.

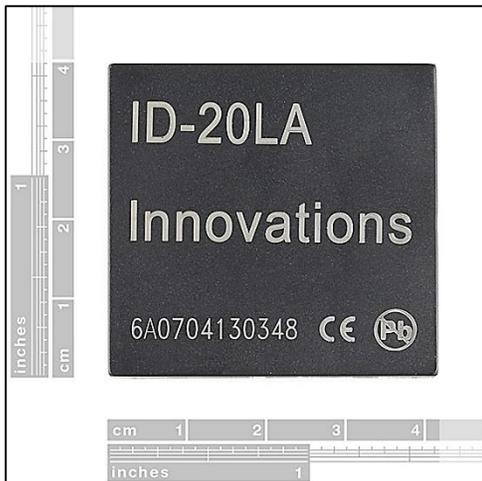


Figura AII.7 Medidas de *ID-20LA*.

II. Priority 1 Design (www.priority1design.com.au)

A. RFIDRW-E-TTL

El módulo *RFIDRW-E-TTL* es alimentado por medio de una fuente DC a partir de las terminales $-V$ y $+V$ que están en el conector **J1** como muestra la **Figura AII.8**. Los comandos y los datos de información son extraídos de TX y RX en el conector **J1** con nivel lógico de 0-5V e igualmente pueden ser extraídos con nivel lógico de 3.3V en los pines TX y RX del conector **J2**. Adicionalmente las salidas de control de periféricos **B**, **L-** y **L+** permiten conectar un LED bicolor y un buzzer para indicar lectura exitosa. La **Tabla AII.1** detalla todas las funcionalidades de los pines. Y la **Tabla AII.2** detalla los valores máximos de operación que soporta el módulo.

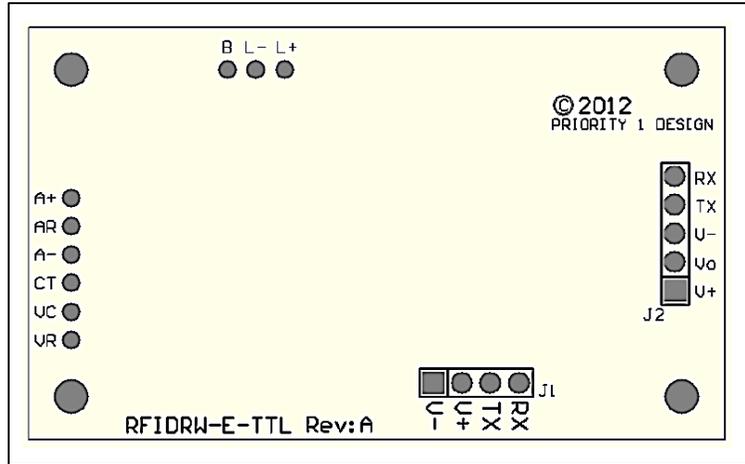


Figura AII.8 Esquema del módulo *RFIDRW-E-TTL*.

Conector J1		
Pin	Etiqueta	Descripción
1	-V	Línea de tierra (0V)
2	+V	Entrada de fuente de alimentación
3	TX	Salida UART TX (0-5V)
4	RX	Entrada UART RX (0-5V)
Conector J2		
1	V+	Entrada de fuente de alimentación
2	Vo	Salida de 3.3V para periféricos externos
3	V-	Línea de tierra (0V)
4	TX	Salida UART (0-3.3V)
5	RX	Entrada UART (0-3.3V)
Línea de periféricos		
1	L+	Polaridad positiva de la salida de LED
2	L-	Polaridad negativa de la salida de LED
3	B	Salida de control para buzzer

Tabla AII.1 Pines de salida/entrada del módulo *RFIDRW-E-TTL*.

Parámetro	Máximo valor
V+ con respecto a GND	-0.3V-15V
Niveles de la señal UART	0V-5V (J1)
Niveles de la señal UART	0V-3.3V (J2)
Corriente de operación	38mA
Rango de temperatura	0°C -85°C
Temperatura de almacenamiento	0°C -85°C
Máximo voltaje en la antena	400Vp

Tabla AII.2 Máximos valores de operación del módulo *RFIDRW-E-TTL*.

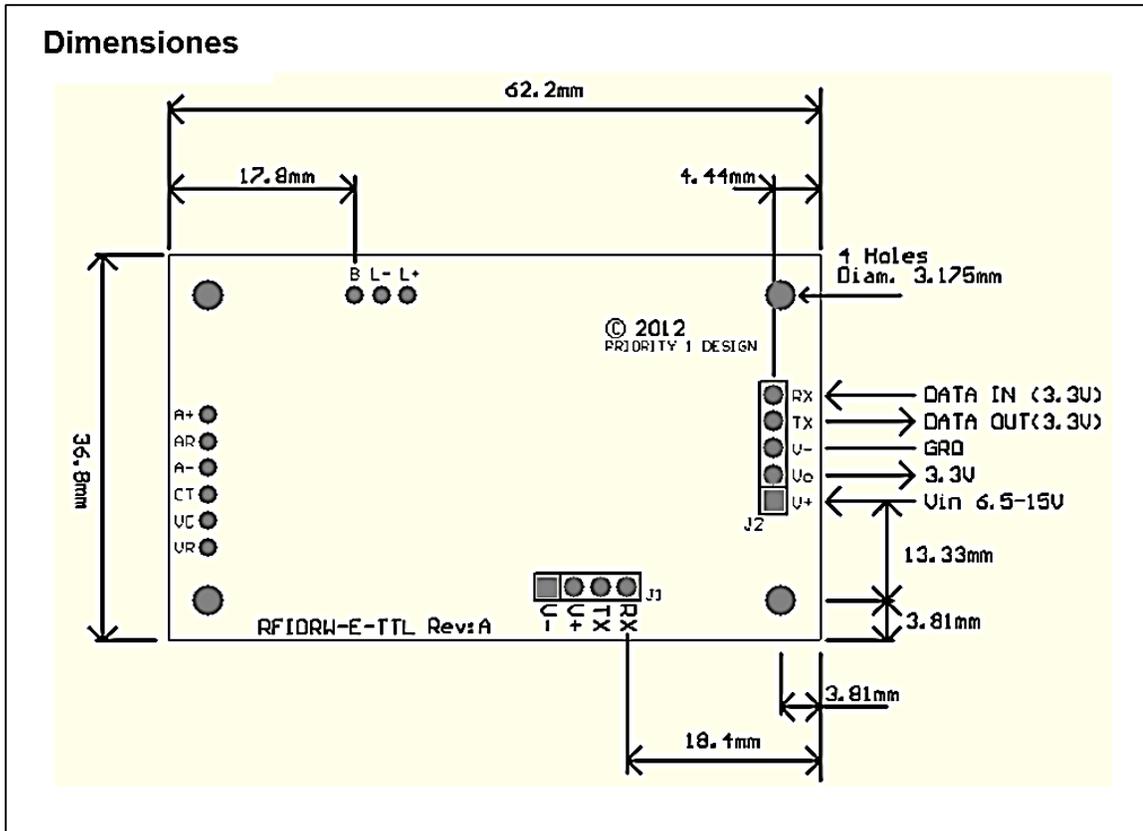


Figura AII.9 Dimensiones en milímetros del módulo *RFIDRW-E-TTL*.

Para obtener aún más información relacionada con este módulo lector revisar directamente la hoja de datos: <http://www.priority1design.com.au/rfidrw-e-ttl.pdf>

B. RFIDRW-E-USB

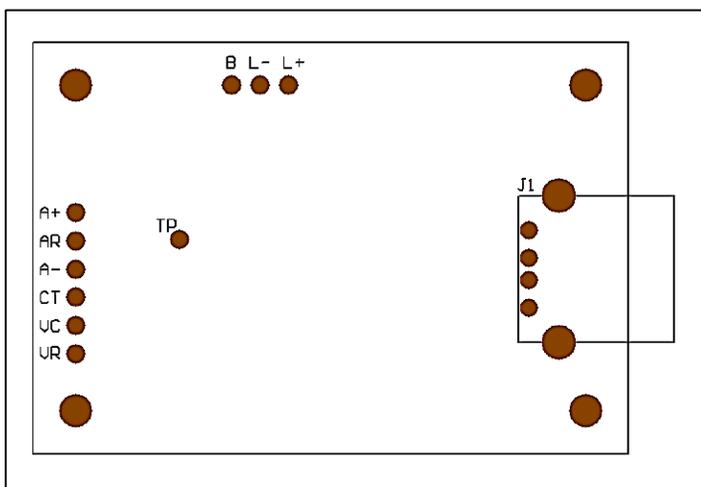


Figura AII.10 Esquema del módulo *RFIDRW-E-USB*.

La **Figura AII.10** muestra el diagrama de salidas del módulo *RFIDRW-E-USB* y se puede observar que se cuenta con las salidas para controlar buzzer y LED, además de las salidas para antena y la salida USB. La **Tabla AII.3** muestra la asignación de pines y la **Tabla AII.4** muestra los máximos valores que el modulo soporta. Los detalles de la conexión de antena se mostraran en el próximo apartado.

Línea de periféricos		
1	L+	Polaridad positiva de la salida de LED
2	L-	Polaridad negativa de la salida de LED
3	B	Salida de control para buzzer

Tabla AII.3 Pines de salida/entrada del módulo *RFIDRW-E-USB*.

Parámetro	Máximo valor
Voltaje máximo B, L-, L+	0-5V
Rango de temperatura	0°C -85°C
Temperatura de almacenamiento	0°C -85°C
Máximo voltaje en la antena	250Vpp

Tabla AII.4 Máximos valores de operación del módulo *RFIDRW-E-USB*.

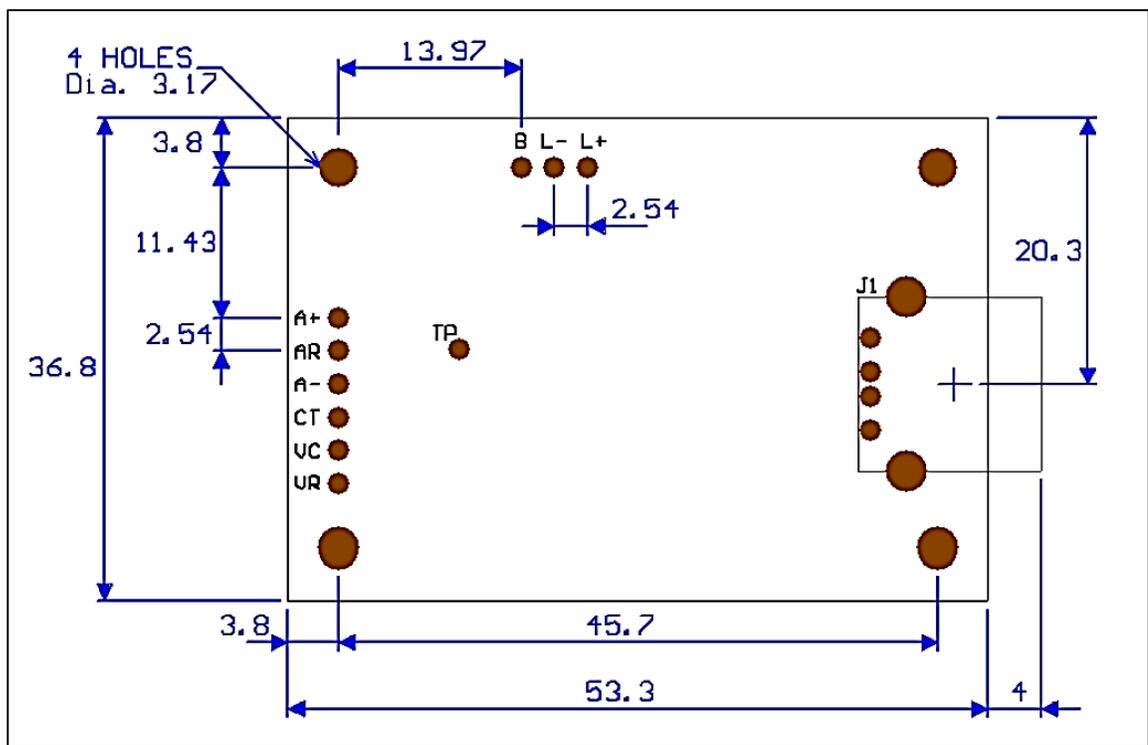


Figura AII.11 Medidas en milímetros del módulo *RFIDRW-E-USB*.

Para obtener aún más información relacionada con este módulo lector revisar directamente la hoja de datos: <http://www.priority1design.com.au/rfidrw-e-usb.pdf>

C. RFIDLOG y RFIDLOG-AUX

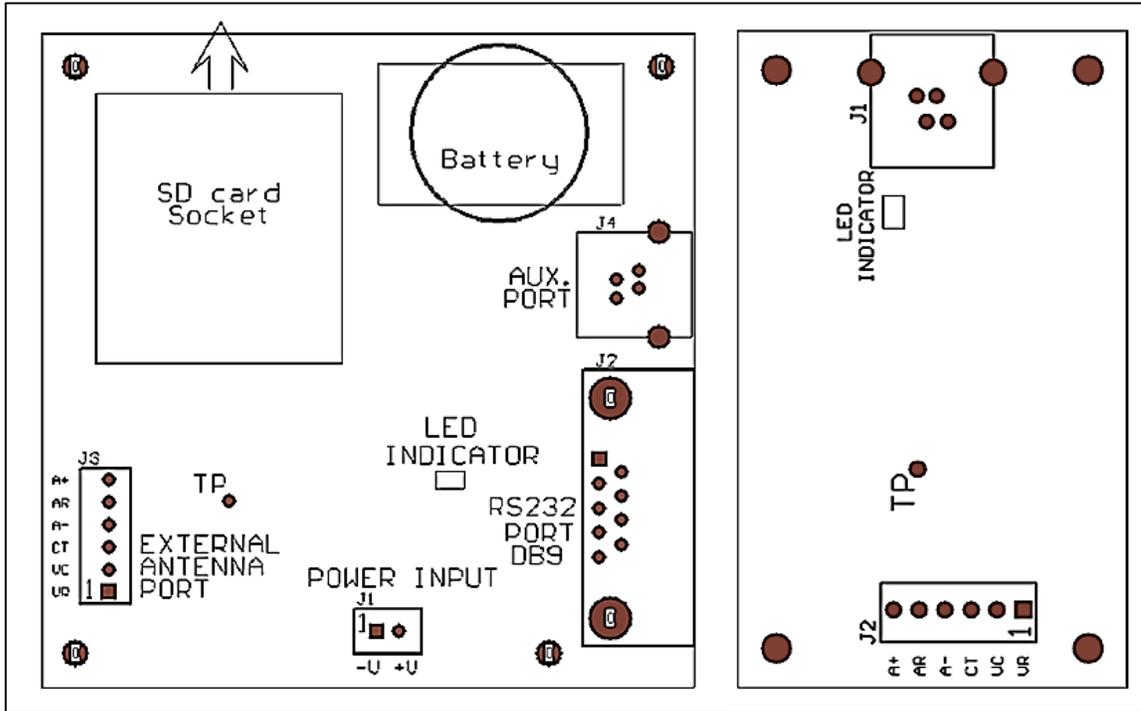


Figura AII.12 Pines de salida del módulo *RFIDLOG* (izquierda) *RFIDLOG-AUX* (derecha).

Conector J1		
Pin	Etiqueta	Descripción
1	-V	Línea de tierra (0V)
2	+V	Entrada de fuente de alimentación (+6.0VDC-13.2VDC)
Conector J2		
2	V+	UART TX RS232 salida de datos
3	Vo	UART RX RS232 entrada de datos
5	V-	Línea de tierra de la señal (0V)

Tabla AII.5 Pines de salida/entrada del módulo *RFIDLOG*.

Parámetro	Máximo valor
V+ con respecto a GND	-0.3VDC-13.2VDC
Nivel de la señal RS232	±25V
Corriente de operación de <i>RFIDLOG</i>	25mA
Corriente de operación de <i>RFIDLOG-AUX</i>	88mA
Rango de temperatura	0°C -85°C
Temperatura de almacenamiento	0°C -85°C
Máximo voltaje en la antena	400Vpp

Tabla AII.6 Máximos valores de operación del módulo *RFIDLOG* y *RFIDLOG-AUX*.

A continuación se muestra el formato de salida de datos del módulo *RFIDLOG* y *RFIDLOG-AUX*. Puede verificarse que los datos de la **Figura AII.13** se corresponden con los valores impresos en los transpondedores de la **Figura AII.14**.

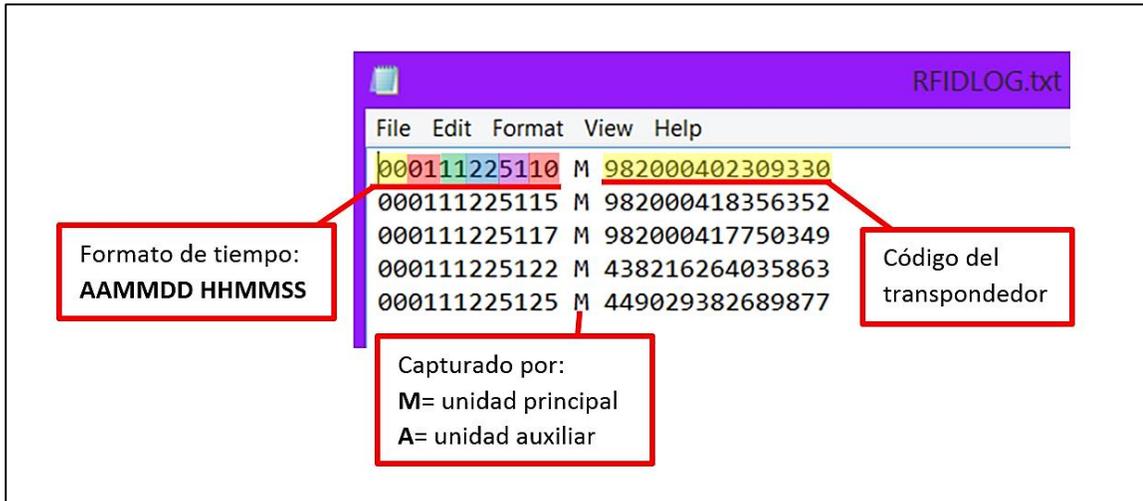


Figura AII.13 Formato de almacenamiento de los datos recolectados por los módulos *RFIDLOG* y *RFIDLOG-AUX*.



Figura AII.14 Transpondedores utilizados en la *Figura AII.13*.

La **Figura AII.15** en la siguiente página muestra las medidas del módulo *RFIDLOG* y *RFIDLOG-AUX*. Para obtener aún más información relacionada con este módulo lector revisar directamente la hoja de datos:

http://www.priority1design.com.au/rfidlog_rfid_data_logger.pdf

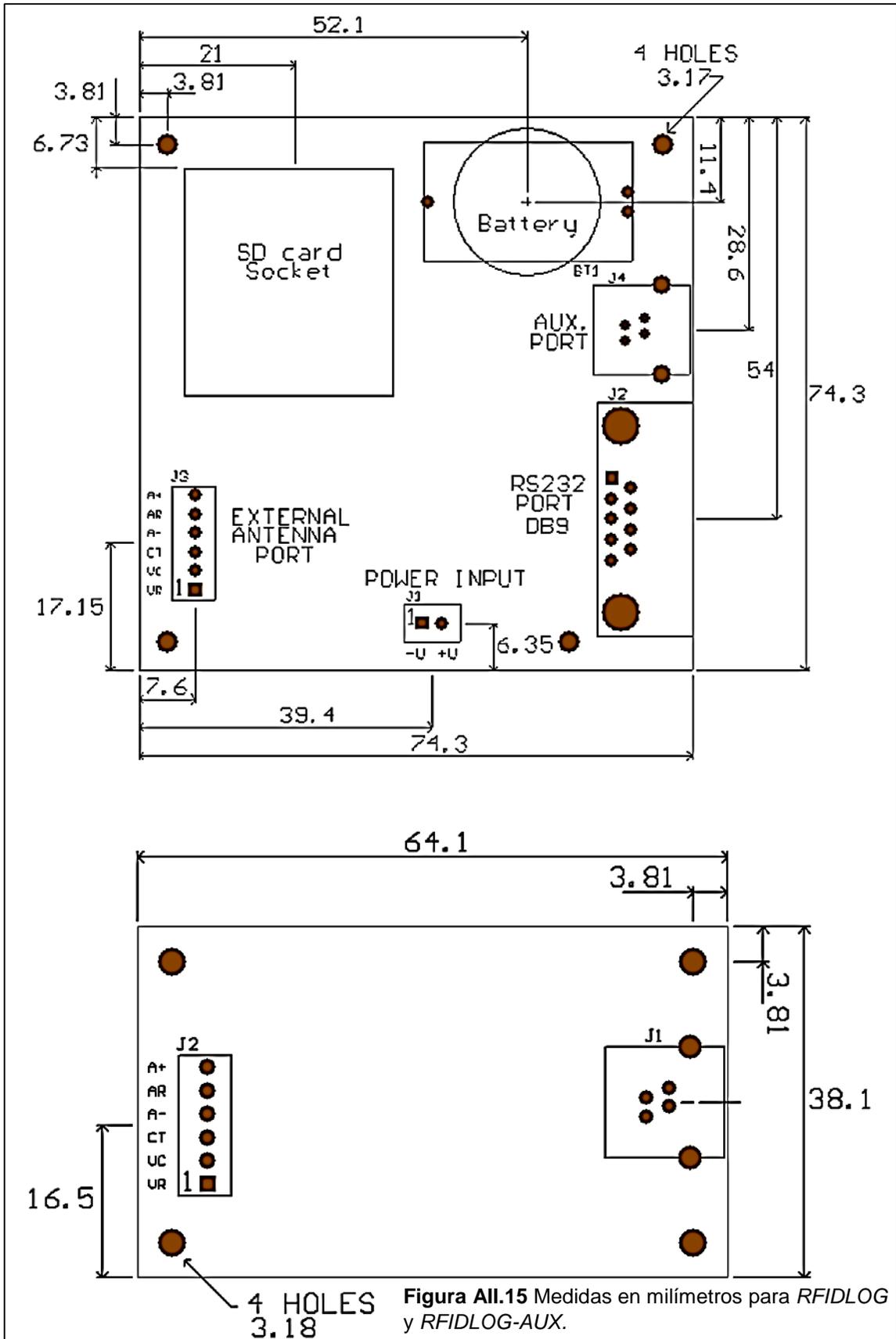


Figura AII.15 Medidas en milímetros para RFIDLOG y RFIDLOG-AUX.

D. Frecuencia de operación (para todos los módulos en general)

En cualquiera de los módulos *RFID* de “*Priority 1 Design*” la antena es un inductor, típicamente en forma de bobina. Cuando un inductor es acoplado con un capacitor y a este circuito se le introduce una señal alternante, la amplitud del voltaje a través del inductor varía dependiendo de los valores de la frecuencia introducidos. Este circuito se ilustra en la **Figura AII.16**. Cuando la frecuencia alcanza un valor crítico entonces el voltaje a través del inductor se vuelve máximo y este puede ser muchas veces la amplitud del voltaje impuesto. A este fenómeno se le conoce como resonancia. Los lectores *RFID* típicamente operan con la frecuencia de resonancia para maximizar la potencia transferida a la antena.

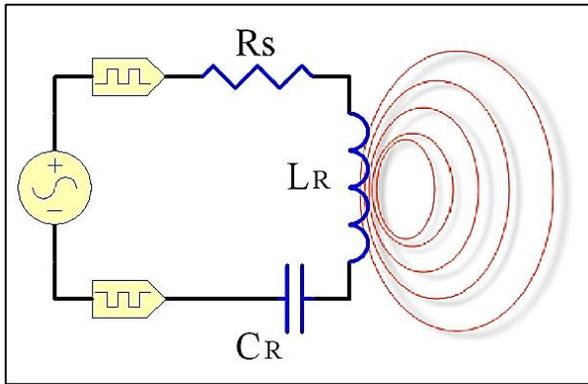


Figura AII.16 Circuito de acople básico. L_R = inductancia de la antena, C_R = valor del capacitor de acople, R_S = resistencia de la antena.

La frecuencia de resonancia de un circuito puede ser encontrada utilizando la siguiente fórmula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_R}} \quad (\text{AII.1})$$

Dónde:

f_0 es la frecuencia de operación, L_R es la inductancia de la antena y C_R es el valor del capacitor de sintonización o de acople.

Los módulos de “*Priority 1 Design*” utilizan una frecuencia portadora auto adaptiva la cual permite mantener la frecuencia de operación en el valor de la frecuencia de resonancia para que la transmisión sea máxima. Al transmitir más potencia, se incrementa el rango de lectura. La frecuencia de operación de los módulos de “*Priority 1 Design*” es de 134.2kHz.

E. Conexión de una antena (Para todos los módulos en general)

Los módulos *RFID* de “*Priority 1 Design*” tienen una serie de terminales para conectar y configurar una antena. Estas pines de conexión están definidos como: *A+*, *AR*, *A-*, *CT*, *VC* y *VR*. La frecuencia de operación puede ser medida utilizando el comando *MOF* que se describe en las hojas de datos o puede verificarse en la interfaz de aplicación para PC. La **Tabla AII.7** describe los pines mencionados anteriormente.

Conector para antena		
Pin	Etiqueta	Descripción
1	A+	Una terminal de la bobina se conecta aquí a través de un resistor de 22Ω interno en el módulo.
2	AR	Esta línea es la misma que A+ pero con el resistor interno de 22Ω cortocircuitado internamente.
3	A-	Aquí se conecta la otra terminal de la antena. A- y VC están internamente conectados.
4	CT	Un capacitor de sintonización se adjunta entre CT y VC o A- para sintonizar la unidad a la frecuencia de operación.
5	VC	Un capacitor divisor adicional puede ser añadido entre VC y VR para ajustar la potencia de la señal en VR.
6	VR	Punto de sensado de la señal.

Tabla AII.7 Salidas para configurar una antena (válido para todos los módulos expuestos anteriormente).

Las unidades RFID de “*Priority 1 Design*” están diseñadas para funcionar con las antenas que ellos comercializan. El diagrama de conexión se muestra en la **Figura AII.17**.

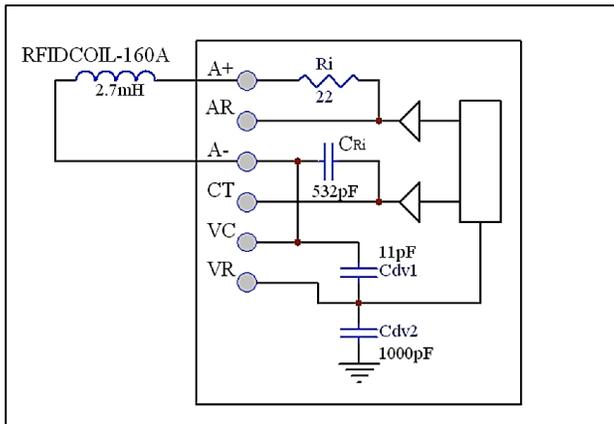


Figura AII.17 Conexión de una antena *RFIDCOIL-160A* con el módulo RFID fabricado por “*Priority 1 Design*”.

Por otro lado, si se desea usar otra antena es posible hacerlo, pero se deben realizar los cálculos para acoplar un capacitor sintonizador externo que permita a la nueva inductancia resonar a la frecuencia de operación del módulo. La **Figura AII.18** muestra un ejemplo.

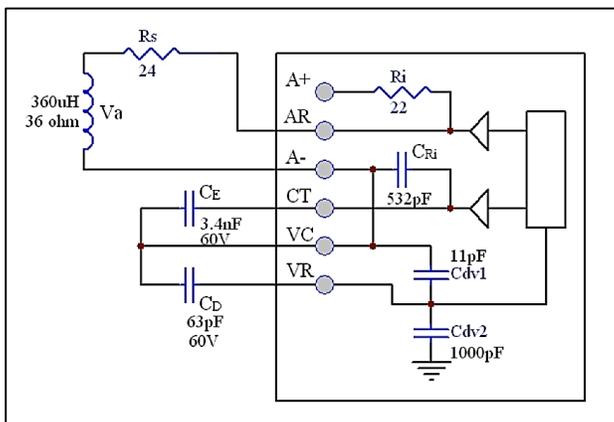


Figura AII.18 Conexión de una antena personalizada con acople capacitivo externo.

F. Aplicaciones para PC gratuitas de “Priority 1 Design”

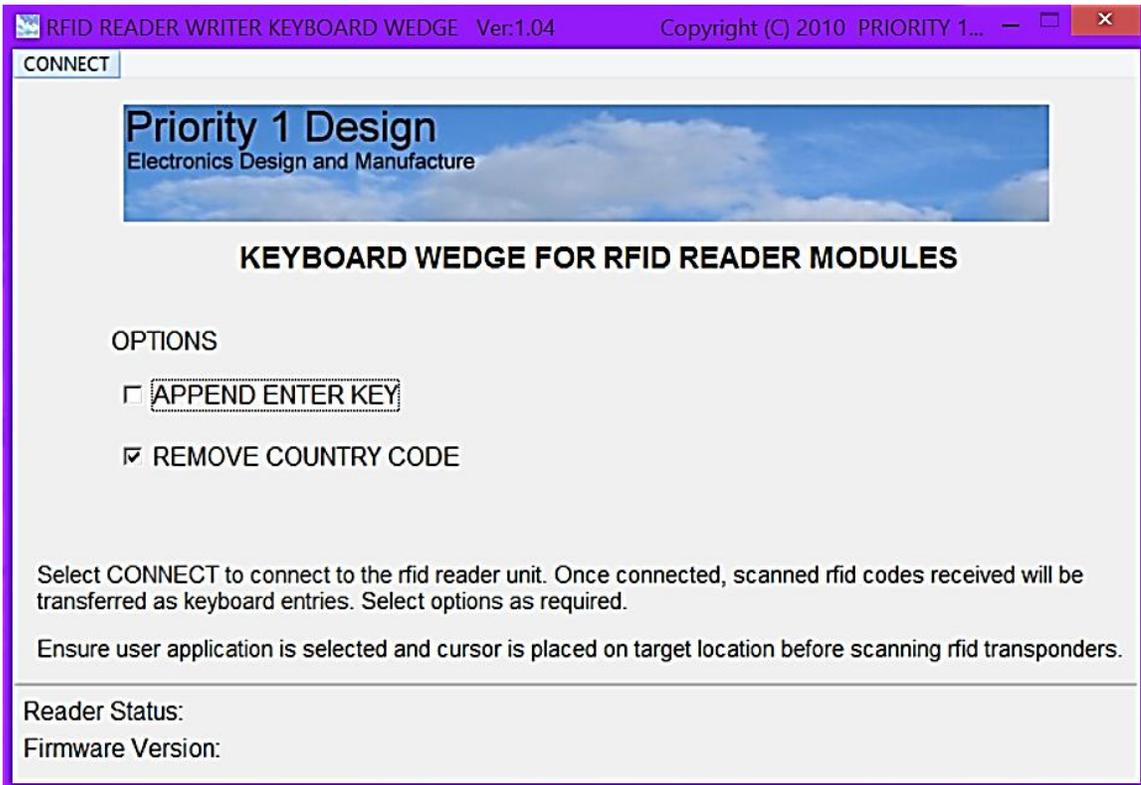
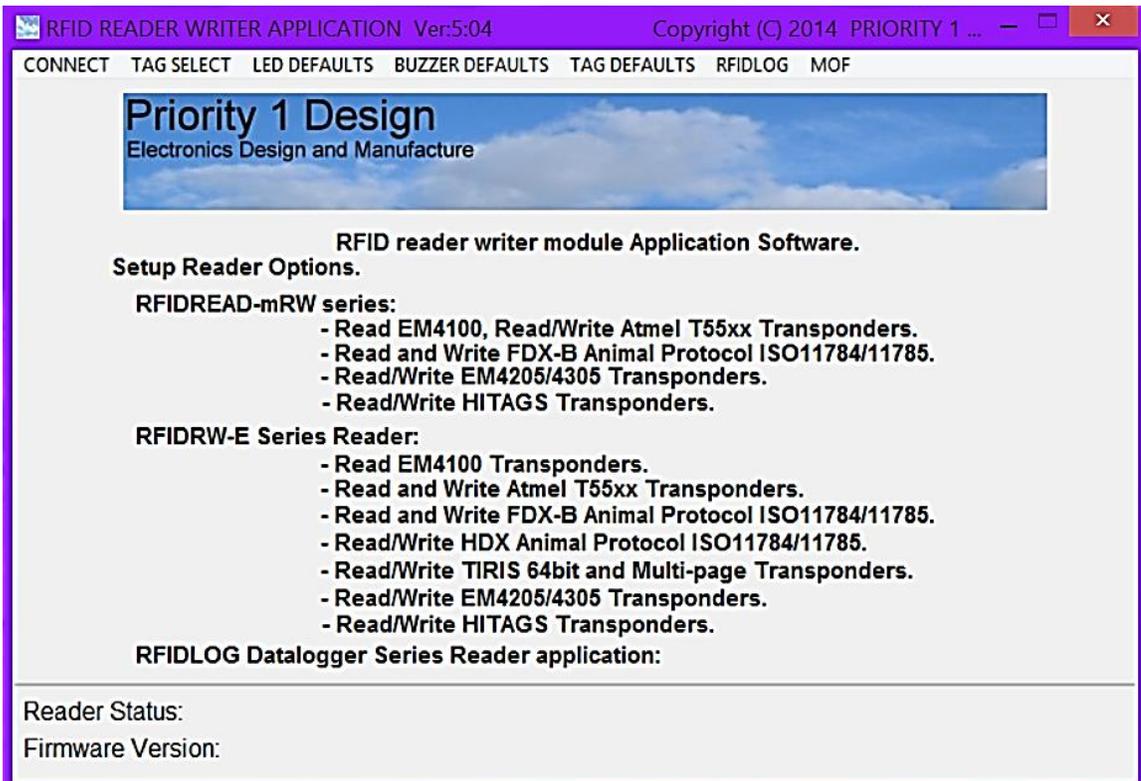


Figura All.19a (arriba), Interfaz para copiar datos leídos a Microsoft Excel. **Figura All.19b** (abajo), interfaz para almacenar datos y enviar comandos a los módulos.



III. Allflex™



Figura AII.20 Logotipo de Allflex™.

(<http://www.allflexusa.com>)

Allflex™ es una empresa líder a nivel mundial en el diseño y manufactura de tecnología de identificación animal la cual está orientada a brindar soluciones en los sistemas de trazabilidad a lo largo de la cadena productiva. Allflex™ tiene subsidiarias en USA, Canadá, Europa, Australia, Nueva Zelanda, Brasil y China. Asimismo, distribuyen sus productos en 80 países. Los productos más populares de la marca son los lectores RFID ISO 11784/ 11785, aplicadores y transpondedores del tipo arete para ganado. En los próximos apartados veremos especificaciones técnicas de algunos dispositivos de este tipo.

A. Allflex RS420

El RS420, como muestra la **Figura AII.21**, es un robusto lector portable de mano dedicado a la identificación electrónica (EID), específicamente está diseñado para para aplicaciones de ganadería. Es completamente compatible con el estándar ISO 11784 e ISO11785 y es capaz de leer ambas tecnologías de transpondedores FDX y HDX. Además, este lector puede almacenar los números de los transpondedores escaneados en diferentes sesiones de trabajo creadas. Cada código identificador puede ser asociado con una etiqueta de tiempo, esta información es almacenada dentro del lector para luego ser exportada hacia una computadora personal por medio de USB, Bluetooth o RS232. Este lector integra un display gráfico de 128x128 el cual permite visualizar y configurar



Figura AII.21 Allflex RS420™ (Vista frontal).

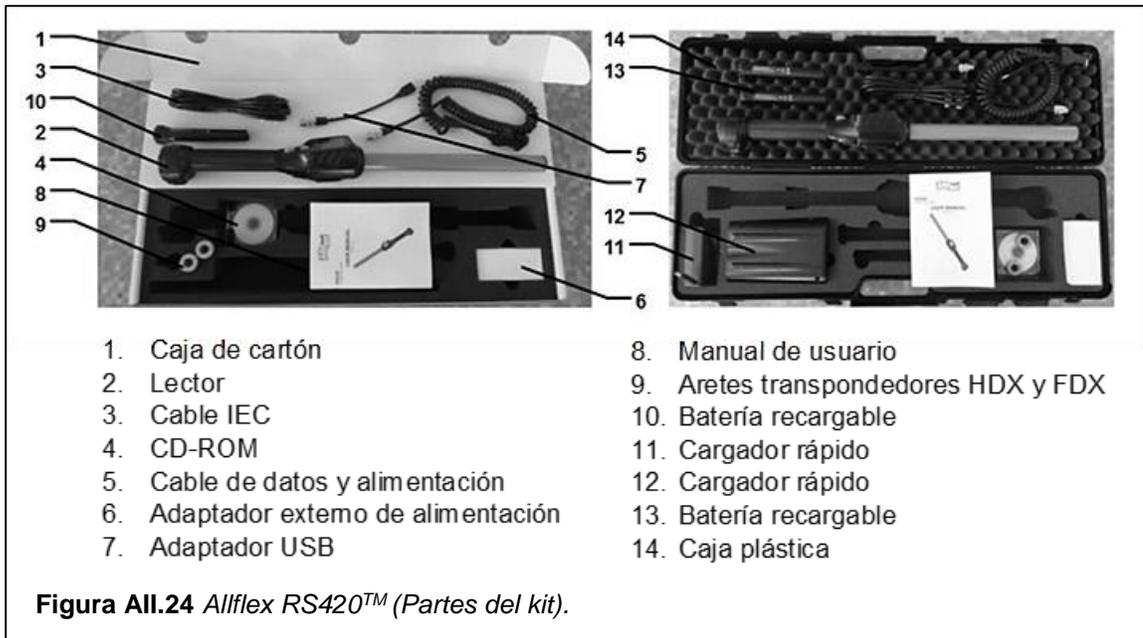
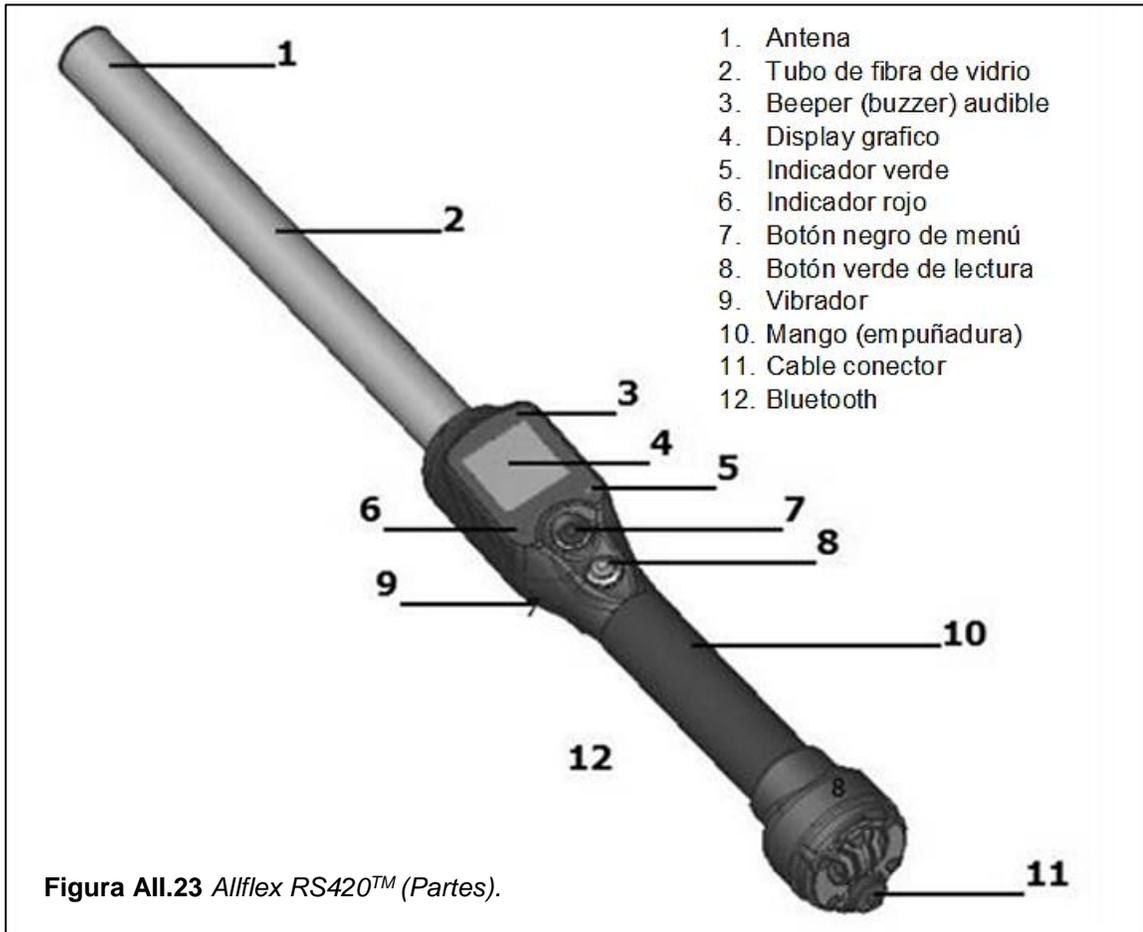


Figura AII.22 Allflex RS420™ (Kit completo).

todas las funciones necesarias según convenga. El precio de este lector con todos lo que incluye la **Figura AII.22** es de **USD 1,525.00** (mil quinientos veinticinco dólares americanos) lo cual equivale al día de la redacción de este documento aproximadamente a **C\$ 44,026.75**⁵⁶ (cuarenta y cuatro mil veintiséis córdobas nicaragüenses con setenta y cinco centavos). El máximo rango de lectura de este dispositivo es de 60cm, puede almacenar hasta 100,000 números identificados y es compatible con Windows y iOS. Las medidas físicas del dispositivo son: 670x60x70mm, igualmente, el peso máximo es de 830 gramos, y está fabricado en plástico ABS-PC y fibra de vidrio.

⁵⁶ Tipo de cambio 1 USD (dólar americano) = C\$ 28.87 (córdobas nicaragüenses)

A continuación, la **Figura AII.23** muestra las partes del lector *RS420* y la **Figura AII.24** muestra lo que se incluye en el kit del lector.



B. Allflex RS340

Este dispositivo, en la **Figura All.25**, es el antecesor del *Allflex RS420*. A pesar de ello, aun es comercializado en algunas tiendas y distribuidores autorizados de *Allflex*. Según la descripción, este producto introdujo la tecnología patentada por *Allflex* llamada “*Dyamic Tuning Network™*” (DTN), la cual provee al lector de ciertas mejoras en varias áreas incluyendo: mejoras en la recepción de la señal, inmunidad al ruido y mayor rango de lectura. Este lector es muy similar a los lectores **RS320** y **RS250**, esto es debido a que pertenecen a la misma serie de lectores pero cada uno incorpora algunas variantes con respecto a los demás. El kit completo de este lector se muestra en la **Figura All.26** y los recursos de este kit son válidos para el *Allflex RS320* y *Allflex RS250*.



Figura All.25 *Allflex RS340™* (viste frontal).



Figura All.26 *Allflex RS340/RS320/RS250™* (viste en el kit).

El rango de lectura de este transceptor es de 30-39cm. Asimismo, puede almacenar hasta 3200 códigos de identificación, es Bluetooth compatible y el método de transmisión de datos es por medio de *RS232*. Por otro lado necesario un adaptador *RS232* a *USB* para conectarse a un ordenador. Como se puede apreciar en la **Figura All.27** este lector posee un display de 16X2 caracteres junto con varios indicadores de lectura valida, la fuente de poder es un pack de baterías de 9.6V de química *NiMH*, el encapsulado del lector es de fibra de vidrio y plástico *ABS-PC*, su peso es de 731 gramos, sus dimensiones son 600x32mm además su temperatura de operación es de -10°C a +55°C. El precio aproximado de este lector es de **USD 1,430.95**, equivalente aproximado a **C\$ 41,311.53**.



Figura AII.27 Allflex RS340™ (partes).

C. Allflex RS320



Figura AII.28 Allflex RS320™ (vista frontal).

Este lector es similar al RS340, no obstante, tienen algunas diferencias físicas como se puede apreciar en la **Figura AII.28** y **Figura AII.29**. El precio de este lector es de **USD 1,425.00** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 41,139.75**.



Figura All.29 Allflex RS320™ (partes).

D. Allflex RS250



Figura All.30 Allflex RS250™ (vista frontal)

Como se puede apreciar en la **Figura All.30**, este lector es similar al RS340 y RS320 con la diferencia que este no está destinado a ser 100% portátil. Como muestra la imagen posee un cable el cual es adaptable para ser conectado con balanzas electrónicas o en conjunto con algún otro lector estacionario como muestra

la **Figura All.31**. Las especificaciones son similares a las del RS340 y RS320 salvo porque este pesa aproximadamente 620 gramos y el rango de lectura es variable dependiendo de la fuente que alimente el lector, si se usan 12VDC entonces el rango máximo es de 25cm a 32cm. El precio de este lector es de **USD 574.59** que equivale aproximadamente a **C\$ 16,588.41**. La **Figura All.32** muestra más detalles de este equipo.



Figura AII.31 Allflex RS250™ (modos de uso).



Figura AII.32 Allflex RS250™ (partes del kit).

E. Allflex LPR



Figura AII.33 Allflex LPR™ (vista frontal).

El Allflex LPR, mostrado en la **Figura AII.33**, es una alternativa más pequeña para los lectores anteriormente mencionados. Sin embargo, es igual de robusto y portable. Es compatible con el estándar ISO 11784 e ISO 11785, opera con una batería recargable de 7.2VDC, posee el modulo Bluetooth integrado internamente, puede almacenar hasta 3000 números identificadores, su temperatura de operación es de -

20°C hasta +55°C y posee las medidas 234x52x32mm. Detalles de su estructura física pueden visualizarse en la **Figura AII.34**. Asimismo, este lector no posee un display, pero si posee un botón de activación además de una serie de indicadores visuales y su significado se muestra en la **Figura AII.35**. El precio de este lector es de **USD 325.00** lo que equivale aproximadamente a **C\$ 9,382.75**

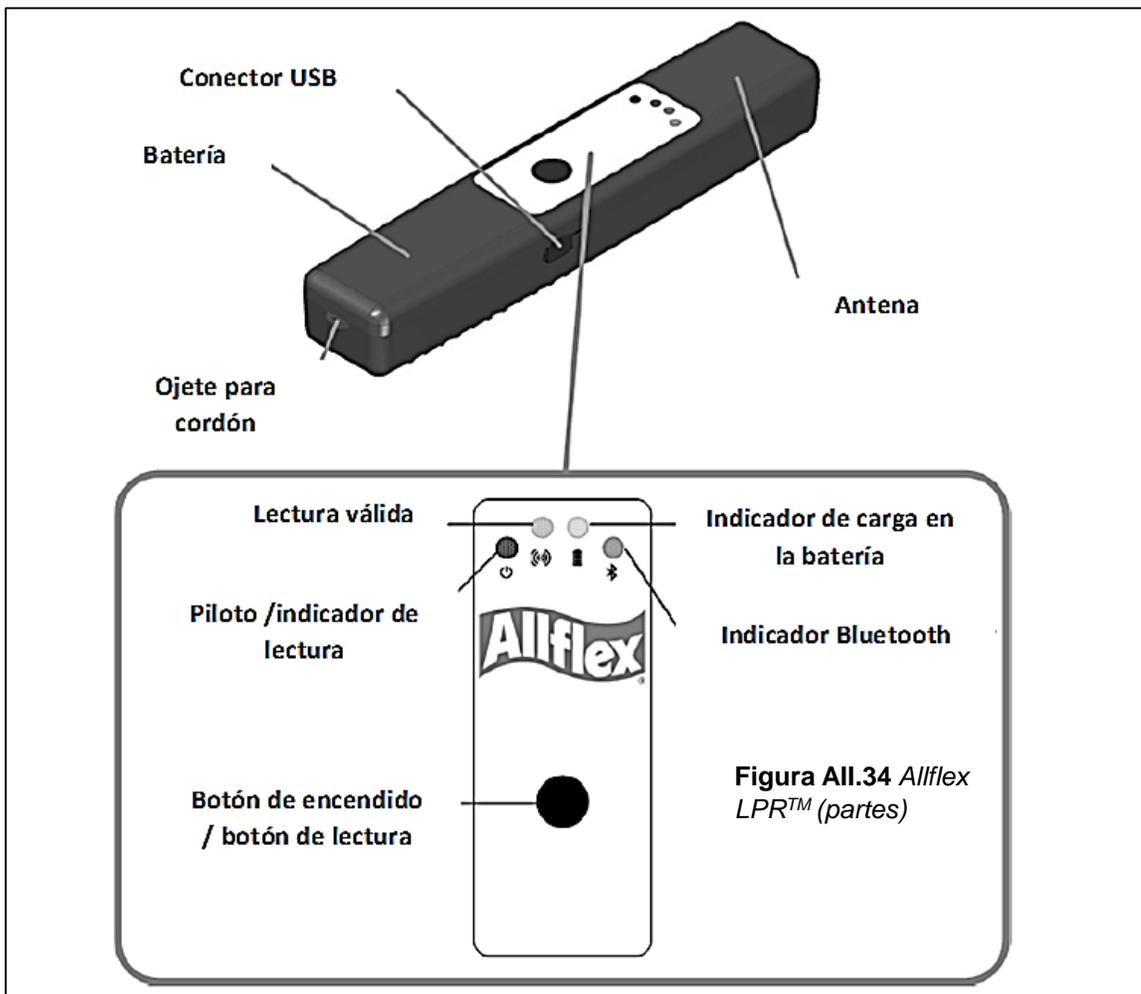


Figura AII.34 Allflex LPR™ (partes)

Indicadores LED		
Desactivado	Parpadeando	Fijo
<p>Rojo</p> <p>Lector apagado</p>	<p>Leyendo</p>	<p>Lector encendido</p>
<p>Verde</p>	<p>Etiqueta leída</p>	
<p>Amarillo</p> <p>Batería OK</p>	<p>Batería baja</p>	<p>Batería baja necesario cargar</p>
<p>Azul</p> <p>Bluetooth desactivado</p>	<p>Una vez cada pocos segundos, no conectado (modo esclavo)</p> <p>5 veces cada 5 segundos, no conectado (modo maestro)</p>	<p>Bluetooth conectado</p>

Figura AII.35 Allflex LPR™ (indicadores visuales).



Figura AII.36 Allflex LPR™ (kit completo).

F. *Allflex AFX-100*



Figura AII.37 *Allflex AFX-100™* (vista frontal).

El *Allflex AFX-100* en la **Figura AII.37** es un transceptor RFID portátil que tiene como propósito la identificación animal. El dispositivo es completamente compatible con el estándar *ISO11784* e *ISO 11785*. Además es compatible con los chips tipo *FDX-A*. Puede capturar información de temperatura con los implantes *Allflex TD* y *Destron Fearing TB*. Este lector puede almacenar hasta 1800 números identificados, cada uno asociado con etiquetas de tiempo. Estos datos pueden ser transmitidos desde la memoria del lector hacia una computadora mediante *USB* o *Bluetooth*. Igualmente, este equipo cuenta con un display de caracteres para la visualización de los datos y configuraciones, también incluye un buzzer y vibrador de lectura valida, posee una batería recargable de *7.2VDC* con química *NiMH*. Las dimensiones de este producto son: *280x83x55mm*. Asimismo, su costo es de **USD 375.00** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 10,826.25**.



Figura AII.38 *Allflex AFX-100™* (kit completo).

G. Allflex Compact Reader

El *Allflex Compact Reader*, como muestra la **Figura AII.39**, es un transceptor de bolsillo que es compatible con el estándar ISO 11784 e ISO 11785. Utiliza un display de caracteres 8x2, una batería descartable de 9V y su caja está diseñada en plástico ABS. Además, posee un botón para lectura y 3 botones adicionales para configuraciones, igualmente, un buzzer indica la lectura válida. El máximo rango de lectura es de 10cm, su peso es de 180 gramos y sus dimensiones son 125.5x70x24mm. Este lector no posee una interfaz de exportación de datos, sin embargo resulta útil para labores de identificación de manera rápida ya que es más pequeño que los otros productos de *Allflex™*. El precio de este lector es de **USD 257.40**, lo cual equivale a **C\$ 7,431.14**.



Figura AII.39 *Allflex Compact Reader™* (vista frontal).

H. Allflex EE-300-472

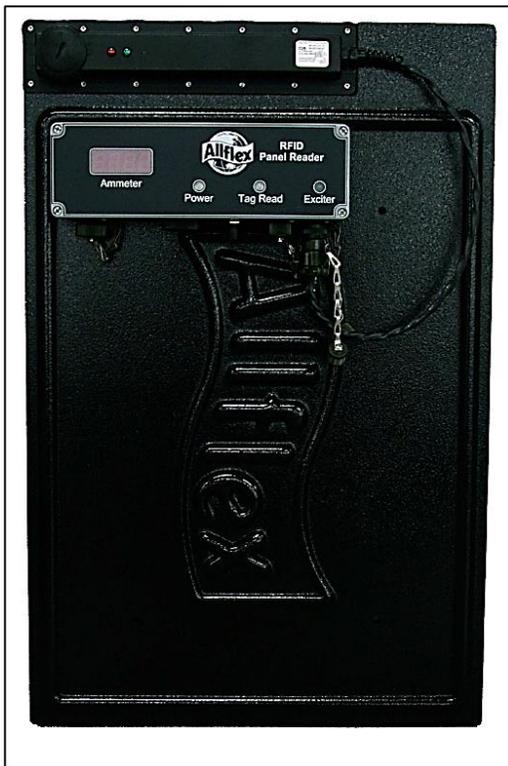


Figura AII.40 *Allflex panel lector EE-300-472™* (vista frontal).

La **Figura AII.40** muestra el panel lector *EE-300-472*, este es un transceptor RFID estacionario que cumple con el estándar de identificación animal descrito en el ISO 11784 e ISO 11785. Este lector es adecuado para ser situado en los corrales o en las puertas de los corrales para el pesaje, conteo o alimentación de los animales del hato. Este lector está compuesto de 2 partes básicas estas son: la antena y el sistema de control como se muestra en la **Figura AII.41**. El envío y la recepción de las señales se realizan mediante la antena la cual es una bobina grande de cobre encapsulada dentro de un marco plástico. El panel frontal contiene el sistema de control y es el encargado de decodificar o codificar las señales usadas con los transpondedores. Este equipo opera con 12VDC, la salida de la información es mediante RS232, las dimensiones que posee son 400x600x300mm, el peso es de 6 kilogramos y el máximo rango de lectura es de 80cm. El precio de este lector es de aproximadamente **USD 2,120.42** lo cual equivale a **C\$ 61,216.52**.

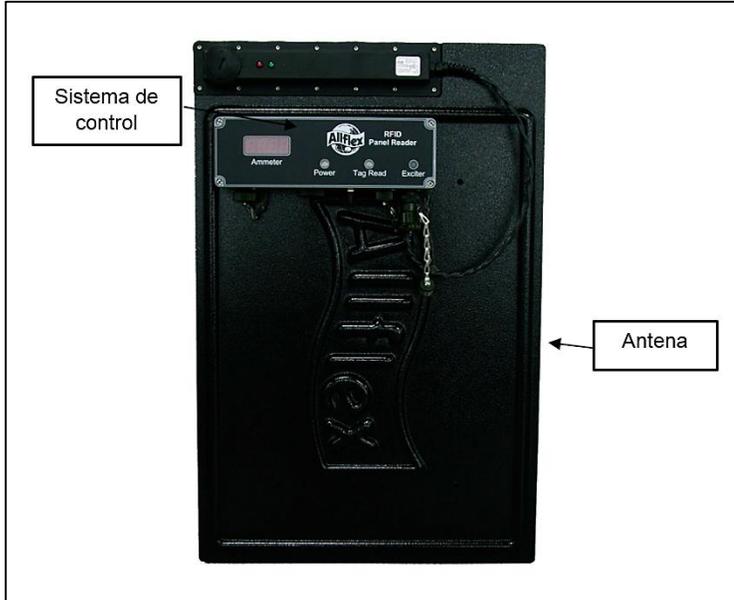


Figura AII.41 Allflex™ panel lector EE-300-472 (partes).



Figura AII.42 Allflex™ panel lector EE-300-472 (panel frontal).



Figura AII.43 Allflex™ panel lector EE-300-472 (aplicación típica).

IV. Gallagher™



Figura AII.44 Logotipo de Gallagher™
(<https://www.gallagher.com>)

Gallagher™ es una marca internacional dedicada a la fabricación de herramientas para el manejo del ganado. Su portafolio de productos incluye sistemas de seguridad, lectores para identificación animal, software y otros equipos para trabajos en el campo.

A. Gallagher HR4™



Figura AII.45 Gallagher HR4™

El lector *Gallagher HR4*, en la **Figura AII.45**, es un lector RFID portátil y colector de datos diseñado para labores de manejo de ganado. Es compatible con el estándar ISO 11784/11785. Una de las ventajas de este dispositivo es que además de ser un lector, puede llevar a cabo las labores de escritura de datos que son necesarias en la trazabilidad. Otra de las ventajas de este producto es que además de poseer una interfaz *Bluetooth*, posee una interfaz *Wi-Fi* para exportar datos del ganado

mediante la conexión a internet. La **Figura AII.46** y **Figura AII.47** muestran detalles del teclado, pantalla y partes del este producto. El precio de este producto es **USD 1,799.99**, lo que equivale aproximadamente a **C\$ 51,965.71**.



Figura AII.46 Gallagher HR4™ (partes).



Figura AII.47 Gallagher HR4™ (descripción del teclado y pantalla).

B. Lector estacionario Gallagher™ serie BR (no incluye antena solo controlador)

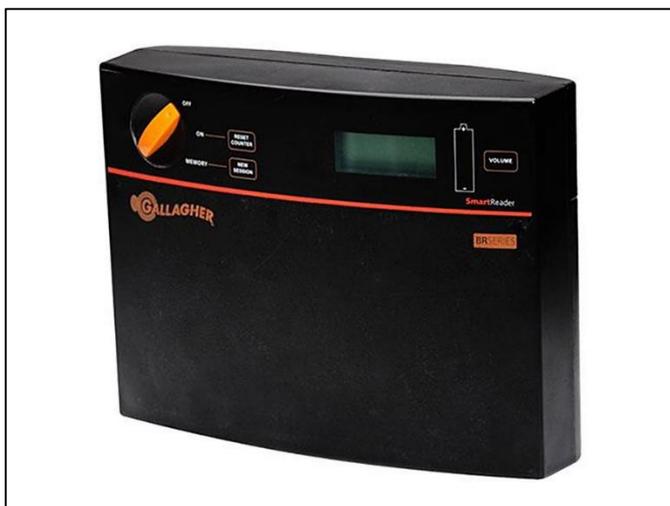


Figura AII.48 Gallagher SmartReader BR series™ (frente).

Este lector inteligente, **Figura AII.48**, permite que los transpondedores del ganado sean automáticamente leídos mientras los animales pasan cerca del lector. Este lector está compuesto de dos partes principales: el panel antena y el panel controlador. El panel antena se vende por separado del panel controlador. La **Figura AII.49** muestra el sistema completo. Asimismo existen dos versiones de este controlador RFID, estas son: **BR600** y **BR1300**. La versión **BR600** es compatible con el panel antena de 600x400mm, incluye baterías

recargables de hasta 8 horas de trabajo, un puerto DB9 para comunicación **RS232** y un puerto **USB**. La versión **BR600** es recomendada para el manejo de ovejas y ganado vacuno. Por otro lado, la versión **BR1300** está adecuada para un panel antena más grande de 1300x600mm el cual opera similar al **BR600** y que cuenta con adaptador **RS232**, adaptador **USB** además que opera con baterías recargables. La versión **BR1300** esta adecuada para animales más grandes como ciervos y ganado vacuno. Ambas versiones pueden ser adecuadas para operación Bluetooth pero debe comprarse el módulo Bluetooth de manera independiente.



Figura AII.49 Gallagher SmartReader BR series™ (sistema completo con panel antena)

La **Figura AII.50** muestra los detalles de conexión de este lector, como se puede apreciar se tiene la salida que va hacia la antena, un conector para una fuente de 12V externa, la salida RS232 que puede ser convertida a USB y el conector para sincronizar más de un lector. El conector de sincronización es muy importante ya que permite ubicar varios lectores y no tener problemas de interferencia entre ambos al estar sincronizados por medio de este conector. Asimismo, mediante el panel de control se puede configurar el lector para que realice diferentes funciones, posee un display indicador y un medidor de carga en la batería. Se cuenta con un botón de volumen para ajustar la sonoridad del beeper de lectura válida. El rango de lectura aproximado de este lector es de 80cm. En la **Figura AII.51**, se detallan los controles del panel lector. En cuanto al costo de este producto, su precio es aproximadamente **USD 2,799.99** lo cual equivale casi a **C\$ 80,835.71**. Como se mencionó anteriormente este precio no incluye la antena.

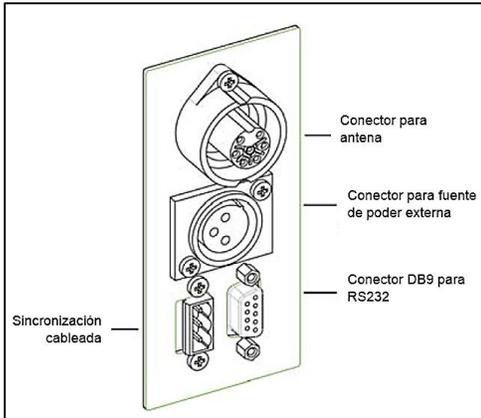


Figura AII.50 Gallagher SmartReader BR series™ (conectores).

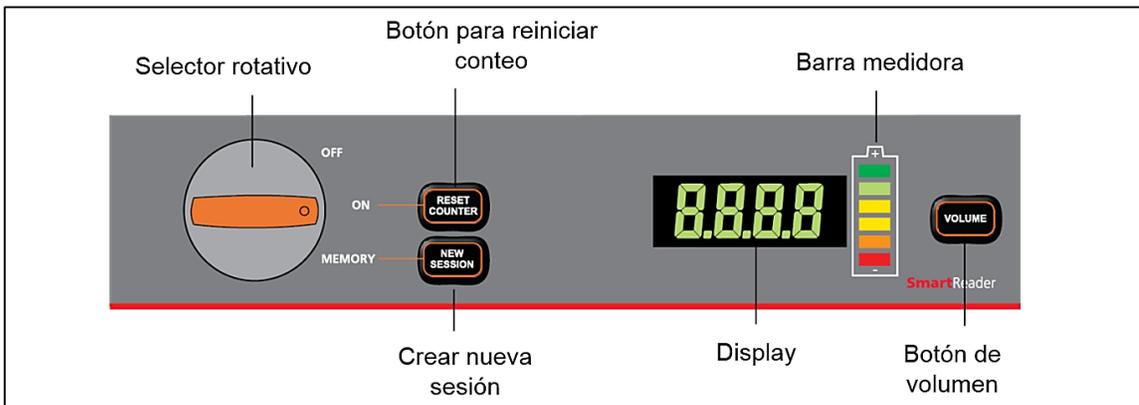


Figura AII.51 Gallagher SmartReader BR series™ (botones de control).

C. Lector estacionario *Gallagher™* serie R (no incluye antena solo controlador)



Figura AII.52 *Gallagher SmartReader R series™* (frente)

El dispositivo marca *Gallagher SmartReader™* serie R, **Figura AII.52**, es un lector tipo estacionario dedicado para su uso permanente en zonas donde se ameriten lecturas de los animales del corral. Este lector está compuesto por dos partes: el panel antena y el panel de control principal. El sistema completo se muestra en la **Figura AII.53**. Al igual que la serie **BR**, la serie de **R** de lectores estacionarios RFID para ganado tiene dos versiones. Una versión es la **R600** la cual está dedicada para operar con un panel pequeño de antena de 600mm y la versión **R1300** la cual está diseñada para operar con un panel antena de 1300mm. Ambas versiones están adecuadas para funcionar con RS232 y demás puertos mostrados anteriormente en la **Figura AII.50**, la diferencia es que este lector no posee baterías internas y necesita una fuente externa permanente para funcionar.

Asimismo, este lector estacionario tiene una cantidad reducida de botones en el panel de control, como se aprecia en la **Figura AII.54**. No obstante, sigue conservado el mismo rango de lectura de aproximadamente 80cm. El precio de este lector es de **USD 1,549.99** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 44,748.21**.



Figura AII.53 *Gallagher SmartReader R series™* (Sistema completo).



Figura AII.54 *Gallagher SmartReader R series™ (botones de control).*

D. Panel antena de 600mm y 1300mm

La **Figura AII.55** muestra los paneles antenas disponibles para las versiones correspondientes de lectores estacionarios *Gallagher™* mostrados anteriormente. Es necesario utilizar los paneles antena con los modelos lectores **BR** y **R** ya que si no se utiliza una antena es imposible comunicarse con los transpondedores del ganado. El precio del panel antena de *600mm* es de **USD 643.99** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 18,591.99** y el panel antena de *1300mm* tiene un precio de **USD 998.99** lo cual equivale a **C\$ 28,840.84**. La **Figura AII.56** y **Figura AII.57** detallan la mecánica de conexión de los paneles antena con el controlador lector.



Figura AII.55 Paneles antena para *Gallagher™ SmartReader serie R* y *BR* (izquierda) panel de 1300mm, (derecha) panel de 600mm.

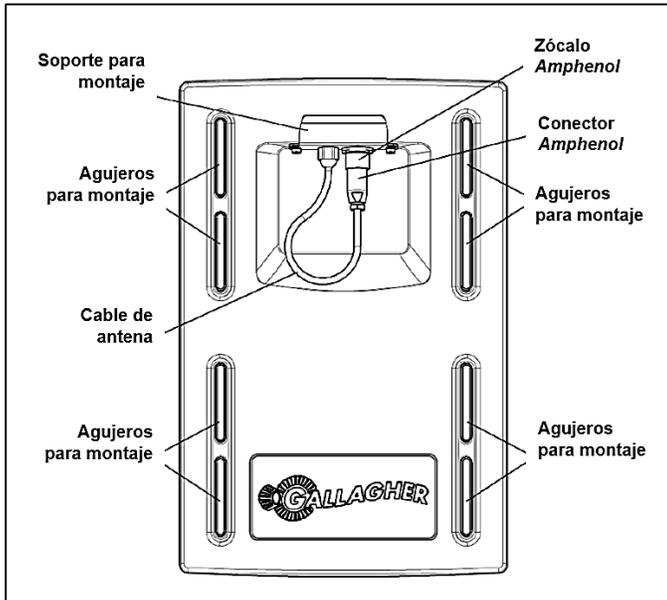


Figura AII.56 Esquema general del panel antena *Gallagher™*

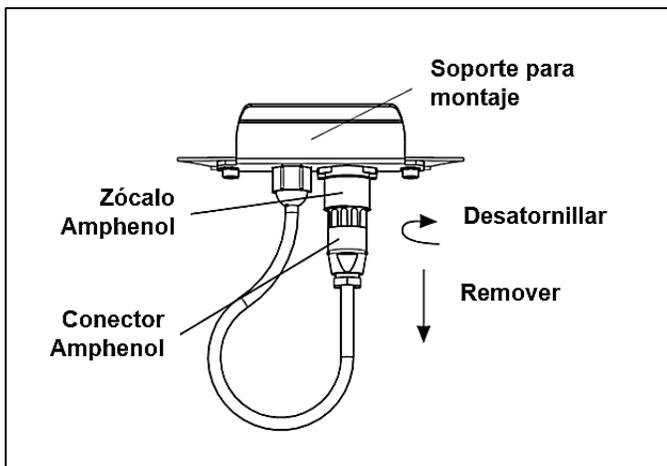


Figura AII.57 Esquema de conexión del panel antena *Gallagher™*

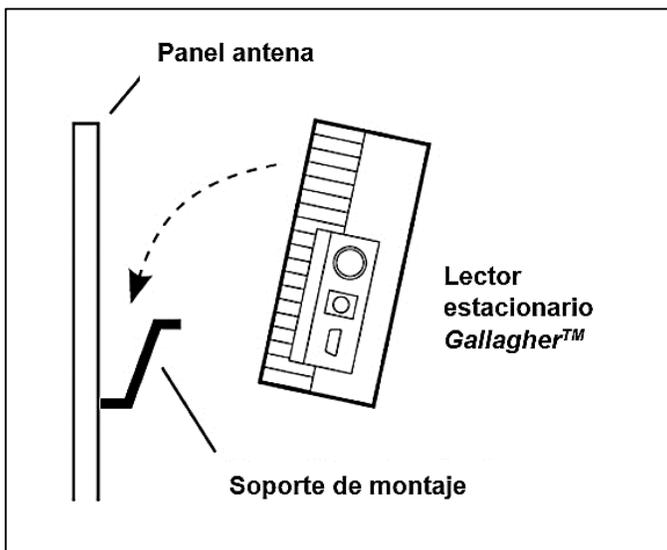


Figura AII.58 Esquema de montaje del panel antena *Gallagher™*

V. Shearwell Data™



“Shearwell Data Ltd” es una compañía británica dedicada al diseño de productos ganaderos. Según su auto descripción su especialidad es la tecnología de identificación electrónica (EID). Su portafolio de productos incluye: etiquetas electrónicas y no electrónicas, herramientas electrónicas y no electrónicas así como software para utilizar las herramientas electrónicas.

Figura AII.59 Logotipo de Shearwell Data™ (<http://www.shearwell.co.uk>).

A. SDL Stick Reader SDL400S/ SDL440S



Figura AII.60 Bastones lectores Shearwell Data™ (arriba) SDL400S, (abajo) SDL440S.

El bastón lector *SDL400S/SDL440S* se muestra en la **Figura AII.60**. Este dispositivo cuenta con un solo botón lo cual lo hace muy simple. La función de este botón puede ser: pulsar y liberar para leer un transpondedor o pulsar y mantener para cambiar las opciones en el menú. El display de caracteres que posee muestra el número del transpondedor leído, el grupo de lectura al cual ha sido asignado y la cantidad de animales identificados. Este lector es compatible con ambas topologías de transpondedores ya sea FDX o HDX según el ISO 11784/85. El rango máximo de lectura es de 20 cm. Posee un indicador audible para la lectura válida, también, posee dos colores de indicadores visuales, rojo y verde, el verde indica lectura válida y el rojo indica que se leyó un transpondedor ya identificado anteriormente. Este bastón puede ser conseguido en 3 diferentes tamaños: 45 cm, 58 cm u 80 cm. La fuente de poder del dispositivo son 4 pilas AA que pueden ser desechables o las recargables que se incluyen al comprar el producto. Por otro lado, se pueden almacenar hasta 16,000 números identificados en la memoria de este lector y los datos asociados con las identificaciones pueden ser manejados mediante una aplicación externa mediante Bluetooth. Cabe señalar que la versión *SDL400S* es solo compatible con: *Android™* y *Windows™*, en cambio la versión *SDL440S* es compatible con *Android™*, *Windows™* y *iOS™*. El precio de este bastón es de **USD 658.17**, es decir **C\$ 19,001.37**, para la versión *SDL400S* y **USD 723.99**, es decir **C\$ 20,901.59**, para la versión *SDL440S*. La versión *SDL440S* es distinguible por su color azul en el mango. La **Figura AII.61** y **Figura AII.62** muestran más detalles de estos bastones RFID.



Figura AII.61 Detalles de los bastones RFID *Shearwell Data™*.



Figura AII.62 Partes de un bastón RFID *Shearwell Data™*.

B. Shearwell Stock Recorder



Figura AII.63 Shearwell Data Stock Recorder™.

El dispositivo “*Shearwell Data* grabador de inventario”, mostrado en la **Figura AII.63**, es una computadora portátil compatible con el ISO11785/11785. Con este tipo de dispositivo se hace mucho más sencilla la implementación del sistema de trazabilidad ya que se pueden grabar directamente los nacimientos, pesos, movimientos y más. El sistema operativo de este dispositivo es Windows. El precio aproximado de este lector es de



Figura AII.64 Shearwell Data Stock Recorder™ (accesorios).

USD 2007.42, lo cual equivale a C\$ 57,954.22. Más detalles de este producto en la **Figura All.64**, **Figura All.65** y **Figura All.66**.

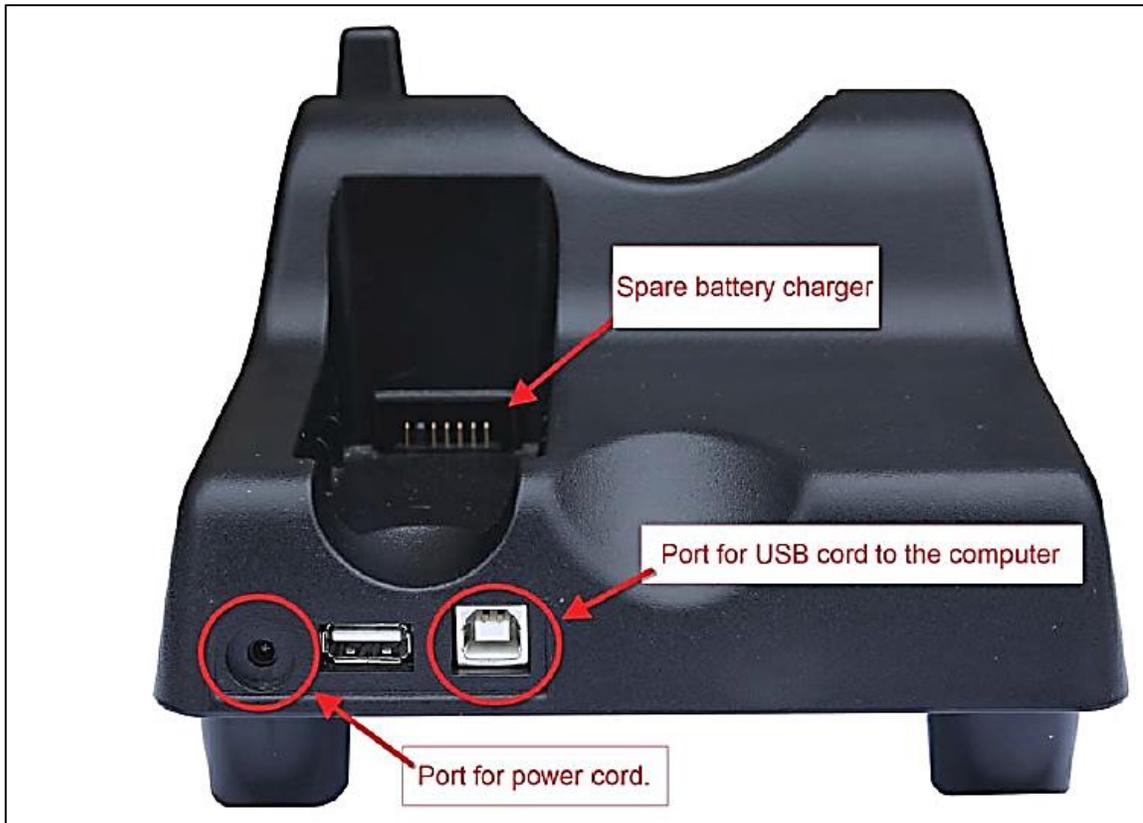


Figura All.65 Shearwell Data Stock Recorder™ (partes de la estación de carga).



Figura All.66 Shearwell Data Stock Recorder™ (detalles del teclado y la pantalla).

C. Race Reader SDL130



El lector estacionario/portable SDL130, en la **Figura AII.67**, es conforme con el estándar de identificación animal ISO11784/11785 por ello es compatible con los protocolos FDX y HDX. Su encapsulado IP 65 soporta entornos ásperos de trabajo. Una de las ventajas de este lector RFID es que está dedicado para lecturas rápidas en los corrales y portones por donde circulan los animales. Esto quiere decir que tiene un tiempo de escaneo superior a los lectores portátiles ya que está diseñado para no fallar una lectura a pesar de la velocidad del animal. El precio de esta unidad sin la antena ni las compuertas es de **USD 1,316.34** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 38,002.74**. No fue posible encontrar más detalles técnicos de este lector, asimismo, la **Figura AII.68** muestra los complementos de este producto.

Figura AII.67 Shearwell Data Race Reader SDL130™ (frente).



Figura AII.68 Shearwell Data Race Reader SDL130™ (antenas y accesorios).

VI. ALEIS™



Figura AII.69 Logotipo de ALEIS™. (<http://www.aleis.com>)

ALEIS™ es una marca internacional líder en manufacturar, proveer e instalar sistemas de identificación por radio frecuencia para la industria ganadera. Tiene la fama que sus productos son equipos de calidad reconocidos a nivel mundial. Esta empresa fue fundada en 1987 y desde entonces se ha ganado su reputación como marca sirviendo a productores, corrales de engorde, contratistas, ferias de ganado, exportación de animales vivos y mataderos con su sobresaliente portafolio de sistemas automatizados y lectores de mano para el manejo del ganado. Todos los productos de ALEIS™ son compatibles con el estándar internacional ISO11784/11785.

A. ALEIS 7020™



Figura AII.70 ALEIS 7020™.

La serie 7000 de lectores ALEIS puede variar sus especificaciones según su código, no obstante todos los productos lucen físicamente similares al de la **Figura AII.70**. Este dispositivo es uno de los productos más populares de ALEIS por ser liviano en comparación con el resto. Popularmente se le llama “The Stocky”. Este es un lector RFID dedicado a la ganadería y está fabricado de tal forma que soporte el ambiente áspero de la granja. Entre sus características básicas:

- Fácil uso.
- Ergonómicamente balanceado.
- Hasta 30 horas de batería.
- Compatible con todos los productos ISO11784/11785.
- Es compatible con la mayoría de las balanzas electrónicas para ganado.
- Capacidad para almacenar hasta 10,000 códigos RFID.
- Hasta 1,000 sesiones.
- Peso 1200 gramos.

- Distancia máxima de lectura: 50cm para HDX y 40cm para FDX.
- Conexión RS232 y Bluetooth.
- Dimensiones 795mm con 500mm estándares de antena.
- Fabricado en fibra de vidrio y policarbonato.
- Operación de -20°C hasta +60°C.
- Hermeticidad IP67.
- Pack de batería 7.2V NiMH.

Al comprar el dispositivo se incluye: software para ganado, guía de uso, cargador de batería, cable conector de 5m y un adaptador USB. Las características según el código del lector son:

- ISO-7000: unidad estándar.
- ISO-7000BT: unidad estándar con Bluetooth.
- ISO-7020: incluye contador RFID.
- ISO-7020BT: incluye contador y Bluetooth.

Se sabe poco del precio exacto de esta unidad, pero se calcula que el precio aproximado es de **USD 1,750.00**, lo cual equivaldría aproximadamente a **C\$ 50,522.50**. Para más detalles acerca de este producto checar la **Figura AII.71**, **Figura AII.72** y **Figura AII.73**.

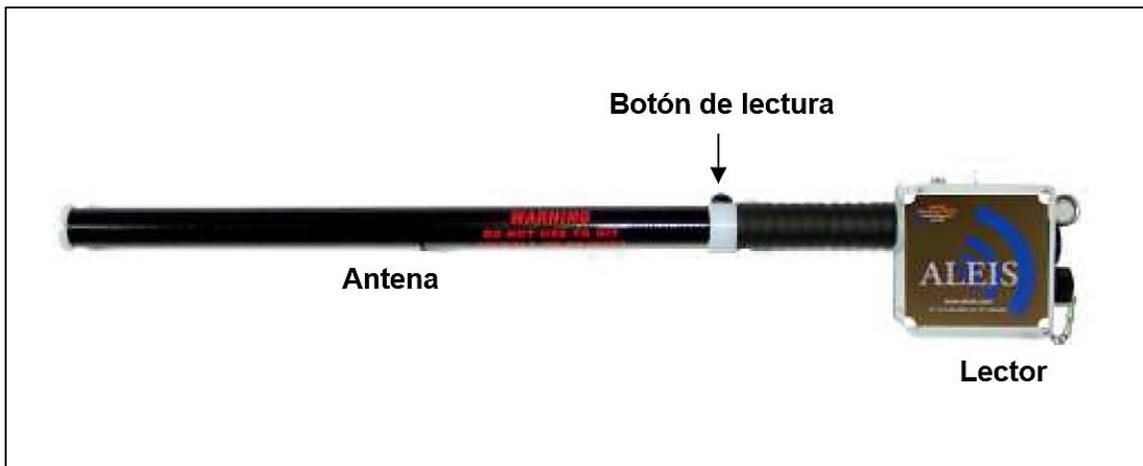
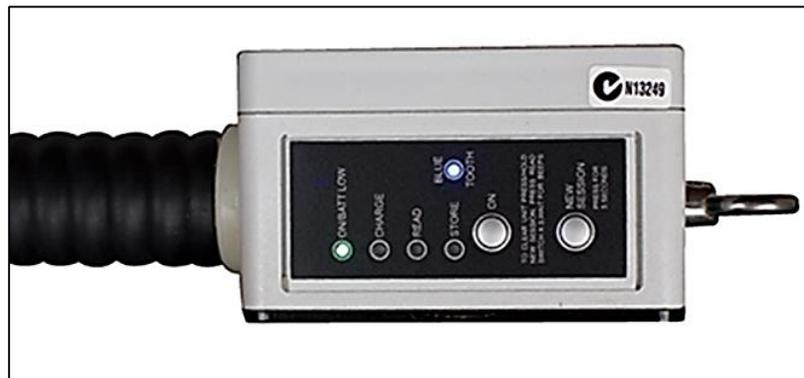


Figura AII.71 ALEIS 7020™ (partes).

Figura AII.72 ALEIS 7020™ (detalles).



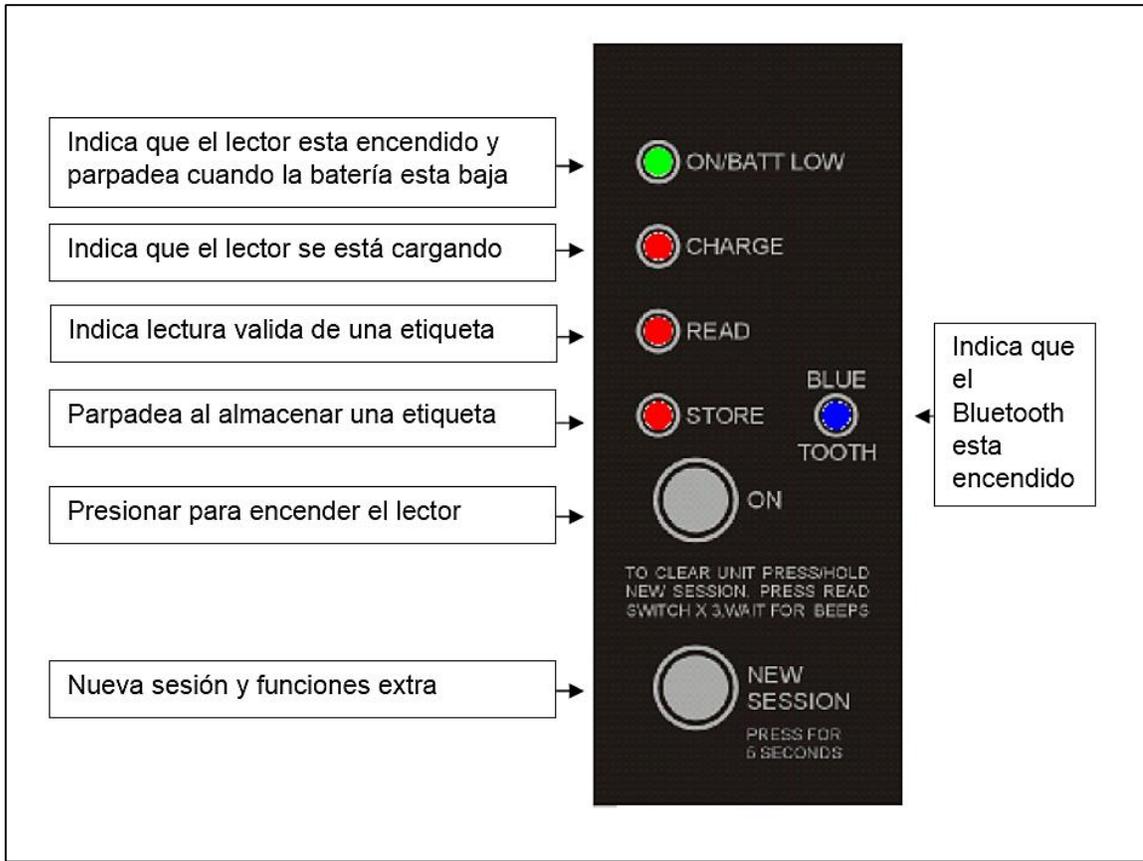


Figura AII.73 ALEIS 7020™ (interfaz de usuario).

B. ALEIS 8030™



Figura AII.74 ALEIS 8030™.

El lector ALEIS 8030, en la **Figura AII.74**, ha sido fabricado específicamente para operar en las peores condiciones que la industria ganadera pueda ofrecer. La diferencia entre este lector y el ALEIS 7020 es que este posee un display gráfico y un menú para acceder al lector de manera más completa. Entre sus características principales tenemos:

- Revisión de los datos mediante display gráfico.
- Opción de "scroll" para navegar.
- Liviano y ergonómico.
- Hasta 30 horas de batería.
- Compatible con todos los productos *ISO11784/11785*.
- Es compatible con la mayoría de las balanzas electrónicas para ganado.
- Capacidad para almacenar hasta 100,000 códigos RFID.
- Hasta 1,000 sesiones.
- Peso 1800 gramos.
- Distancia máxima de lectura: 50cm para HDX y 40cm para FDX.
- Memoria no volátil para almacenar datos.
- Conexión RS232 y Bluetooth.
- Dimensiones 865mm con 500mm de antena (estándar).
- Fabricado en fibra de vidrio y policarbonato.
- Operación de -20°C hasta +60°C.
- Hermeticidad IP67
- Pack de batería 9.6V NiMH

Al comprar el dispositivo se incluye: software para ganado, guía de uso, cargador de batería, cable conector de 5m y un adaptador USB. Las características según el código del lector son:

- ISO-8030: 8030/50 unidad estándar con teclado y display gráfico.
- ISO-8030BT: 8030/50 unidad estándar con teclado, display gráfico y Bluetooth.

El precio aproximado de esta unidad es desconocido pero basados en el precio del *ALEIS 7020* podemos deducir que costaría entre **USD 1,800.00 hasta USD 2,000.00**, lo cual equivaldría aproximadamente desde **C\$ 51,966.00 hasta C\$ 57,740.00**. Para más detalles acerca de este producto checar la **Figura AII.75**.

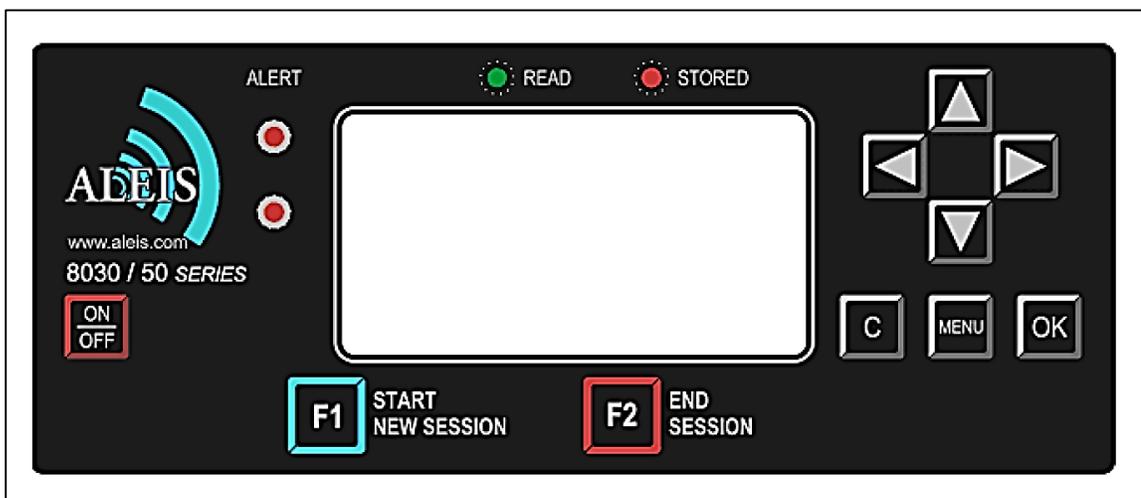


Figura AII.75 ALEIS 8030™ (interfaz de usuario).

C. ALEIS 9030™



Figura AII.76 ALEIS 9030™.

Una de las habilidades del lector *ALEIS 9030*, en la **Figura AII.76**, es crear plantillas de datos que pueden ser personalizadas según los requerimientos necesarios. Se pueden crear hasta 5 modelos diferentes de plantillas. Asimismo, la herramienta “scroll” permite navegar fácilmente a través del menú y los datos almacenados. Esto quiere decir que este lector puede ingresar datos básicos de trazabilidad de manera independiente de una computadora o Smartphone. Sus características básicas son similares a la de sus lectores hermanos el *ALEIS serie 7000* y *ALEIS serie 8000*:

- Revisión de los datos mediante display gráfico.
- Opción de “scroll” para navegar.
- Teclado para entrada de datos.
- Liviano y ergonómico.
- Hasta 30 horas de batería.
- Compatible con todos los productos *ISO11784/11785*.
- Es compatible con la mayoría de las balanzas electrónicas para ganado.
- Capacidad para almacenar hasta 100,000 códigos RFID.
- Hasta 1,000 sesiones.
- Peso 1800 gramos.
- Distancia máxima de lectura: 50cm para HDX y 40cm para FDX.
- Memoria no volátil para almacenar datos.
- Conexión RS232 y Bluetooth.
- Dimensiones 865mm con 500mm de antena (estándar).
- Fabricado en fibra de vidrio y policarbonato.
- Operación de -20°C hasta +60°C.
- Hermeticidad IP67.
- Pack de batería 9.6V NiMH.

Al comprar el dispositivo se incluye: software para ganado, guía de uso, cargador de batería, cable conector de 5m y un adaptador USB. Las características según el código del lector son:

- ISO-9030: 9030/50 unidad estándar con teclado.
- ISO-9030BT: 9030/50 unidad estándar con teclado y Bluetooth.

El precio de este dispositivo se cotiza en aproximadamente **USD 2,000.00** a **USD 2,500.00** lo cual equivaldría desde **C\$ 57,740.00** hasta **C\$ 72,175.00**. La **Figura AII.77** muestra detalles de la interfaz de usuario del lector.

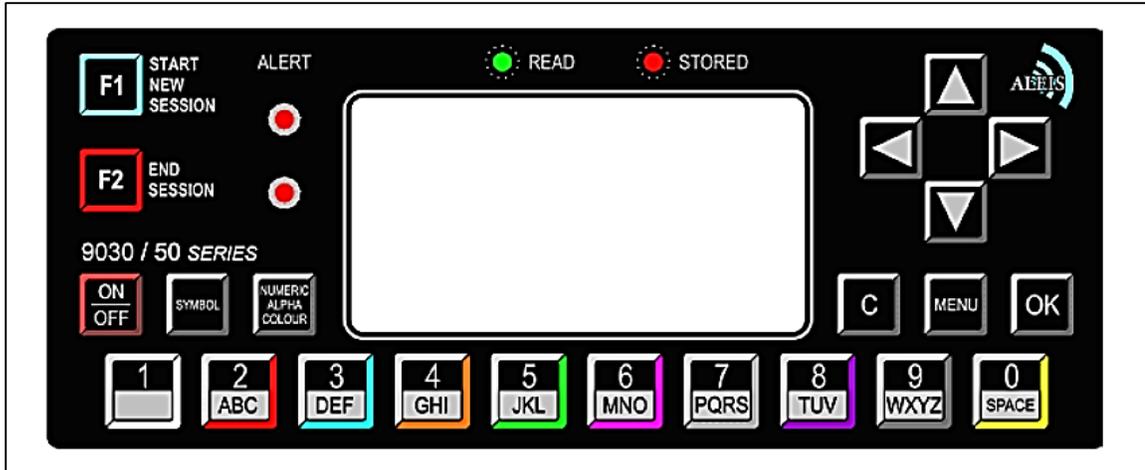


Figura All.77 ALEIS 9030™ (interfaz de usuario).

D. ALEIS 8050™



Figura All.78 ALEIS 8050™.



Figura All.79 ALEIS 8050™ (aplicación).

El lector ALEIS 8050, en la **Figura All.78**, es similar al lector ALEIS 8030 mostrado anteriormente en la **Figura All.74**, la diferencia entre estos productos es que el ALEIS 8050 está diseñado en 2 piezas a diferencia del ALEIS 8030, esto permite cargar la caja del lector y usar la antena como una extensión tal como se muestra en la **Figura All.79**. El precio de este lector es de **USD 2,528.56**, lo cual equivale a **C\$ 72,999.52**. Las variantes de este producto pueden ser las siguientes:

- ISO-8151: 8030/50 Teclado sin baterías.
- ISO-8151BT: 8030/50 Teclado sin baterías y Bluetooth.
- ISO-8151EXP: 8030/50 Teclado sin baterías y tarjeta serie 9000 para expansión.
- ISO-8152: 8030/50 Unidad con teclado y baterías.
- ISO-8152BT: 8030/50 Unidad con teclado, baterías y Bluetooth.
- ISO-8152EXP: 8030/50 Unidad estándar con teclado, baterías y tarjeta serie 9000 para expansión.

Al comprar el dispositivo se incluye: software para ganado, guía de uso, cargador de batería, cable conector de 5m y un adaptador USB.

E. ALEIS™ 9060



Figura AII.80 ALEIS 9060™ (antena y lector).

Este lector, en la **Figura AII.80**, tiene la capacidad de usar diferentes tipos de antena, entre otras de sus propiedades destaca el teclado “QWERTY” que permite ingresar datos de manera más sencilla. Las características principales que posee son las siguientes:

- Revisión de los datos mediante display gráfico.
- Opción de “scroll” para navegar.
- Teclado QWERTY para entrada de datos.
- Liviano y ergonómico.
- Hasta 30 horas de batería.
- Compatible con todos los productos *ISO11784/11785*.
- Es compatible con la mayoría de las balanzas electrónicas para ganado.
- Capacidad para almacenar hasta 100,000 códigos RFID.
- Hasta 1,000 sesiones.

- Peso 2450 gramos.
- Distancia máxima de lectura: 50cm para HDX y 40cm para FDX.
- Memoria no volátil para almacenar datos.
- Conexión RS232 y Bluetooth.
- Dimensiones 865mm con 500mm de antena (estándar).
- Fabricado en fibra de vidrio y policarbonato.
- Operación de -20°C hasta +60°C.
- Hermeticidad IP67.
- Pack de batería 9.6V NiMH.

Al comprar el dispositivo se incluye: software para ganado, guía de uso, cargador de batería, cable conector de 5m y un adaptador USB. El precio de este lector es de **USD 2,744.14** lo cual equivale a **C\$ 79,223.32**.

F. ALEIS 8152 y 8152B™



Figura AII.81 ALEIS 8152™ (frente).

Los lectores *ALEIS 8152* y *ALEIS 8152B*, en la **Figura AII.81**, son lectores estacionarios diseñados específicamente para leer píldoras rumen o aretes de ganado de todo tamaño y moviéndose a diferente velocidad. Es útil para ser puesto en corrales y portones para el conteo y monitoreo de los animales. Este lector posee baterías internas para operar sin necesidad de un adaptador en caso de emergencia. El menú y la interfaz de usuario son similares a la del ALEIS 8030. Se calcula que el costo de este lector es de aproximadamente **USD 3,716.43** lo cual equivale a **C\$ 107,293.33**.

G. ALEIS™ 9162 y 9162B

El lector *ALEIS 9162*, en la **Figura AII.82**, es un sistema RFID para ganado completamente automático diseñado para aretes y transpondedores estomacales. Permite la identificación de los animales a cualquier velocidad que estos se estén moviendo. La diferencia con el *ALEIS 8152* en que el *ALEIS 9162* posee más opciones en el panel de control. El precio estimado de este lector es de **USD 4,319.51** lo que equivale a aproximadamente a **C\$ 124,704.25**.



Figura AII.82 ALEIS 9162™
(frente).

H. ALEIS™ 8164



Figura AII.83 ALEIS 8164™ (frente).

El lector ALEIS 8164, en la **Figura AII.83** es transceptor RFID estacionario, más pequeño que el ALEIS 8152 y el modelo ALEIS 9162. El precio de este lector se estima en **USD 3,299.44**, lo cual equivale a **C\$ 95,254.83**.

I. ALEIS™ 9164



Figura AII.84 ALEIS 9164™ (frente).

El lector ALEIS 9164, en la **Figura AII.84**, es similar al lector ALEIS 8164 no obstante el lector ALEIS 9164 incluye más funcionalidad además de un teclado más completo para navegar y escribir datos. El precio de este lector se estima en **USD 3,743.45** lo cual equivale a **C\$ 108,073.40**.

J. ALEIS™ PM1-BT



Figura AII.85 ALEIS PM1-BT™ (frente).

Este lector, en la **Figura AII.85**, está diseñado para que la antena funcione como portal de pasaje para los animales. De esa manera cuando un animal pasa por el campo magnético que emite la antena este es detectado y grabado dentro del sistema. Este tipo de lectores permiten automatizar procesos en la granja ya que el que un animal pase por el portal puede indicar que deba realizarse alguna tarea. El precio de este lector también se desconoce, pero es claro que su costo es mucho mayor que el costo del último lector que se pudo cotizar.

VII. Tru-test™



Figura All.86 Logotipo de TRU-TEST™
(www.tru-test.com)

El grupo “TRU-TEST” es una empresa internacional dedicada a fabricar productos para el manejo del ganado. Según su auto descripción su objetivo es ayudar a los granjeros a producir la proteína de mejor calidad que el mundo necesita. Y su meta principal es ser el líder global dedicado a incrementar la productividad de los granjeros a través de las herramientas que fabrican. Entre su portafolio de productos se

encuentran: cercas tradicionales y eléctricas, sistemas de seguridad perimetral, balanzas electrónicas, sistemas de identificación, automatización diaria, sistemas de enfriamiento de leche, tanques para leche y medidores de leche. En este apartado nos enfocaremos en los sistemas de identificación animal.

A. TRU-TEST XRS Stick Reader™



Figura All.87 TRU-TEST XRS™ (frente).

El lector TRU-TEST XRS, mostrado en la **Figura All.87**, es un transceptor portable para la identificación y el manejo de bovinos, ovejas y ciervos. Las partes de este lector se muestran la **Figura All.88**. El precio estimado de este lector es de **USD 845.13** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 24,398.90**. Entre las características técnicas más importantes tenemos:

- Hasta 19 horas de batería en modo normal y 9.5 horas en modo continuo.
- Rápida lectura de los transpondedores.
- Alerta de vibración.
- Conectividad con Smartphone o Balanza electrónica vía Bluetooth.
- RS232 para enviar datos hacia la computadora o Smartphone.
- Compatible con FDX y HDX definidos en ISO 11784/11785.
- Display gráfico.
- Fácil visualización durante el día.
- Protección tipo IP67.
- Personalizable en opciones.

- Hasta 20,000 números identificados en memoria.
- Batería de Li-ion 7.4V 1500mAh.
- Distancia de lectura hasta 33cm para HDX y 35cm para FDX.
- Dimensiones: 651x65x51mm.
- Peso: 706 gramos.
- Rango de operación: -10°C hasta +55°C.

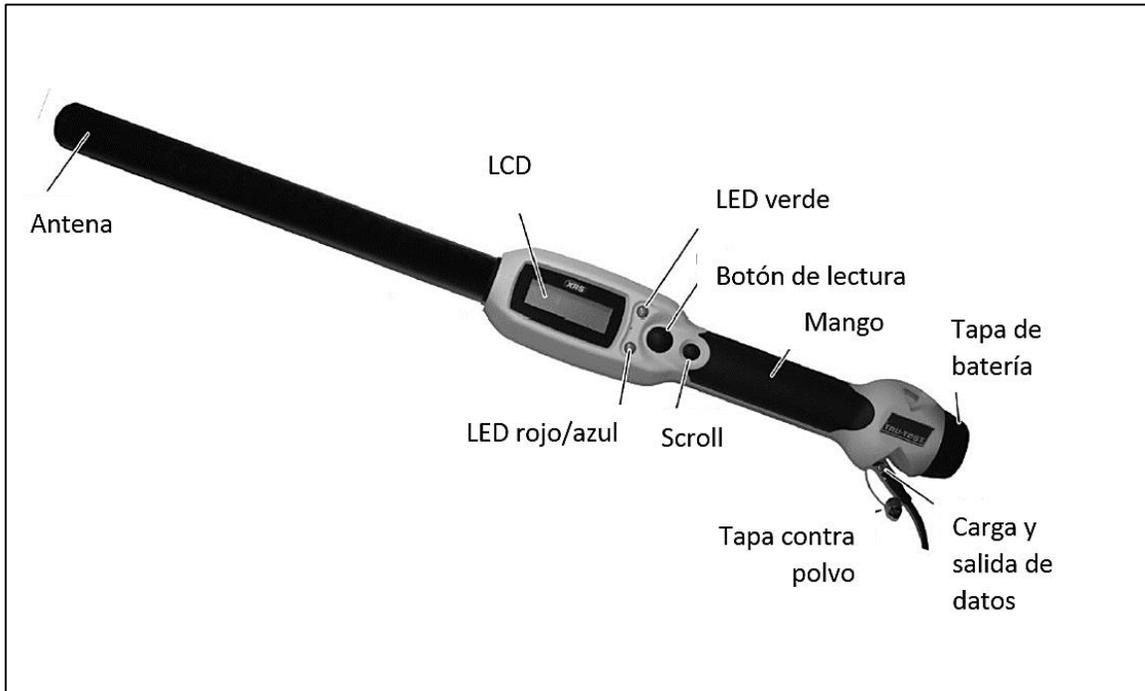


Figura AII.88 TRU-TEST XRS2™ (partes).

B. TRU-TEST XRS2 Stick Reader™



Figura AII.89 TRU-TEST XRS2™ (frente).

El lector *TRU-TEST XRS2*, en la **Figura AII.89**, está diseñado para: ver, capturar y almacenar datos relacionados con la crianza del ganado. Es adecuado para escribir datos de trazabilidad ya que cuenta con un teclado alfanumérico y un display gráfico a color para la visualización. La **Figura AII.90**, **Figura AII.91** y **Figura AII.92** presentan más detalles físicos de este producto.

El precio estimado de este transceptor es de **USD 1,614.15** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 46,600.51**. Asimismo, sus funcionalidades técnicas principales son:

- Almacenar hasta 15 piezas de información relacionadas con datos de los animales como: *raza, sexo, edad* etc.
- Compatible con HDX y FDX según ISO 11784/11785.
- Hasta 1 millón de transpondedores almacenados.
- Bluetooth clase 1 hasta 100 metros de comunicación.
- 19 horas de batería y hasta 9 horas en lectura continua.
- Software gratuito.
- Hasta 35cm para HDX y 33cm para FDX-B.
- LCD 2.7" (41mm x 55mm).
- Diseño a prueba de agua IP67.



Figura All.90 TRU-TEST XRS2™ (partes).



Figura All.91 TRU-TEST XRS2™ (el kit incluye).

Figura AII.92 TRU-TEST XRS2™
(menu principal).

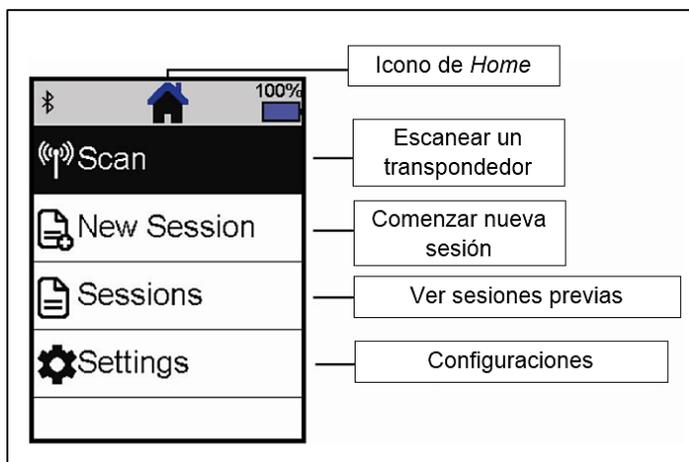
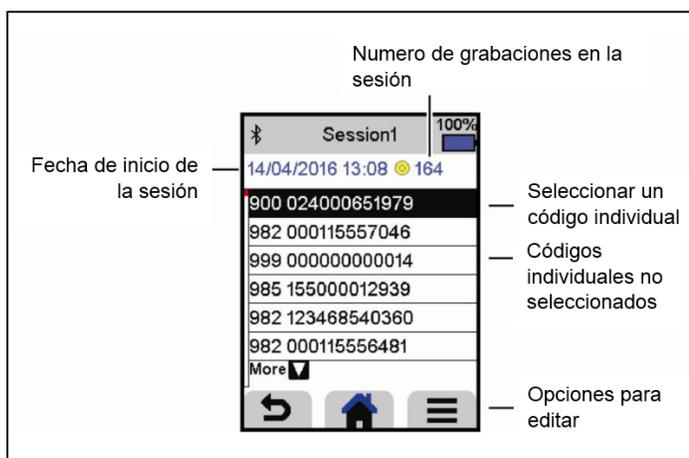


Figura AII.93 TRU-TEST XRS2™
(menu secundario).



C. TRU-TEST SRS2 Stick Reader™



Figura AII.94 TRU-TEST SRS2™ (frente).

El lector TRU-TEST SRS2, en la **Figura AII.94**, es similar al lector TRU-TEST XRS2, no obstante, el lector TRU-TEST SRS2 solo posee un máximo de almacenamiento 250,000 transpondedores. Asimismo, el método de entrada de datos es más simple ya que el teclado es más sencillo. El precio de este lector es de **USD 1,189.15** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 34,330.76**.

D. ERS EID Handheld Reader™



Figura AII.95 TRU-TEST ERS Handheld Reader™ (frente).

El lector TRU-TEST ERS, en la **Figura AII.95**, es un transceptor de pequeño tamaño que permite realizar labores de identificación ganadera sin necesidad de cargar un dispositivo muy grande. El precio de este dispositivo es de **USD 865.00** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 24,972.55**. Entre sus características principales encontramos:

- Compatible con HDX y FDX según ISO 11784/ 11785.
- Hasta 4000 códigos de transpondedores almacenables.
- Hasta 8 horas de batería.
- Hasta 30cm de lectura para FDX y HDX.
- Teclado de membrana y buzzer.
- Interfaz Bluetooth y USB para exportar datos.
- Software gratuito.

Más detalles acerca de este lector se pueden encontrar en la **Figura AII.96**, **Figura AII.97** y **Figura AII.98**.



Figura AII.96 TRU-TEST ERS™ (partes).



Figura AII.97 TRU-TEST ERS™ (el kit incluye).

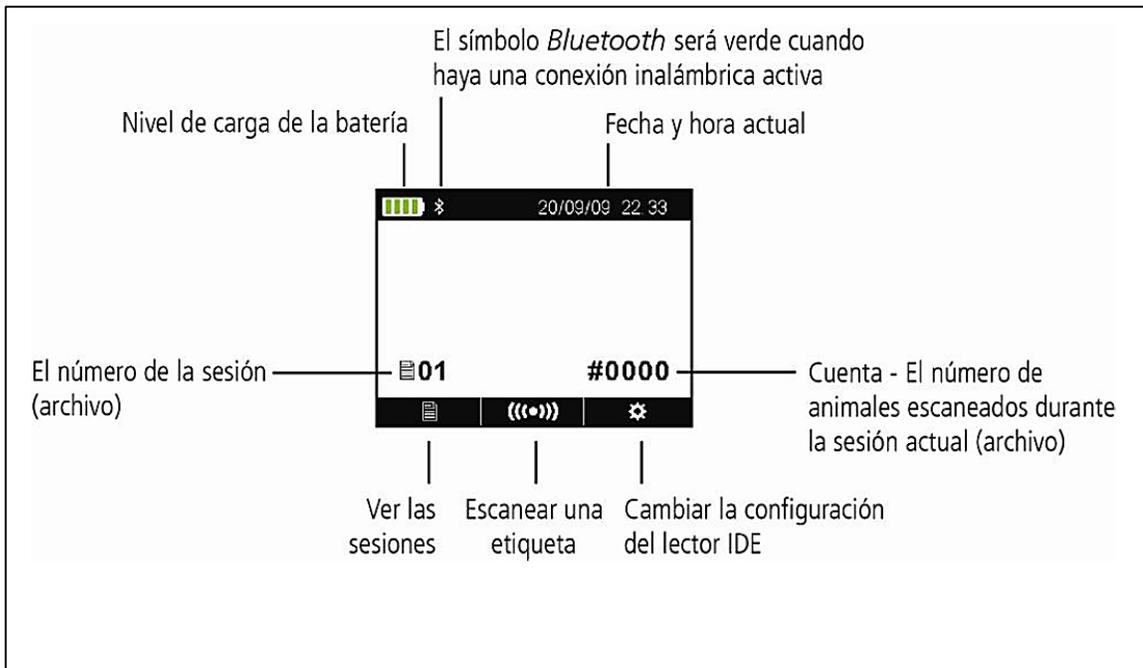


Figura AII.98 TRU-TEST ERS™ (interfaz de usuario).

E. XRP2 Panel Reader and Antennas



Figura AII.99 TRU-TEST XRP2™ (frente del lector con panel antena grande y panel antena pequeño).

El lector TRU-TEST XRP2, en la **Figura AII.99**, es un lector estacionario diseñado para su uso en balanzas electrónicas y control de entrada y salida de los animales en el corral. En la **Figura AII.99** se aprecia que puede ser conectado a dos diferentes tamaños de paneles antena. El panel más pequeño está diseñado para caprinos y el panel más grande para bovinos. El precio del lector con el panel antena pequeño es de **USD 1,677.31** lo cual equivale a **C\$ 48,423.94** y el precio del lector con el panel antena grande es de **USD 1,851.06** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 53,440.10**. Las características técnicas principales relacionadas con el lector TRU-TEST XRP2 son:

- Compatible con HDX y FDX definidos en ISO 11784/11785.
- Interfaz Bluetooth y RS232 (adaptable a USB).
- Almacena hasta 20,000 códigos identificadores.
- Máximo rango de lectura de 100cm con la antena grande y hasta 70cm con la antena chica (válido para ambas topologías de transpondedores).
- Rango de operación de 12V-24V con protección contra polaridad invertida.
- Peso: 1,100 gramos.
- Rango de operación de -15°C hasta +55°C.
- Dimensiones del lector: 205x220x74mm.
- Dimensiones de las antenas: 873x603x38mm (grande), 410x338x33mm (chica).

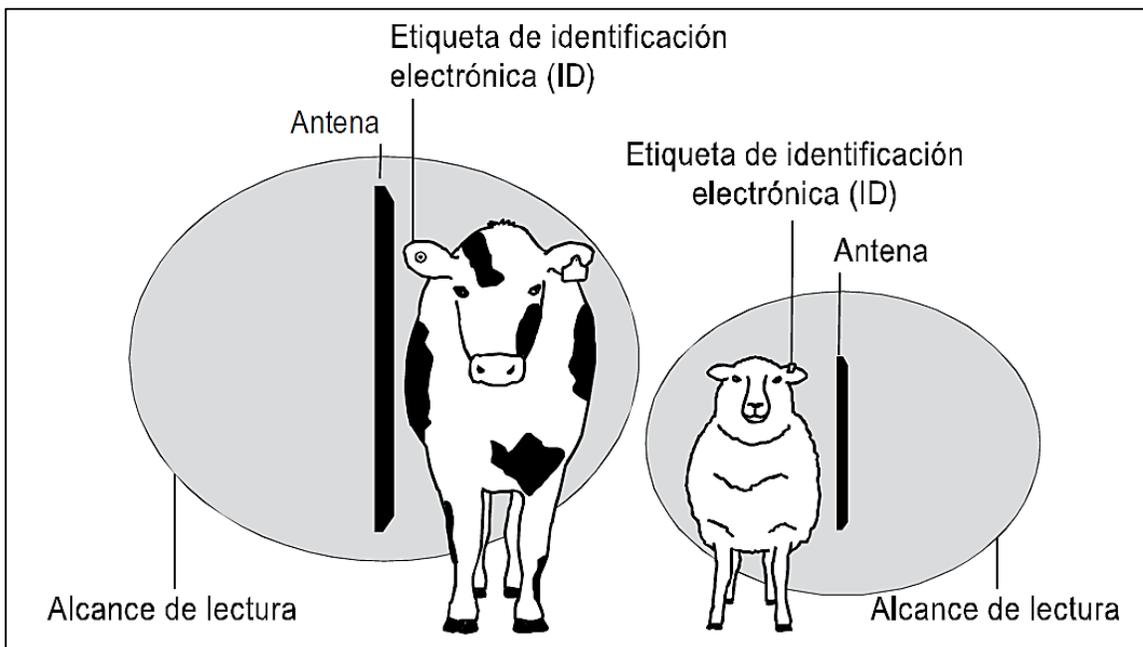
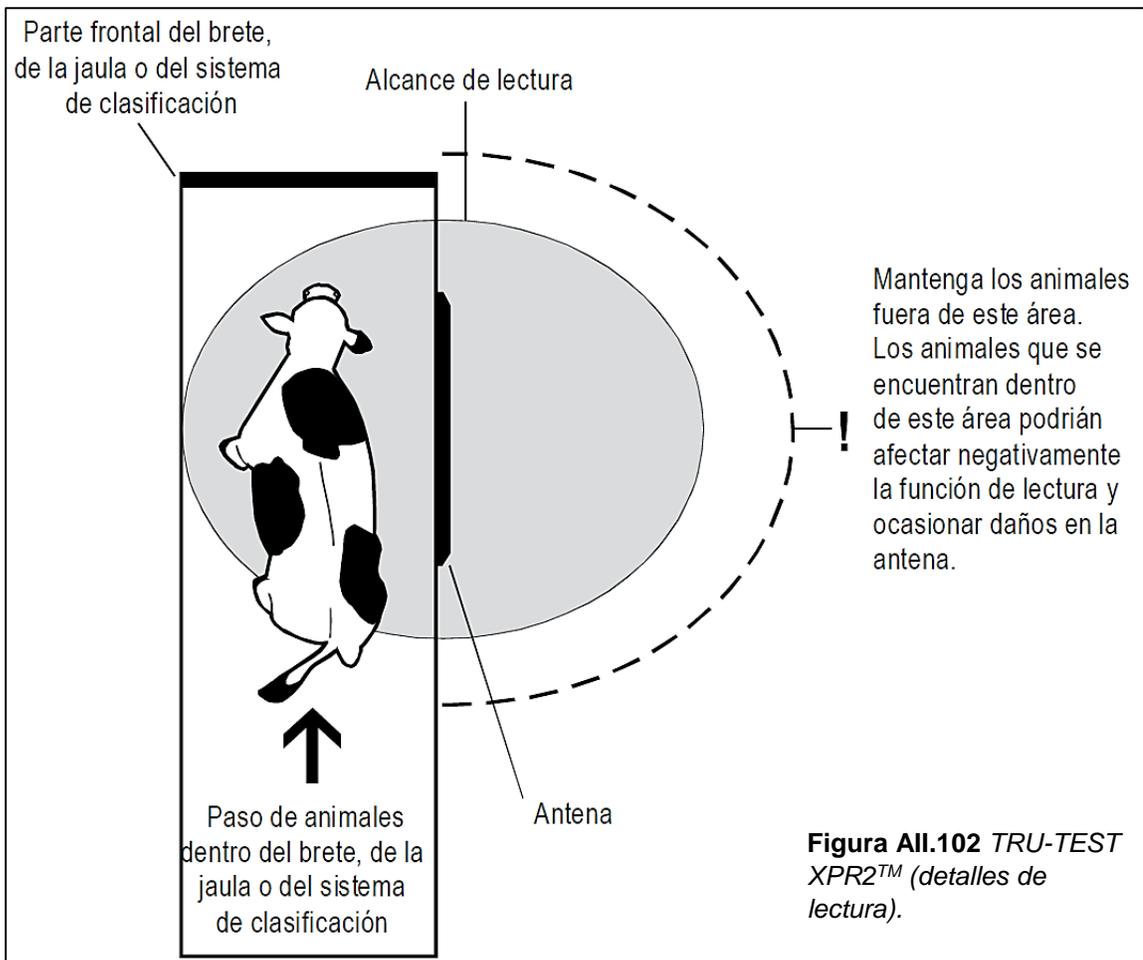
Las Figuras AII.100-AII.105 muestran más detalles acerca de este panel lector.



Figura AII.100 TRU-TEST XRP2™ (partes).



Figura AII.101 TRU-TEST XRP2™ (el kit incluye).



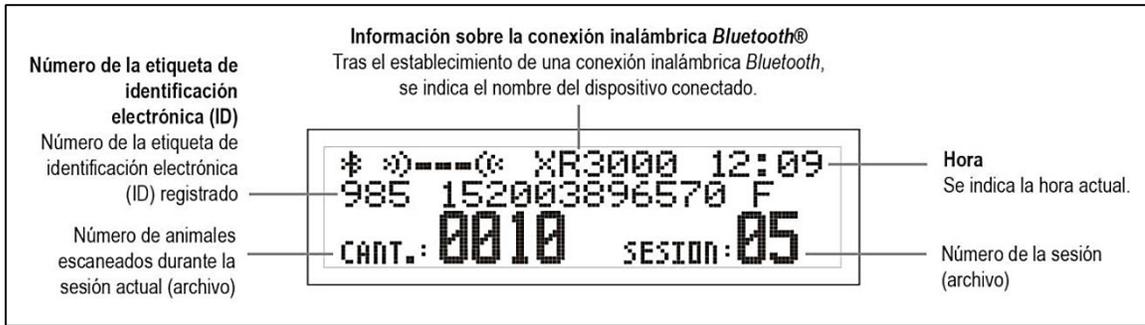


Figura AII.104 TRU-TEST XRP2™ (detalles del display).

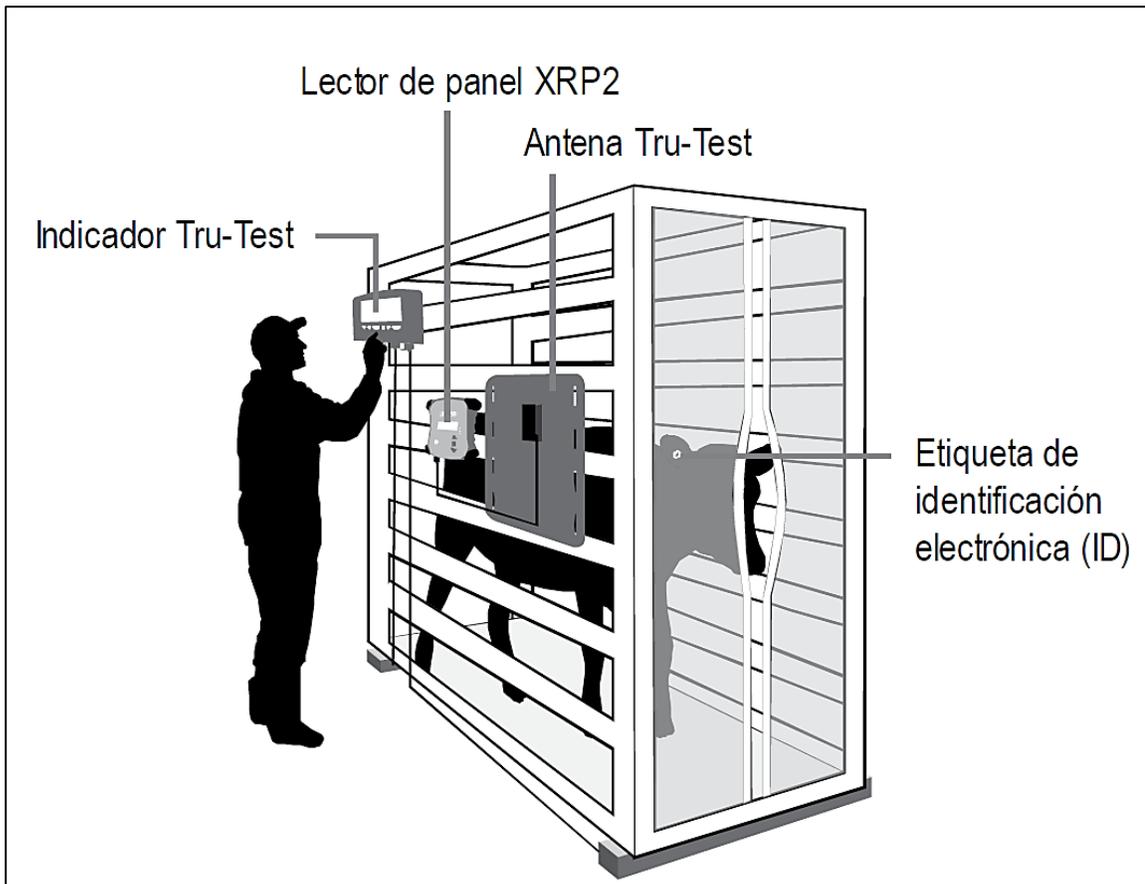


Figura AII.105 TRU-TEST XRP2™ (modo más común de instalación).

VIII. DATAMARS™



Figura AII.106 Logotipo de DATAMARS™ (<http://www.datamars.com>).

DATAMARS™ es uno de los líderes globales fabricantes de tecnología RFID. El mercado de su tecnología tiene tres principales campos de aplicación y estos son: la industria ganadera, para mascotas y para la industria textil. DATAMARS™ fue fundada en 1988 y desde entonces ha ganado la reputación de ser una empresa pionera en los campos en que se especializa. Actualmente posee oficinas en Europa, Asia y América.

A. DATAMARS BLUESTICK READER™



Figura AII.107
DATAMARS
BLUESTICK™
(frente).

El lector DATAMARS BLUESTICK™, mostrado en la **Figura AII.107**, es un transceptor RFID portable para ganado de alto desempeño. Es adecuado para trabajos de campo en condiciones ásperas. Permite almacenar los códigos identificados en sesiones y es compatible con el ISO 11784/ 11785. El precio de este dispositivo es de **USD 759.00**, lo cual equivale a **C\$ 21,912.33**. Entre las técnicas características principales de este producto encontramos:

- Compatible con transpondedores FDX-B y HDX definidos en ISO 11784/11785.
- Hasta 1 millón de códigos almacenables.
- Comunicación mediante USB, RS232 o Bluetooth.
- Distancia de lectura de hasta 35cm para HDX y hasta 25cm para FDX-B.
- Opera con una celda Li-ion de 3.7V / 3750mAh.
- Temperatura de operación desde -5°C hasta +55°C.
- Peso de 620 gramos.
- Dimensiones 500x30mm.

Más detalles de este lector pueden ser encontrados en la **Figura AII.108** y **Figura AII.109**.



Figura AII.108 DATAMARS BLUESTICK™ (partes).

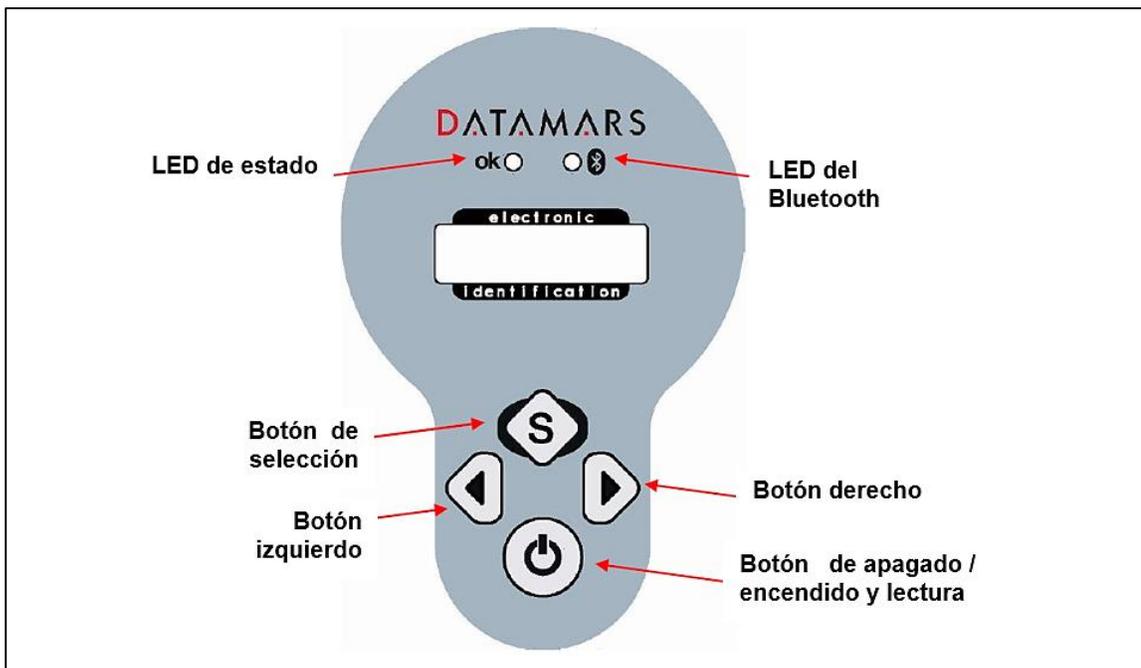


Figura AII.109 DATAMARS BLUESTICK™ (interfaz de usuario).

B. DATAMARS GES3S™



Figura AII.110
DATAMARS GES3S™
(frente).

El lector *DATAMARS GES3S™*, en la **Figura AII.110**, es un lector compacto diseñado para ser ultra portable. Además cumple con funciones de escritura básica de datos de trazabilidad y es por ello que posee un teclado alfanumérico. El precio estimado de este lector es de **USD 700.00** lo cual equivale a **C\$ 20,209.00**. Entre sus características técnicas principales encontramos:

- Capacidad de almacenamiento de hasta 1 millón de códigos identificadores.
- Interfaz USB y Bluetooth.
- Display a color y teclado para la escritura de datos.
- Compatible con transpondedores FDX y HDX definidos en ISO11784/ 11785.
- Rango de lectura de hasta 28cm para FDX-B y 30cm para HDX.
- Protección tipo IP67.
- Peso de 326 gramos.
- Dimensiones: 223x108x41mm.
- Rango de operación desde -5°C hasta +55°C.

Más detalles de este lector, y su interfaz se muestran en las **Figuras AII.111-AII.116**.



Figura All.111 DATAMARS GES3S™ (partes).

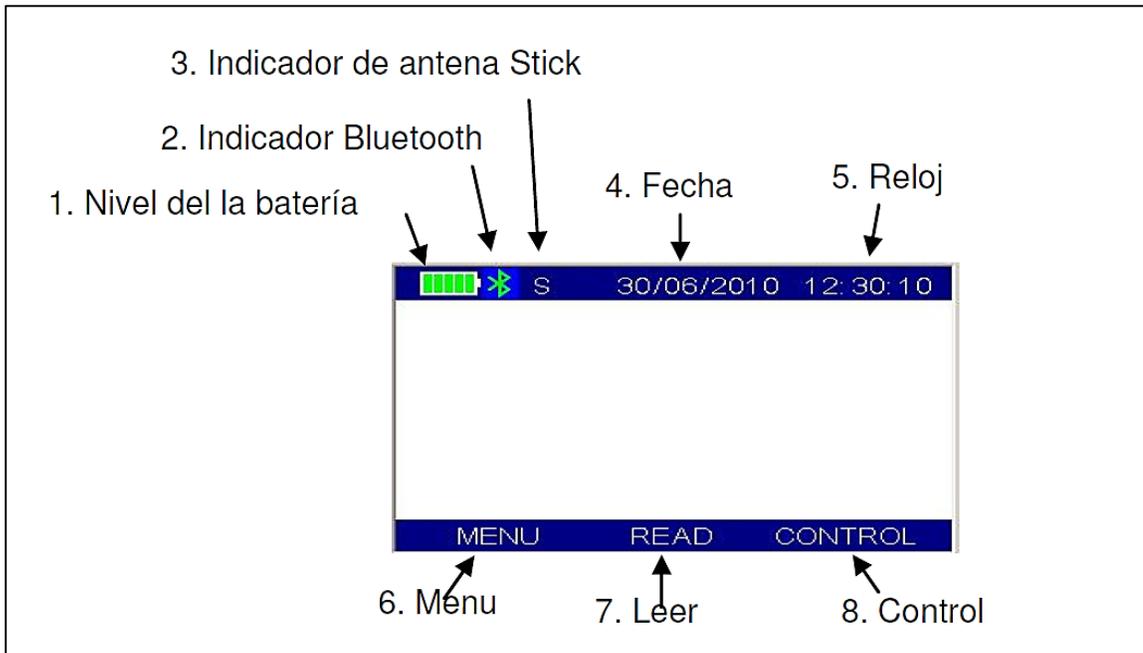


Figura All.112 DATAMARS GES3S™ (interfaz de usuario).

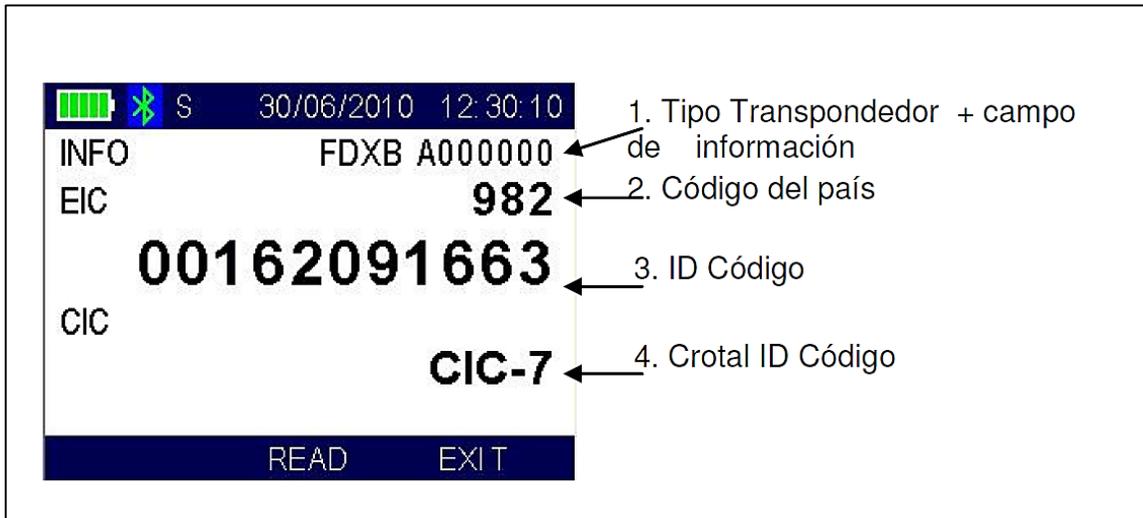


Figura All.113 DATAMARS GES3S™ (detalles de interfaz de usuario).

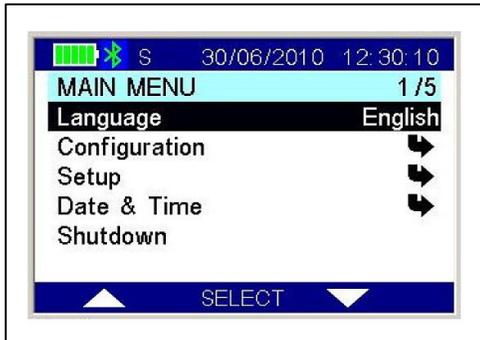


Figura All.114 DATAMARS GES3S™ (menú principal de la interfaz de usuario).

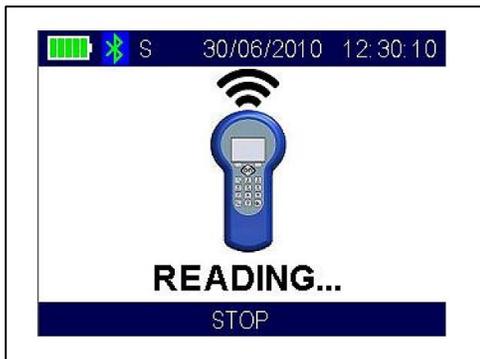


Figura All.115 DATAMARS GES3S™ (indicador de lectura en la interfaz de usuario).



Figura All.116 DATAMARS GES3S™ (indicador de lectura fallida en la interfaz de usuario).

C. DATAMARS TracKing-1 Reader™



Figura All.117
DATAMARS TracKing-1
Reader™ (frente).

El lector *DATAMARS TracKing-1™* es un lector para ganado con una moderna interfaz de usuario. Es sumamente liviano y fácil de manejar. Este dispositivo fue diseñado para manejar los animales del ganado de una manera sencilla y efectiva. La diferencia de este dispositivo con respecto al *DATAMARS GES3S™* es el teclado de entrada para escritura de datos. El precio de este lector es de aproximadamente **USD 216.66** lo cual equivale a **C\$ 6,254.97**. Entre sus características principales encontramos:

- Compatible con los transpondedores tipo FDX-B y HDX según el ISO 11784/85.
- Hasta 4000 códigos almacenables en memoria.
- Interfaz de usuario simple.
- Interfaz USB y Bluetooth.
- Compatible con impresoras portátiles Bluetooth.
- Software gratuito para PC.
- Rango de lectura de hasta 30cm para FDX-B y hasta 33cm para HDX.
- Dimensiones: 223x108x41mm.
- Peso: 290 gramos.
- Temperatura de operación desde -10°C hasta +55°C.

Más detalles de este lector pueden ser visualizados en la **Figura All.118** y **Figura All.119**.



Figura All.118 DATAMARS TrackKing-1 Reader™ (partes).

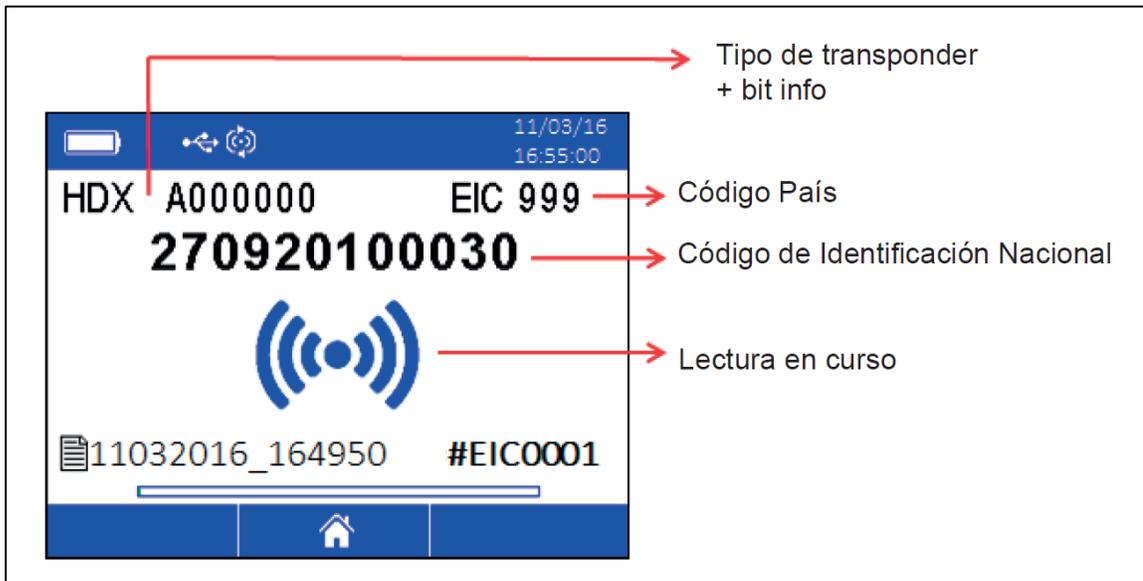


Figura All.119 DATAMARS TrackKing-1 Reader™ (interfaz de usuario).

D. DATAMARS F310™

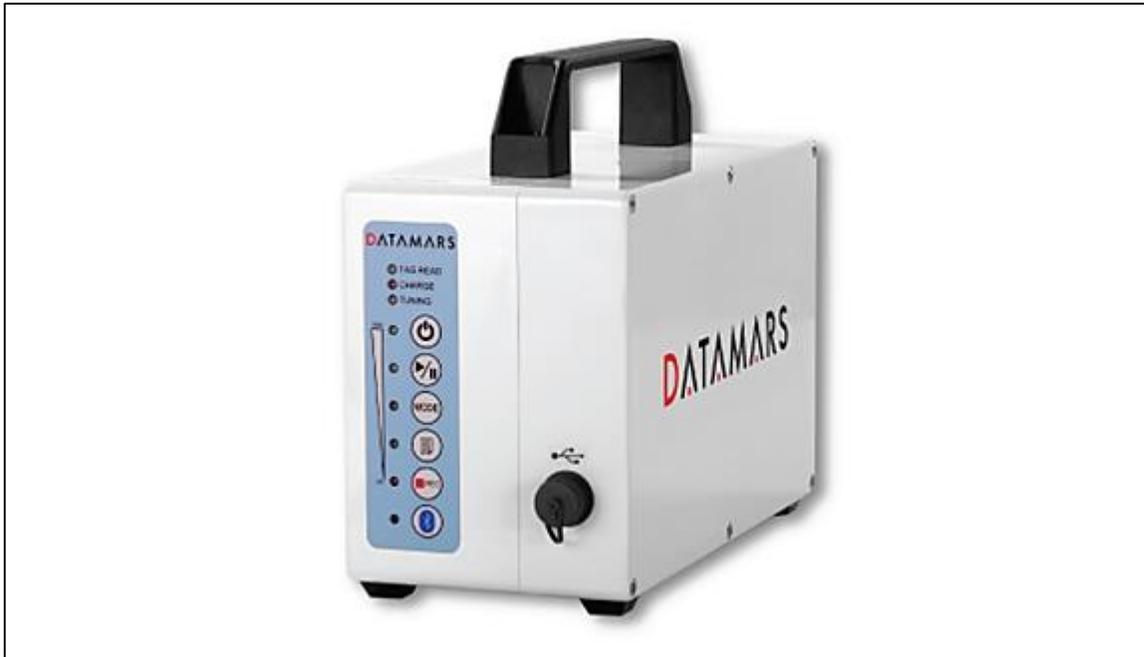


Figura AII.120 DATAMARS F310™ (frente).

El lector *DATAMARS F310™*, en la **Figura AII.120**, es un transceptor RFID estacionario que ha sido diseñado para para ser perfectamente usado en entornos externos e internos de la granja. Este debe ser conectado con una antena externa, como la que se muestra en la **Figura AII.121**, asimismo puede ser conectado con otros lectores idénticos a él para crear una red sincronizada. El precio de este lector se desconoce pero en base a sus características y comparado con el resto de los lectores este puede tener un precio aproximado desde **USD 1,500.00**, es decir **C\$ 43,305.00**, hasta **USD 2,000.00** o sea **C\$ 57,740.00**. Entre las características técnicas más importantes encontramos:

- Compatible con HDX y FDX-B tal como define el ISO 11784/11785.
- Auto-sintonizable para asegurar un buen rango de lectura.
- Batería recargable de litio 12.6V/3750mAh.
- Cargador de 12VDC-14VDC
- Hasta 2 millones de códigos identificadores almacenables.
- Interfaz USB, RS232 y Bluetooth para comunicarse con Smartphone o PC.
- Incluye aplicación dedicada al manejo de ganado.
- Las antenas pueden ser compradas independientemente.
- Rango de lectura de hasta 85cm de lectura para FDX-B y hasta 105cm para HDX.
- Protección tipo IP66.
- Dimensiones 250x170x125mm.
- Dimensiones de las antenas 580x1080x20mm (grande), 380x780x20mm (pequeña).
- Peso de 2250 gramos.
- Rango de operación desde -5°C hasta +55°C.

Para más detalles del lector visualizar la **Figura AII.122** y **Figura AII.123**.

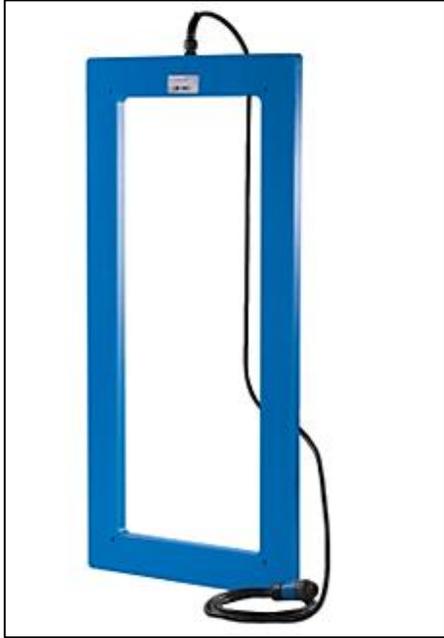


Figura AII.121 DATAMARS Gesant Antenna™ (frente y conector). El cable conector mide hasta 2.5m. Al igual que otros lectores una versión chica de la antena está dedicada para caprinos y una versión grande para bovinos.

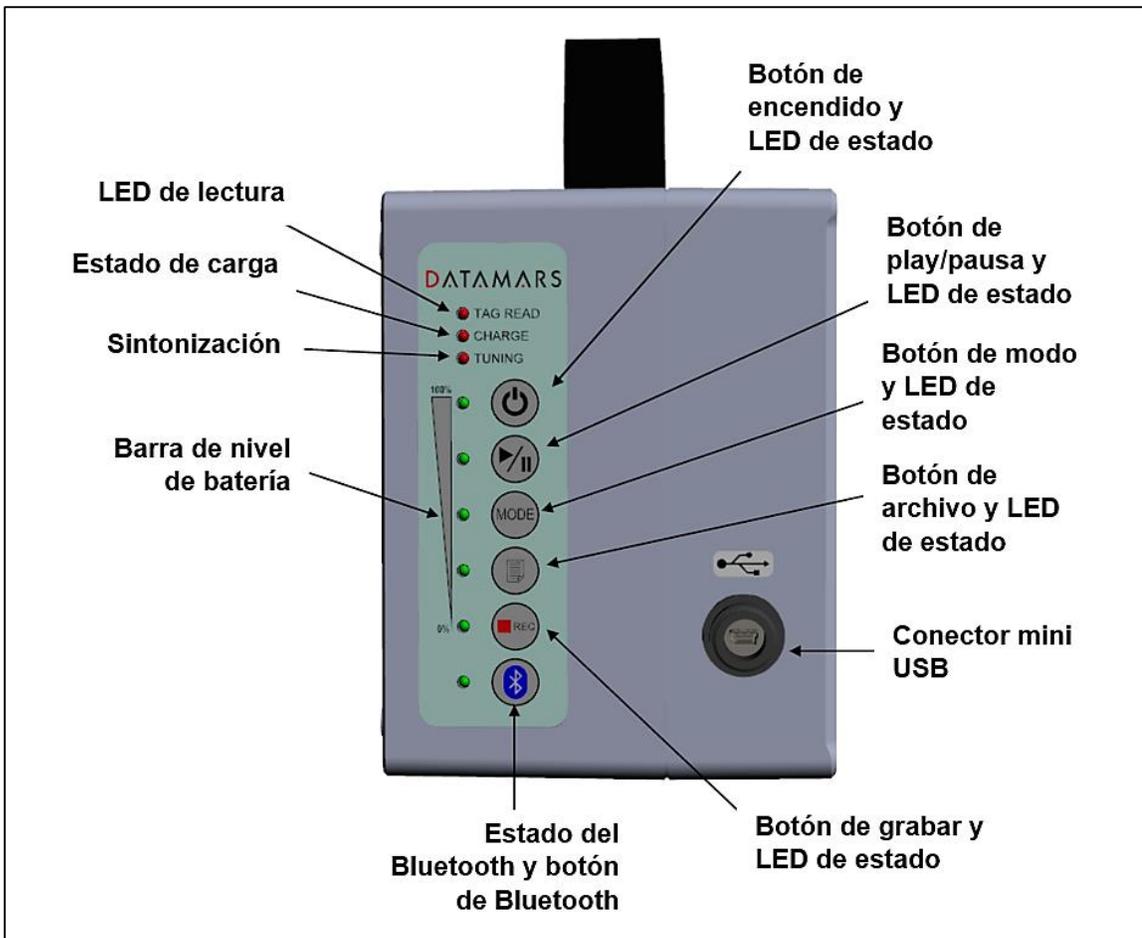


Figura AII.122 DATAMARS F310™ (interfaz de usuario, frente).

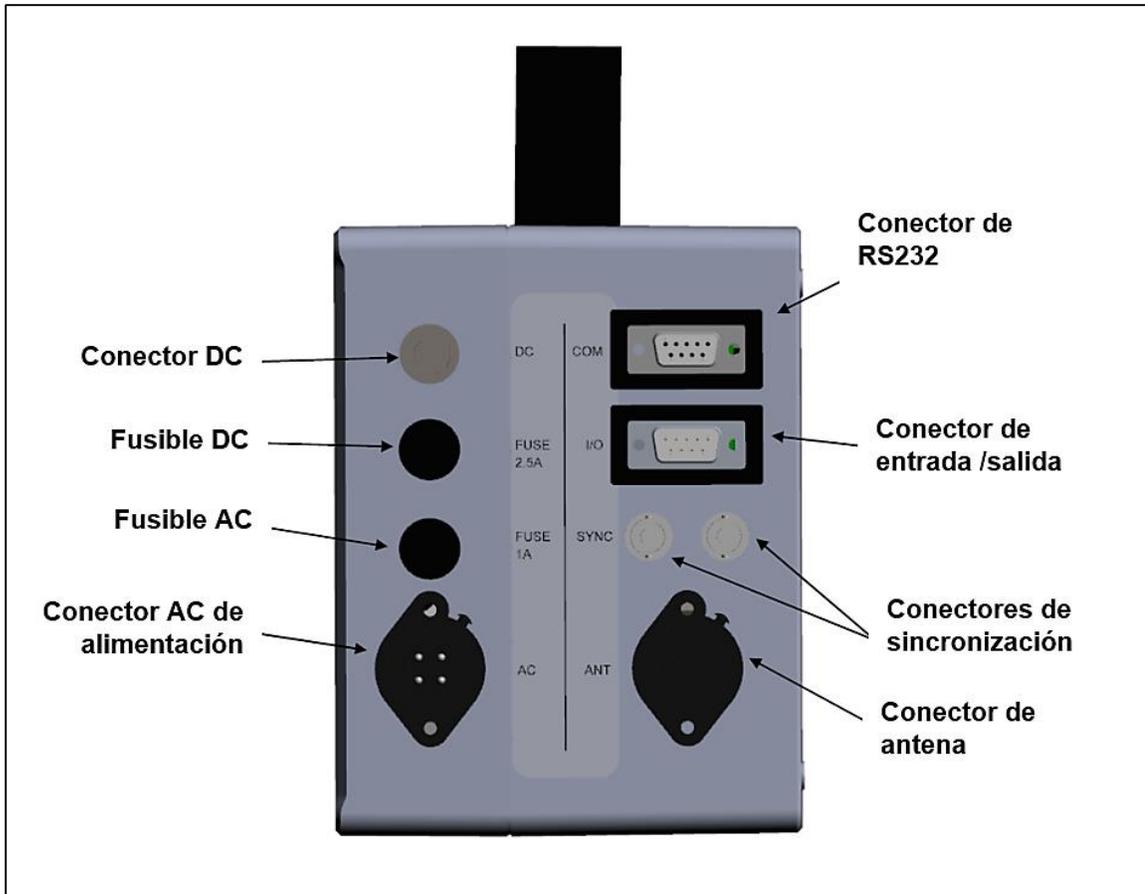


Figura AII.123 DATAMARS F310™ (interfaz de usuario, posterior).

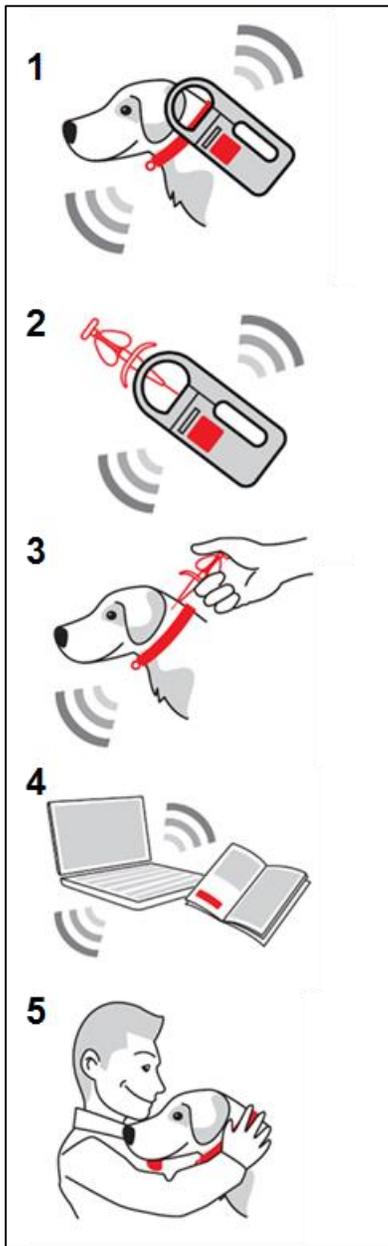
E. DATAMARS Stick Antenna™



Figura AII.124 DATAMARS Stick Antenna™.

La antena *DATAMARS Stick Antenna™*, en la **Figura AII.124**, es un accesorio fabricado por *DATAMARS™* que es compatible con todos los lectores de la marca. Tiene una forma ergonómica y mide 70cm de largo, el diseño de esta antena permite hasta 25cm de rango de lectura, posee un botón para indicarle al lector que se active, asimismo el cable extensor puede medir hasta 1metro. El precio de este producto se estima en **U\$D 487.99** lo cual equivale a **C\$ 14,088.27**.

Los lectores de la marca *DATAMARS™* a partir del epígrafe **F** del presente anexo están dedicados para su uso en mascotas, no son recomendados para ganado, pero se presentan de manera rápida ya que estos también están relacionados con el ISO 11784/11785. El método de identificación de mascotas utilizado por *DATAMARS™* se muestra en la **Figura AII.125** y los pasos se especifican a continuación:



(1) Escanear la mascota para verificar que no se le haya implantado anteriormente un microchip identificador.

(2) Escanear el blister *DATAMARS™* que contiene el transpondedor subcutáneo que será puesto en la mascota para verificar que el código coincide con el del empaque y que todo funciona bien.

(3) Implantar el transpondedor *DATAMARS™* en la mascota, este procedimiento amerita un veterinario que pueda realizar el implante. Luego escanear de nuevo el transpondedor para verificar que se puede localizar en la zona que se implanto.

(4) Luego registrar la mascota con su código identificador dentro de la base de datos de mascotas de *DATAMARS™* llamada *PetLink™*.

(5) Si la mascota se pierde, esta puede ser escaneada y devuelta al dueño al encontrar sus datos y dueño en la base de datos de mascotas *PetLink™*.

Usualmente los transpondedores para mascotas existen del tipo FDX-A y FDX-B. No obstante, existe la posibilidad de encontrar algún transpondedor HDX para mascotas en el mercado. La diferencia básica entre FDX-A con respecto a FDX-B es que FDX-A no es especificada en el ISO 11784/11785 ya que posee una estructura variable en el código identificador y en la codificación digital, asimismo, posee frecuencias variables de operación las cuales dependerán del fabricante. Al comprar un transpondedor y lector para mascotas se debe verificar que exista compatibilidad entre ambas partes del sistema RFID, de lo contrario será imposible identificar la mascota fácilmente.

Figura AII.125 Sistema de identificación de mascotas de *DATAMARS™*.

F. DATAMARS XTEND MAX™



Figura AII.126 DATAMARS XTEND MAX™.

El lector *DATAMARS XTEND MAX™*, en la **Figura AII.126**, es la herramienta ideal para escanear microchips en animales agresivos o estresados. Permite escanear los animales agregando cierta distancia con la herramienta extensora y evitando de esa manera el contacto directo. Es compatible tanto con *Windows™* como con *iOS™*. El precio de este lector se cotiza en **USD 695.00** lo cual equivale a **C\$ 20,064.65**. Entre las características técnicas principales de este producto encontramos:

- Compatible con los protocolos FDX-B según el ISO 11784/11785 y compatible con FDX-A/FECAVA.
- Frecuencia de operación de 125kHz, 128kHz y 134.2kHz.
- Memoria interna de 2GB.
- Interfaz USB y Bluetooth.
- Batería recargable química Li-Po.
- Rango de operación desde -5°C hasta +55°C.
- Dimensiones de 223x108x41mm (lector), 690mm (varita antena).
- Encapsulado de plástico y PVC.

G. DATAMARS ISO MAX V™



Figura AII.127 DATAMARS ISO MAX V™.

El lector *DATAMARS ISO MAX V™*, en la **Figura AII.127**, es un lector universal para mascotas. Tiene una forma ergonómica y su precio cotizado es de **USD 899.00**, lo cual equivale a **C\$ 25,954.13**. Entre sus características técnicas encontramos:

- Compatible con FDX-B y HDX definidos en ISO 11784/11785.
 - Compatible con FDX-A/FECAVA.
 - Compatible con encriptado Avid.
 - Compatible con Trovan.
 - Rango de lectura de 10cm hasta 25cm dependiendo del transpondedor
- Frecuencia de operación de 125kHz, 128kHz y 134.2kHz.
 - Interfaz USB y Bluetooth.

H. DATAMARS COMPACT MAX™



Figura AII.128 DATAMARS COMPACT MAX™.

El lector *DATAMARS COMPACT MAX™*, en la **Figura AII.128**, es un lector de bolsillo dedicado para la identificación de mascotas de manera práctica y completamente portátil. El precio estimado de este lector es de **USD 250.00** lo que equivale a **C\$ 7,217.50**. Entre sus características principales encontramos:

- Compatible con FDX-B y FDX-A/FECAVA.
- Interfaz USB.
- Distancia de lectura de hasta 12cm para FDX-B y 8cm para FDX-A/FECAVA.
- Frecuencias de operación de 125kHz y 134.2kHz.

- Hasta 4,000 códigos almacenables.
- Peso de 170 gramos.
- Dimensiones 160x80x20mm.
- Rango de operación de -5°C hasta +55°C.

I. DATAMARS OMNI MAX™



Figura AII.129 DATAMARS OMNI MAX™.

El lector *DATAMARS OMNI MAX™*, en la **Figura AII.129**, es un lector universal y portátil que permite la identificación de las mascotas. Una de las características principales de este lector es que posee una antena que rodea internamente todo el encapsulado del dispositivo, permitiendo de esa manera que se pueda tener un mayor rango de lectura con un tamaño pequeño. El precio estimado de este lector es de **USD 369.00** lo cual equivale a **C\$ 10,653.03**. Entre sus principales características tenemos:

- Compatible con FDX-B, FDX-A/FECAVA, encriptado Avid, Trovan y HDX.
- Frecuencia de operación de 125kHz, 128kHz y 134.2kHz.
- 2GB de memoria interna.
- Interfaz USB.
- Peso de 440 gramos.

IX. Agrident™



Figura All.130 Logotipo de *Agrident™* (<http://www.agrident.com>).

Agrident™ es una empresa con 20 años de antigüedad la cual se dedica a la fabricación de tecnología para la agricultura. Se especializan en los sistemas de trazabilidad y los sistemas RFID para ganado. En su portafolio de productos encontramos lectores portátiles, estacionarios y sistemas de colección de información. Los lectores RFID están diseñados para: soportar las condiciones del entorno, ser ergonómicos además de compatibles con diferentes versiones de software y dispositivos.

A. Agrident AWR300™



Figura All.131 *Agrident AWR300™* (frente).

El nuevo lector *Agrident AWR300™*, en la **Figura All.131**, representa la nueva generación de lectores ISO 11784/11785 fabricados por *Agrident™*. Este combina un excelente rango de lectura con largos periodos de operación, además que cuenta con un display a color y un teclado de entrada. El precio estimado de este lector es de **USD 879.38** lo cual equivale a aproximadamente a **C\$ 25,387.70**. Entre las características principales este producto encontramos:

- Compatible con FDX-B y HDX según ISO 11784/11785.
- 4GB de almacenamiento que permiten guardar hasta 1 millón de códigos identificadores.
- Rango de lectura de hasta 30cm para ambas topologías.
- Sincronización inalámbrica permite tener lectores vecinos sin interferencia.
- Interfaz USB, RS232, Bluetooth Clase 1, Wi-Fi (opcional).
- Compatible con *Android™*, *Windows™* e *iOS™*.
- 7.4V Li-ion/2600mAh.
- Display TFT a color de 2.4".
- 7 teclas para funciones básicas.
- Indicadores LED, bocina y vibrador.
- Protección IP67.
- Peso de 720 gramos.
- Dimensiones: 650x85x42mm.
- Rango de operación desde -20°C hasta +60°C.

La **Figura All.132** muestra lo que se incluye en el kit del lector *Agrident AWR300™*. Entre estas partes tenemos: lector, cable RS232, cable cargador, adaptador DC y una mini impresora portátil.



Figura All.132 *Agrident AWR300™* (kit incluye)

B. Agrident AWR100/200™



Figura All.133 Agrident AWR100/200™ (frente).

El lector *Agrident AWR100/200™*, en la **Figura All.33**, es un bastón lector diseñado para su uso en el manejo del ganado. Es ideal para operar en el entorno áspero de la granja. El precio de este dispositivo se cotiza en **USD 704.63**, lo cual equivale a **C\$ 20,342.67**. Entre sus características básicas destacan:

- Compatible con transpondedores HDX y FDX-B según ISO 11784/11785.
- Rango de lectura máximo hasta 40cm para HDX y hasta 32cm para FDX-B.
- RS232 y Bluetooth.
- Batería NiMH 9.6V/750mA.
- Protección tipo IP67.
- Dimensiones 630x90x90mm.
- Peso aproximado de 700g.

Los accesorios completos de este producto se muestran en la **Figura All.134**.



Figura All.134 Agrident AWR100/200™ (kit incluye).

C. Agrident APR500E™



Figura AII.135 Agrident APR500E™

El lector *Agrident APR500E™*, en la **Figura AII.135**, es un lector robusto con funcionalidades para grabar datos. El precio aproximado de este lector es de **USD 762.01**, lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 21,999.23**. Entre sus características técnicas tenemos:

- Compatible con transpondedores HDX y FDX-B según ISO 11784/ 11785.
- Rango de lectura de hasta 25cm para HDX y hasta 20cm para FDX-B.
- Hasta 5000 números ID almacenables.
- Interfaz USB y RS232.
- Capacidad para conectar antena externa.
- Batería recargable tipo NiMH.
- Protección tipo IP64.
- Rango de operación de -20°C a +60°C.
- Peso máximo de 350 gramos.

D. Agrident AIR300™



Figura AII.136 Agrident AIR300™
(frente)

El lector *Agrident AIR300™*, en la **Figura AII.136**, es un tranceptor RFID de generación 2 a 4 de la marca *WORKABOUT PRO* fabricada por *PSION* y *Motorola*. Este lector combina el estándar ISO 11784/11785 con la flexibilidad y movilidad de una computadora portátil robusta basada en *Windows CE™* y *Windows Mobile™*. Este dispositivo tiene opciones para *Wi-Fi*, *GPRS* y códigos de barra. El precio de este producto es de **USD 1,411.74**, lo cual equivale a **C\$ 40,756.93**. Entre sus características principales se tienen:

- Compatible con HDX y FDX-B según ISO 11784/ 11785.
- Rango de lectura de hasta 24cm para HDX y hasta 20cm para FDX-B.
- Conector USB interno.
- Conector para antena exterior.
- Protección IP65.
- Rango de T° de -20°C hasta +60°C.
- Peso de hasta 620 gramos.
- Dimensiones: 126x98x36mm.

E. Agrident ASR700™



Figura All.137 Agrident ASR700™ (frente)

El lector *Agrident ASR700™*, en la **Figura All.136**, es un transceptor RFID que posee procesamiento digital de señales (DSP), lo cual le permite reducir la influencia del ruido electromagnético de tal manera que incrementa el rango de lectura de modo significativo. Agrident™ posee la patente ATF de auto sintonización la cual permite que la instalación del panel lector sea sencilla. El precio de este lector es desconocido, pero se estima que puede ser mayor de **USD 1,500.00** lo cual superaría los **C\$ 43,305.00**. Entre las características técnicas de este dispositivo encontramos:

- Rango de lectura de hasta 120cm para HDX y hasta 110cm para FDX-B.
- Interfaz RS232 o RS485.
- Entrada de alimentación de 12V-14V @1A.
- Protección IP66.
- Temperatura de operación desde -10°C hasta +60°C.
- Peso: 1800 gramos.
- Dimensiones 240x200x85mm.

F. Agrident ASR550™



Figura All.138 Agrident ASR550™ (frente)

El lector *Agrident ASR550™*, en la **Figura All.138**, es un lector estacionario similar al de la **Figura All.137**. El precio de este lector también es desconocido, pero es fácil deducir que igual que el anterior supera los **USD 1,500.00**, es decir, **C\$ 43,305.00**. Las características principales de este producto son:

- Compatible con HDX y FDX-B según ISO 11784/11785.
- Rango de lectura de hasta 90cm para HDX y hasta 80cm para FDX-B.
- Interfaz RS232 o RS485.
- Opcional Bluetooth Clase 1, Wi-Fi y Ethernet.

X. Baqueano™



Figura AII.139 Logotipo de BQN™ (<http://www.bqn.com.uy>)

La empresa BQN™ (Alassio S.A) es una empresa uruguaya, que desde 2002 se dedica al diseño y manufactura de equipos electrónicos, desarrollo de software, y servicios informáticos. BQN trabaja sobre soluciones de hardware y

software de manera integrada, a la medida de las necesidades del usuario. En el año 2007, habiendo comenzado en Uruguay la implementación del sistema de trazabilidad electrónica nacional con caravanas de RFID, la empresa vio la oportunidad de aprovechar el know-how adquirido con los POS (electrónica portátil) en un lector caravanas de fabricación nacional según la norma ISO11784/85, y desarrolló el lector Baqueano™. El primer Baqueano (modelo H10) se comercializa desde 2011, logró inmediatamente ser el líder en ventas gracias a su soporte al usuario, la adaptación a las necesidades de los productores, y su precio moderado. El proyecto del lector ganó el Premio Nova 2014 en la categoría TIC.

A. Baqueano Clásico



Figura AII.140 Baqueano Clásico™

El lector Baqueano Clásico™, en la Figura AII.140, provee, además de la función básica de lectura, funcionalidades avanzadas que apuntan a facilitar la gestión diaria del ganado. De esta manera, los lectores Baqueano resultan prácticos para usuarios con diversas necesidades. El precio de este lector es de **USD 853.00**, lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 24,626.11**. Entre las características básicas de este dispositivo tenemos:

- Compatible con protocolo FDX y HDX según ISO 11784/11785.
- Hasta 30cm de lectura para ambas topologías de transpondedores.
- Memoria de hasta 4032 registros.
- Interfaz USB y Bluetooth.
- Display OLED de 128x64 pixeles.
- Teclas básicas y sonidos de alerta.

- Batería Li-ion de 7.2V @ 2200mAh.
- Temperatura de operación de -10°C hasta +55°C.
- Encapsulado de PVC.
- Dimensiones: 587x522x29mm.
- Peso: 530 gramos.

La **Figura All.141** y **Figura All.142** muestran detalles del lector *Baqueano Clásico™*.

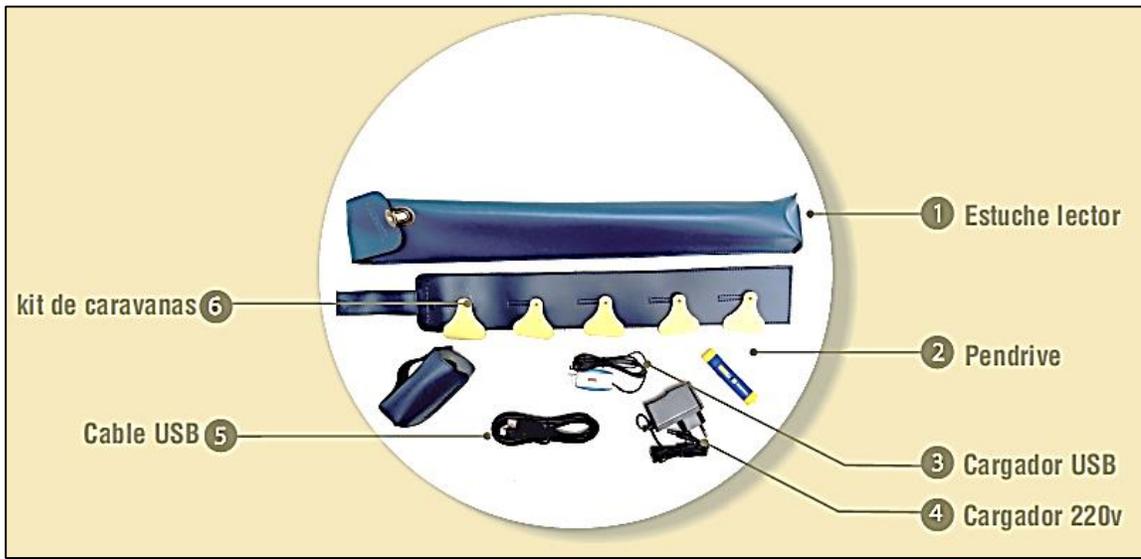


Figura All.141 *Baqueano Clásico™* (kit incluye).



Figura All.142 *Baqueano Clásico™* (interfaz de usuario).

B. Baqueano Pro



Figura All.143 Baqueano Pro™ (frente).

El lector *Baqueano Pro™*, en la **Figura All.143**, es un transceptor RFID que conserva las características del lector en su versión clásica, e incorpora nuevas funcionalidades para optimizar la gestión del ganado. El precio de este producto es de **USD 1,402.00** y eso equivale a **C\$ 40,475.74**. Entre las características técnicas básicas de este producto encontramos:

- Compatible con protocolos HDX y FDX descritos en ISO 11784/ 11785.
- Memoria interna almacena hasta 4,992 registros.

- Rango máximo de lectura de 40cm para ambas topologías de transpondedores.
- Interfaz Bluetooth y USB.
- Pantalla OLED de 128x64 pixeles.
- Batería Li-ion de 7.2V @ 2,200mAh.
- Teclado alfanumérico y notificaciones.
- Dimensiones: 615x68x50mm.
- Peso de 680 gramos.
- Rango de operación desde -10°C hasta +55°C.

La **Figura All.144** y **Figura All.145** muestran más detalles del lector *Baqueano Pro™*.



Figura All.144 Baqueano Pro™ (kit incluye).



Figura AII.145 Baqueano Pro™ (interfaz de usuario).

C. Baqueano EQ10



Figura AII.146 Baqueano EQ10™ (frente).

El lector *Baqueano EQ10™*, en la **Figura AII.146** es un Transceptor RFID especialmente diseñado para el trabajo con equinos y mascotas. Posee similares características del *Baqueano Clásico™*, pero es más compacto. Su precio es de **USD 609.00** lo que equivale a **C\$ 17,581.83**. Entre sus características básicas encontramos:

- Distancia de lectura de 12cm para ambas topología.
- Memoria de hasta 4,032 registros.
- Interfaz USB y Bluetooth.
- Medidas: 350x52x31mm.
- Rango de operación desde -10°C hasta +55°C.

XI. Faread™



Figura All.147 Logotipo de FAREAD™ (www.faread.com)

FAREAD™, es una compañía que se autoproclama como la líder en soluciones RFID con conectividad *IoT*. Lo cual mejora la identificación y manejo de la eficiencia en: la automatización de la industria, ensamble automotriz, control de almacén, rastreo de bienes, equipamiento médico, control de acceso, identificación

animal y seguridad alimentaria. Su portafolio de productos incluye: lectores, transpondedores RFID, antenas y software. Asimismo, clasifican sus productos RFID según la frecuencia de operación y estos pueden ser: *LF*, *HF*, *NFC* y *UHF*.

A. FRD5200 Animal Stick Reader



Figura All.148 FAREAD FRD5200™ (frente).

El lector FAREAD FRD5200™, en la **Figura All.148**, es un transceptor RFID destinado para el manejo del ganado y mascotas. El precio de este lector puede variar dependiendo de la tienda en línea donde se busque, pero el precio típico es de **USD 450.00** lo cual equivale aproximadamente a **C\$ 12,991.50**. Entre las características técnicas más importantes encontramos:

- Compatible con transpondedores FDX-B y HDX según ISO 11784/ 11785.
 - Interfaz Bluetooth o USB.
 - Hasta 7,000 códigos identificadores almacenables
 - Display OLED de 128x32 pixeles.
 - Rango de lectura de hasta 17cm para FDX-B y hasta 22cm para HDX.
- Opera con 4 baterías AA.
 - Rango de operación desde -30°C hasta +50°C.
 - Dos medidas opcionales: 46cm y 25cm.

B. FRD6100 Animal Stationary



Figura AII.149 FAREAD FRD6100™ (frente).

El lector *FAREAD FRD6100*, en la **Figura AII.149**, es un lector estacionario destinado para ser usado en el ganado bovino. El precio de este lector es de aproximadamente **USD 400.00**, lo cual equivale a **C\$ 11,548.00**. Las características técnicas principales de este producto son:

- Compatible con transpondedores FDX-B y HDX según ISO 11784/ 11785.
- Interfaz RS232, RS495, Wiegand 26.
- Hasta 7,000 códigos identificadores almacenables
- Display OLED de 128x32 pixeles.
- Rango de lectura de 40cm-50cm.
- Opera con 12VDC-15VDC.
- Rango de operación desde -20°C hasta +50°C.

C. FRD5500 Animal Handheld



Figura AII.150 FAREAD FRD5500™ (frente).

El lector *FAREAD FRD550* de la **Figura AII.150**, es un transceptor RFID diseñado para ser utilizado en la identificación animal. Funciona muy bien con el ganado, pero está dedicado para mascotas. El precio de este producto se cotiza en **USD 200.00** lo que equivale a **C\$ 5,774.00**. Entre las características principales de este producto encontramos:

- Compatible con FDX-A
 - Compatible con FDX-B y HDX según ISO 11784/ 11785.
 - Interfaz USB y Bluetooth.
 - Display OLED de 128x64.
- Rango de lectura máxima de 16cm para aretes y 8cm para implantes subcutáneos.
 - Temperatura de operación de -5°C hasta +40°C.
 - Dimensiones: 155x82x33mm.
 - Batería Li-ion 3.7V @ 1400mAh.

D. FRD5100 Animal Handheld



Figura All.151 FAREAD FRD5100™ (frente).

El lector *FAREAD FRD5100*, en la **Figura All.151**, es la nueva generación de transceptores RFID de mano multifuncionales. Este lector está destinado para su uso en mascotas, pero puede ser utilizado en ganadería también. El precio de este dispositivo se estima en **USD 300**, lo cual equivale a **C\$ 8,661.00**. Entre las características técnicas más importantes de este producto encontramos:

- Compatible con transpondedores HDX y FDX-B según ISO 11784/ 11785.
 - Interfaz USB y Bluetooth.
 - Hasta 7,000 códigos almacenables.
- Máximo rango de lectura de hasta 17cm para FDX-B y hasta 20cm para HDX.
 - Display OLED de 128x32.
 - Rango de operación de -30°C hasta +50°C.
 - Dimensiones: 265x200x5mm.

XII. Y-TEX™



Figura All.152 Logotipo de Y-TEX™ (www.y-tex.com)

Y-TEX Corporation, es una empresa dedicada a la industria ganadera. Por más de 50 años se ha preocupado por entregar los productos para la granja más modernos y de mejor calidad. *Y-TEX™* ofrece los mejores productos para la identificación animal, control de plagas y sistemas de salud animal.

A. Y-TEX 379 Bluetooth Reader



Figura All.153 Y-TEX 379 Bluetooth Reader™ (frente).

El lector *Y-TEX 379™*, en la **Figura All.153** es un transceptor RFID dedicado para su uso en la ganadería. Este es robusto y fácil de usar, haciéndolo ideal para productores, transportadores, corrales de crianza, casas de subasta y ventas veterinarias. El precio de este lector es de **USD 1,050.00** lo cual equivale a **C\$ 30,313.50**. Entre las características principales de este producto encontramos:

- Compatible con transpondedores HDX y FDX-B según ISO 11784/ 11785.
- Interfaz RS232 y Bluetooth.
- Rango de lectura de 25-35cm.
- Hasta 10,000 códigos identificadores almacenables.
- Display OLED de 126x64 pixeles.
- Opción para español.
- Batería recargable de 7.4V.
- Plástico ABS.
- Tipo de protección IP66.

La **Figura All.154** muestra más detalles del lector *Y-TEX 379*.



Figura All.154 *Y-TEX 379 Bluetooth Reader™* (kit incluye)

XIII. I.D.ology™



Figura All.155 Logotipo de I.D.ology™ (www.id-ology.com)

I.D.ology™ es una compañía estadounidense establecida en 1993 dedicada a la colección de datos para ganado. El objetivo principal es mejorar las operaciones de manejo y grabación de los datos.

A. I.D.ology LightningROD™



Figura All.156 I.D.ology LightningROD™.

El lector I.D.ology LightningROD™, en la Figura All.156 es un transceptor RFID dedicado para su uso en el manejo del ganado. El precio cotizado de este lector es de **USD 1,222.98** lo cual equivale a **C\$ 35,307.43**. Entre las características técnicas de este lector encontramos:

- Compatible con ISO 11784/ 11785.
- Hasta 40cm de lectura para ambas topologías.
- Hasta 4,000 transpondedores almacenables en memoria.
- Display de caracteres.
- Interfaz RS232 (Adaptable para Bluetooth y USB).
- Batería de Niquel de 6V @ 2,000mAh.
- Temperatura de operación desde -20°C hasta +65°C.
- Peso de 800 gramos.



Figura All.157
I.D.ology
LightningROD™
(kit incluye).

XIV. BioControl™



Figura All.158 Logotipo de BioControl™
(www.biocontrol.no)

BioControl™ es una empresa internacional de origen noruego dedicada a proveer tecnología para la biología. Desde 1991 se especializan en la industria ganadera. En este apartado especificaremos sus productos, no obstante no se muestran los precios ya que no fue posible conseguirlos.

A. Lector de mano 3000



Figura All.159 BioControl Handheld Reader 3000™.

Entre las características técnicas de este lector encontramos:

- Compatible con transpondedores HDX y FDX según ISO 11784 /11785.
- Hasta 1,000 códigos identificadores almacenables.
- Display gráfico.
- Indicadores LED.
- Interfaz RS232, USB y Bluetooth.
- Antena intercambiable.
- Teclado alfanumérico para entrada de datos.
- Rango de lectura desde 30cm hasta 40cm.
- Protección IP65.
- Dimensiones: 275x105x46mm.
- Peso de 50 gramos.

B. iMAN



Figura AII.160 BioControl iMAN™.

Las características técnicas del lector y colector de datos BioControl iMAN™, en la **Figura AII.160** son las siguientes:

- Windows CE 6
- Procesador ATMEL AT91SAM9261.
- 64MB de SDRAM.
- Display QVGA 3.5" de 320x240.
- Compatible con transpondedores HDX y FDX según ISO 11784 /11785.
- Interfaz USB, Bluetooth y RS232.
- Capacidad para Ethernet.
- Dimensiones de 223x94x42mm.
- Peso de 580 gramos.
- Protección IP67.

Más detalles de lo que se incluye en el kit de este lector en la **Figura AII.160**.



Figura AII.161 BioControl iMAN™ (partes).

C. Lector estacionario



Figura AII.162 BioControl Stationary Reader™ (frente).

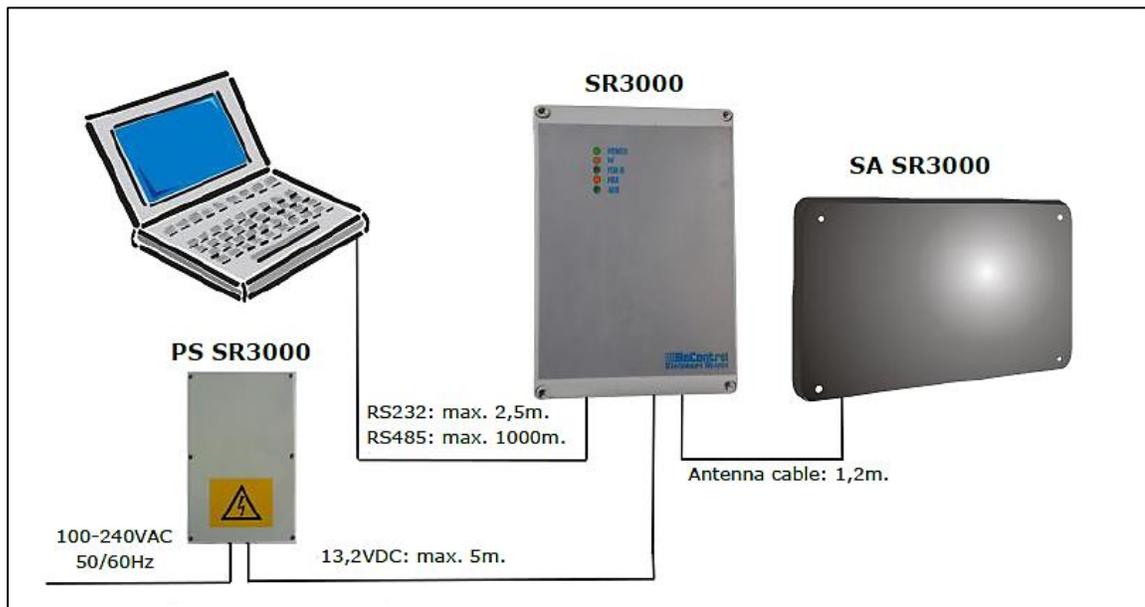


Figura AII.163 BioControl Stationary Reader™ (conexión).

Anexo III: Principales fabricantes de tecnología de RFID para animales a nivel mundial

Marca	Web	Productos							SW ⁵⁷	Especies					
		Circuitos Integrados	Chapas RFID	RFID Inyectable	Bolus RFID	Lectores de Mano	Lectores Estacionarios	ID Biométrica	Localización RT	Manejo de manada	Colección de Datos	Mascotas	Ganado	Animales de Laboratorio	En Peligro
AEG ID	www.aegid.de		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agrident	www.agrident.com		✓			✓			✓			✓			
Allflex	www.allflexusa.com		✓			✓						✓			
Animal ID Systems	www.animalidsystems.com		✓			✓			✓			✓			
Atmel	www.atmel.com	✓									✓	✓	✓	✓	✓
Avid Canada	www.avidcanada.com			✓							✓				
BOSolutions	www.boscorporate.com		✓						✓	✓		✓			
Dalton ID	www.daltonid.com		✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓		
Datamars	www.datamars.com			✓		✓	✓				✓				
Destron Fearing	www.destronfearing.com	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
EM Microelectronic	emmicroelectronic.com	✓													
EZ-id	www.ezidavid.com		✓	✓	✓	✓	✓					✓		✓	✓
GAO RFID	www.livestock.gaorfid.com		✓			✓			✓			✓			
HID Global	www.hidglobal.com	✓	✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓
Hauptner-Herberholz	hauptner-herberholz.de		✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓			
I.D.ology	www.id-ology.com		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			
Inteligensa	www.inteligensa.com		✓									✓			
Leader Products	leaderproducts.com.au		✓		✓	✓	✓					✓			
Livestock Exchange	livestockexchange.com.au					✓	✓		✓	✓		✓			
Microsensus	www.microsensus.de	✓		✓		✓	✓			✓					
Nedap Agri	www.nedap-liveid.com		✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓			
Nordic Star	www.nordicstar.co.uk		✓									✓			
NXP Semiconductors	www.nxp.com	✓													
Optibrand	www.optibrand.com							✓		✓		✓			
Planet ID	www.planet-id.com		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
Prionics Italia	www.prionics.it		✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓			
Shearwell Data	www.shearwell.co.uk		✓		✓	✓	✓		✓			✓			
Syscan ID	www.syscan-id.com	✓	✓			✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Texas Instruments	www.ti.com/rfid	✓	✓	✓	✓						✓	✓	✓		
Tri-Merit	www.mygamonline.com	✓	✓									✓			
Trovan	www.trovan.com		✓	✓		✓					✓	✓	✓		
WPI	www.wpi-europe.com	✓	✓									✓			
Y-Tex	www.y-tex.com		✓									✓			
Zee Tags	www.zeetags.com		✓	✓							✓	✓			

Tabla AIII.1 Principales fabricantes a nivel internacional de RFID ISO 11784/85

⁵⁷ SW=Software

Anexo IV: EM4095

I. Parámetros de operación del EM4095

Tabla AIV.1 Condiciones de operación *EM4095*.

Parámetro	Símbolo ⁵⁸	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Temperatura de operación de la unión	TJ	-40			°C
Voltaje de alimentación	VDD	4.1	5	5.5	V
Circuito resonador de antena	FRES	100	125	150	kHz
Corriente pico en los pines ANT1 y ANT2	IANT			250	mA
CFCAP			10		nF
CDEC			100		nF
CDC2			6.8		nF
CAGND		100		220	nF
Resistencia térmica del encapsulado	Rth j-a	69	70	71	°C/W

Tabla AIV.2 Valores máximos.

Parámetro	Símbolo	Condiciones ⁵⁹
Temperatura de almacenamiento	TSTO	-55°C a +150°C
Voltaje máximo en <i>VDD</i>	VDDmax	VSS+6V
Voltaje mínimo en <i>VDD</i>	VDDmin	VSS-0.3V
Voltaje máximo en otros pines	VMAX	VDD+0.3V
Voltaje mínimo en otros pines	VMIN	VSS-0.3V
Máxima temperatura de la unión	TJMAX	+125°C
Máxima descarga electrostática según MIL-STD-883C método 3015 contra VSS	VESD	4000V
Máxima descarga electrostática según MIL-STD-883C método 3015 (solo para pines <i>ANT1</i> y <i>ANT2</i>) contra VSS	VESD_ANT	8000V
Máxima corriente de entrada/salida en todos los pines excepto en <i>VDD</i> , <i>VSS</i> , <i>DVDD</i> , <i>DVSS</i> , <i>ANT1</i> , <i>ANT2</i> y <i>RDY/CLK</i>	IIMAX / IOMAX	10mA
Máxima corriente pico en los pines <i>ANT1</i> y <i>ANT2</i> a 100kHz con un duty cycle de 50%	IANTmax	300mA

⁵⁸ Basados en una tolerancia máxima de ±10%.

⁵⁹ Tensionar al chip más allá de estos parámetros provocará daño permanente.

Tabla AIV.3 Características eléctricas.

Parámetro ⁶⁰	Símbolo	Condiciones de prueba	Mínimo	Típico	Máximo	Unds
Corriente en modo "dormido o reposo"	IDDsleep			1	2	μA
Corriente excluyendo los drivers de la antena	IDDon			5	7	mA
Voltaje AGND	VAGND ⁶¹		2.35	2.5	2.65	V
Señales lógicas SHD, MOD y DEMOD_OUT						
Entrada lógica en alto	VIH		0.8VDD			V
Entrada lógica en bajo	VIL				0.2VDD	V
Salida lógica en alto	VOH	ISOURCE=1mA	0.9VDD			V
Salida lógica en bajo	VOL	ISINK=1mA			0.1VDD	V
Resistor pull-down para MOD	RPD	0.2VDD	20	50	90	kΩ
Resistor pull-up para SHD	RPU	0.8VDD	20	50	90	kΩ
PLL						
Rango de captura de frecuencia de la antena	FANT_C		100		150	kHz
Rango de enllavado de frecuencia de la antena	FANT_L		100		150	kHz
Drivers						
Resistencia de los drivers de la antena	RAD	IANT=100mA		3	9	Ω
Resistencia del pin RDY/CLK	RCL	IRDY/CLK = 10mA		12	36	Ω
Demodulación AM						
Rango común en DEMOD_IN	VCM		VSS+0.5		VDD-0.5	V
Sensibilidad en DEMOD_IN	Vsense ⁶²			0.85	2	mVpp

II. Medidas físicas del EM4095

Hablando de características físicas, y relacionadas con los pines del circuito integrado *EM4095*, a continuación tenemos sus medidas y diagrama físico en la **Figura AIV.1** y la **Tabla AIV.4**.

⁶⁰ Estos parámetros son válidos para: VSS=DVSS=0V; VDD=DVDD=5V; Tj=-40°C a +110°C a menos que otra cosa sea especificada.

⁶¹ El pin AGND es una referencia interna del *EM4095*, otra conexión externa aparte del capacitor conectado entre VSS y este pin producirá un malfuncionamiento en el sistema.

⁶² Modulando una onda cuadrada de 2kHz.

Figura AIV.1 EM4095 cotas.

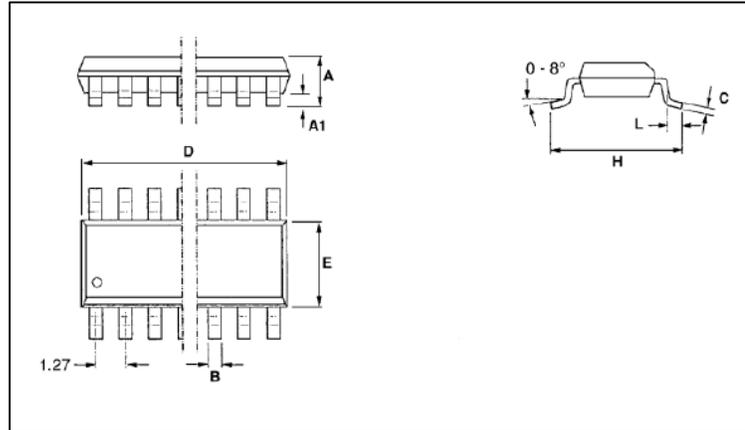


Tabla AIV.4 Dimensiones físicas promedio del encapsulado EM4095.

Símbolo	Dimensiones comunes (mm)		
	Mínimo	Nominal	Máximo
A	1.55	1.63	1.73
A1	0.127	0.15	0.25
B	0.35	0.41	0.49
C	0.19	0.20	0.25
D	9.80	9.93	9.98
E	3.81	3.94	3.99
H	5.84	5.99	6.20
L	0.41	0.64	0.89

III. Aplicación del EM4095

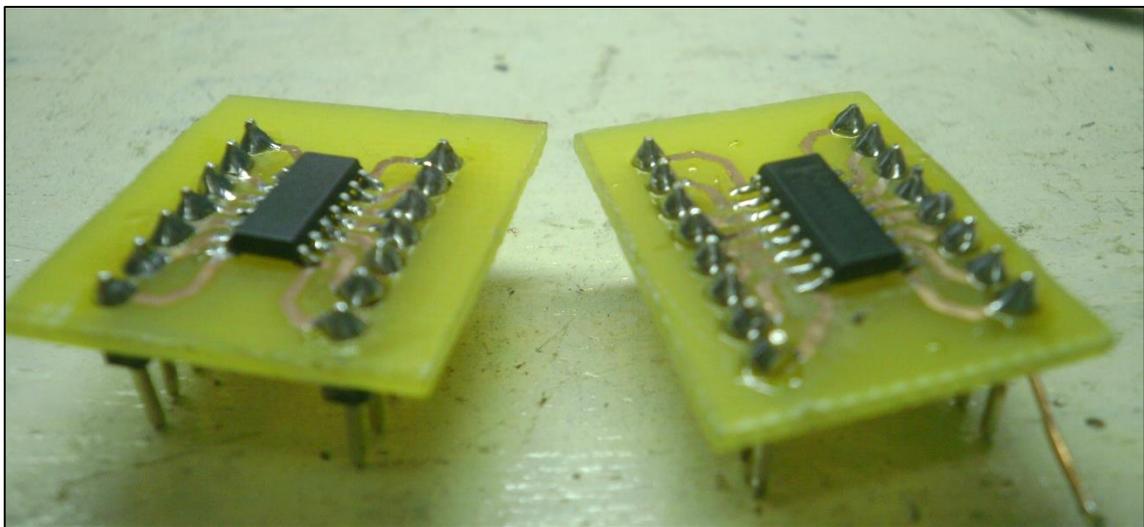


Figura AVI.1 "Breakout boards" para el integrado EM4095 (vista de arriba).

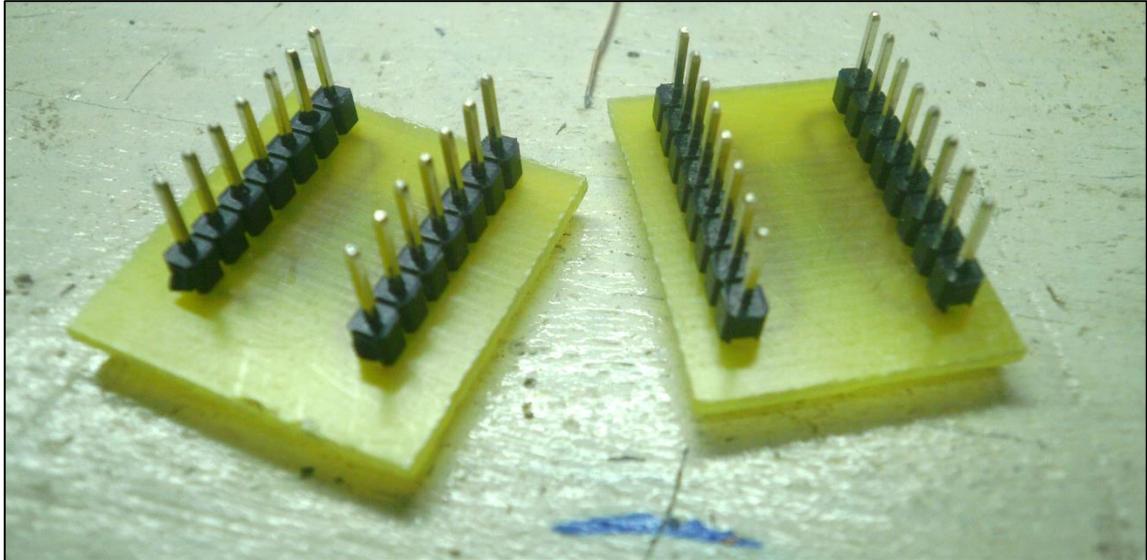


Figura AVI.2 “Breakout boards” para los integrados EM4095 (vista de atrás)

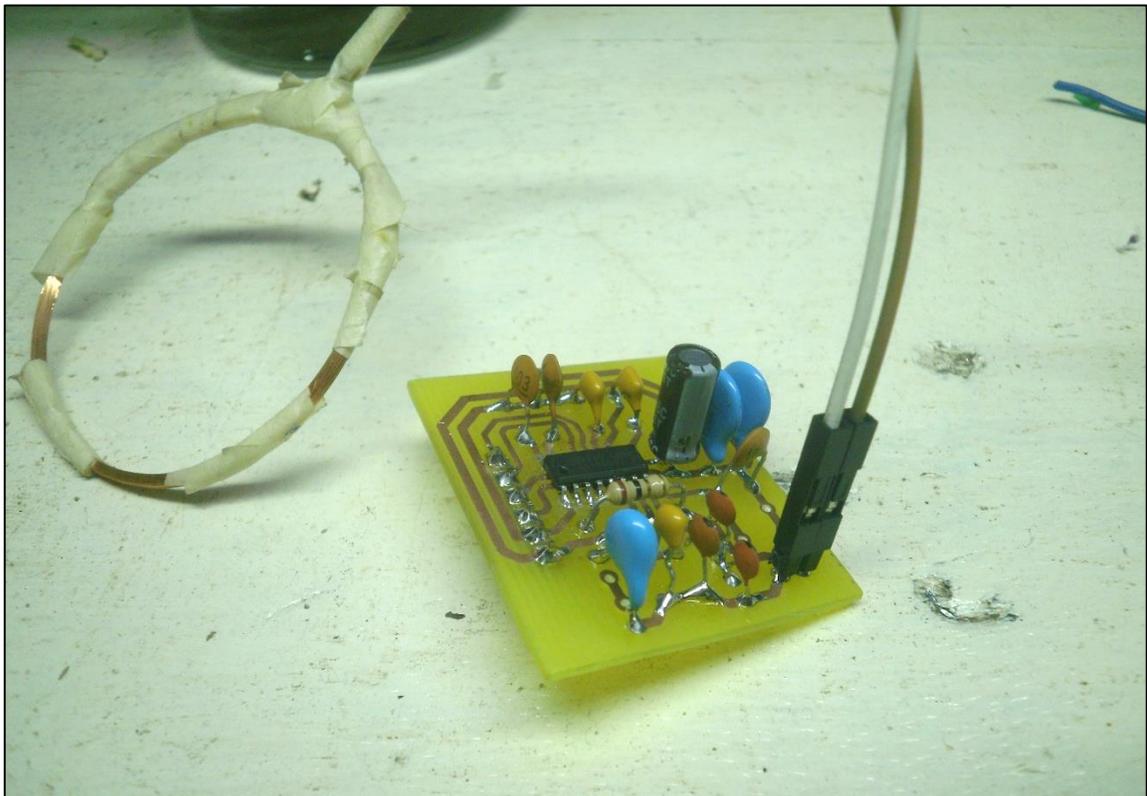


Figura AVI.3 Implementación modular del circuito integrado EM4095 y antena bobina.

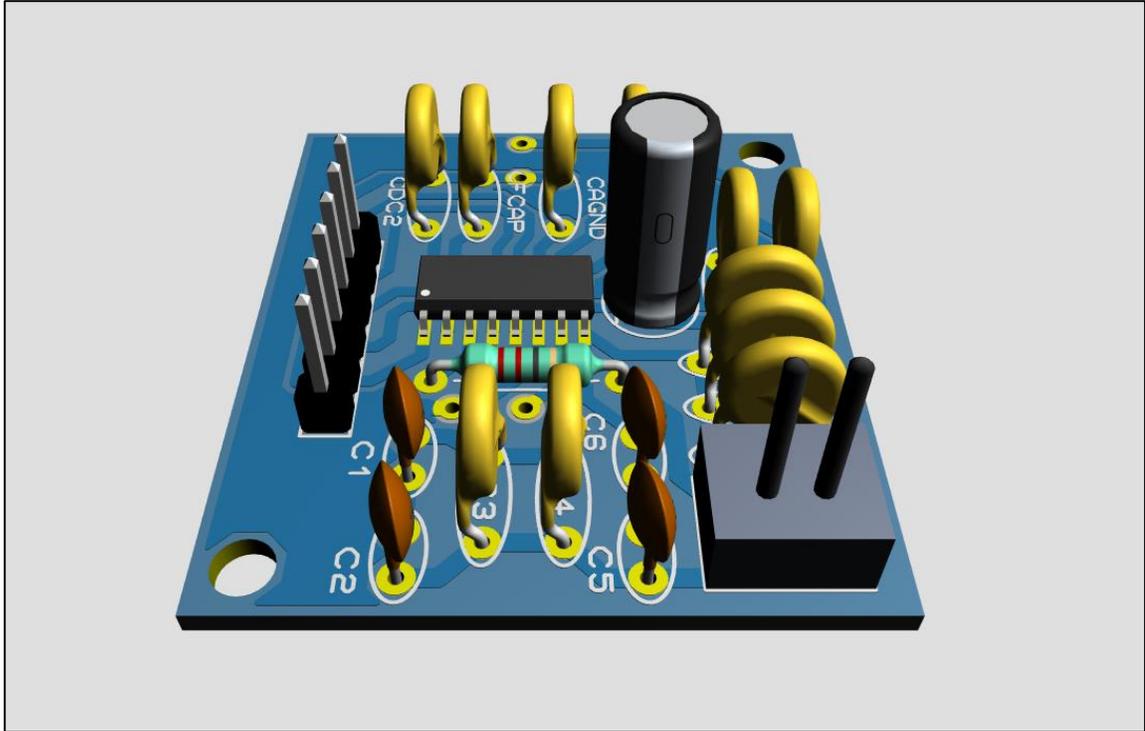


Figura AVI.4 Simulación 3D en Proteus 8.5 del circuito integrado EM4095.

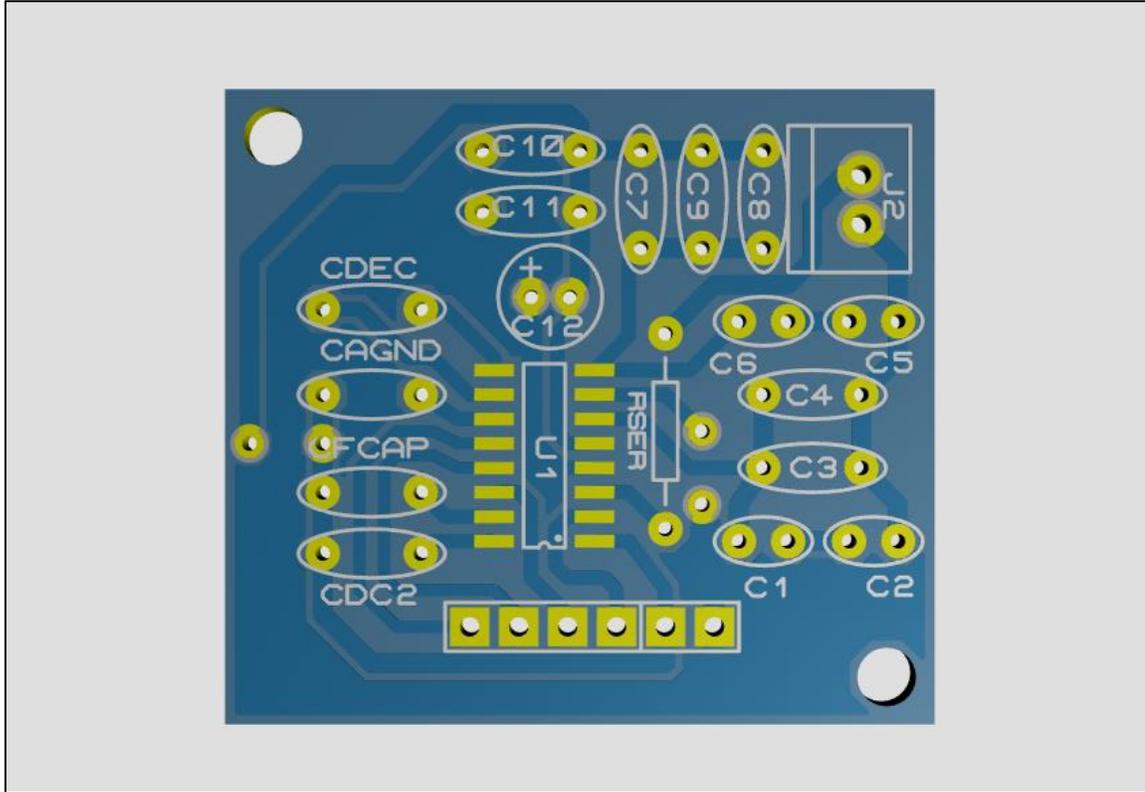
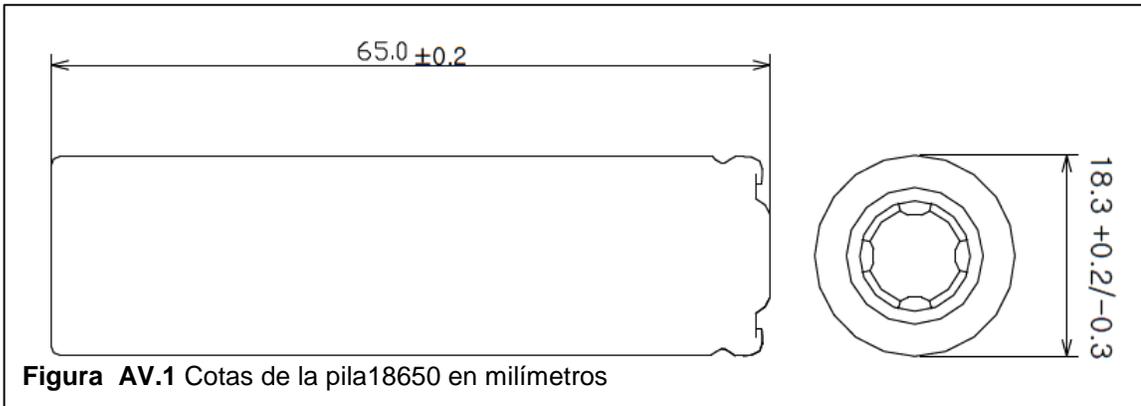


Figura AVI.5 Simulación 3D en Proteus 8.5 del circuito integrado EM4095 (sin componentes).

Anexo V: Fuente de poder

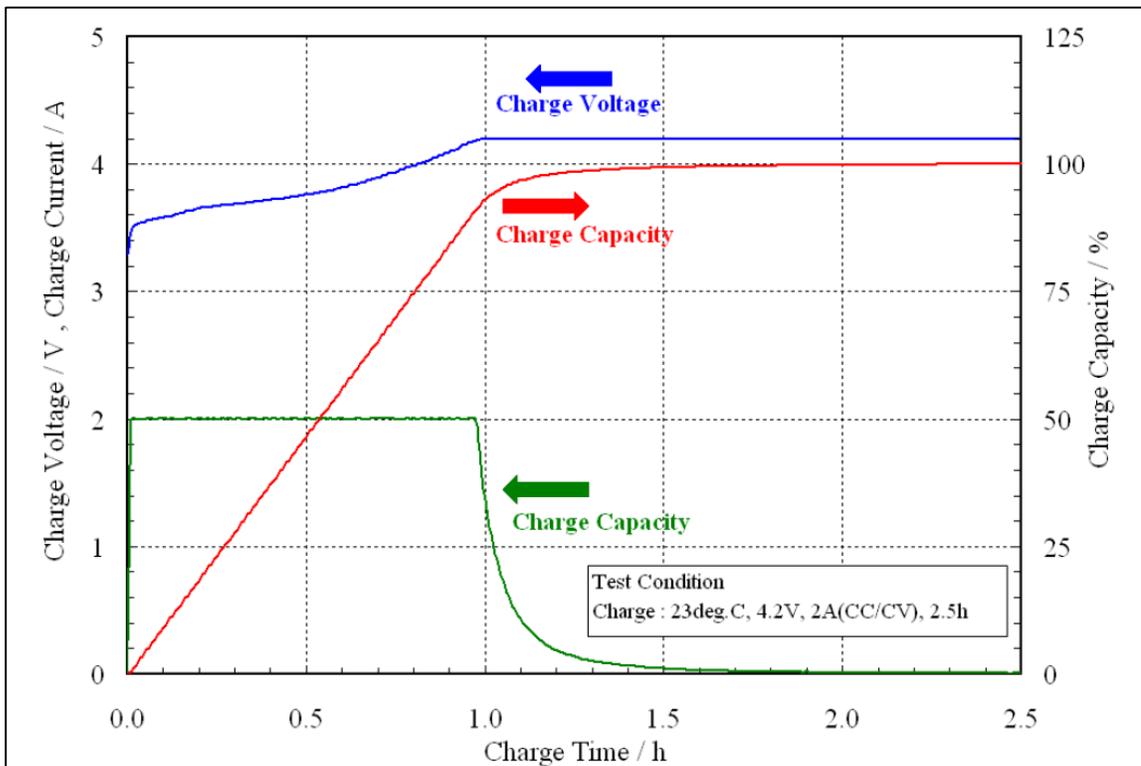
I. Baterías IMR Li-ion 18650

A. Medidas de la batería 18650



B. Gráfico de carga

La carga de la batería Li-ion 18650 es mediante el método de corriente constante y voltaje constante. El voltaje máximo al final del ciclo de carga debe ser de $4.2V \pm 0.05V$. El tiempo aproximado de carga es de 2.5h. El gráfico de la **Figura AV.2** muestra cómo debería realizarse la carga en la batería. Es necesario seguir el gráfico, de lo contrario se corre el riesgo de explosiones o daño en la pila.



C. Características de descarga

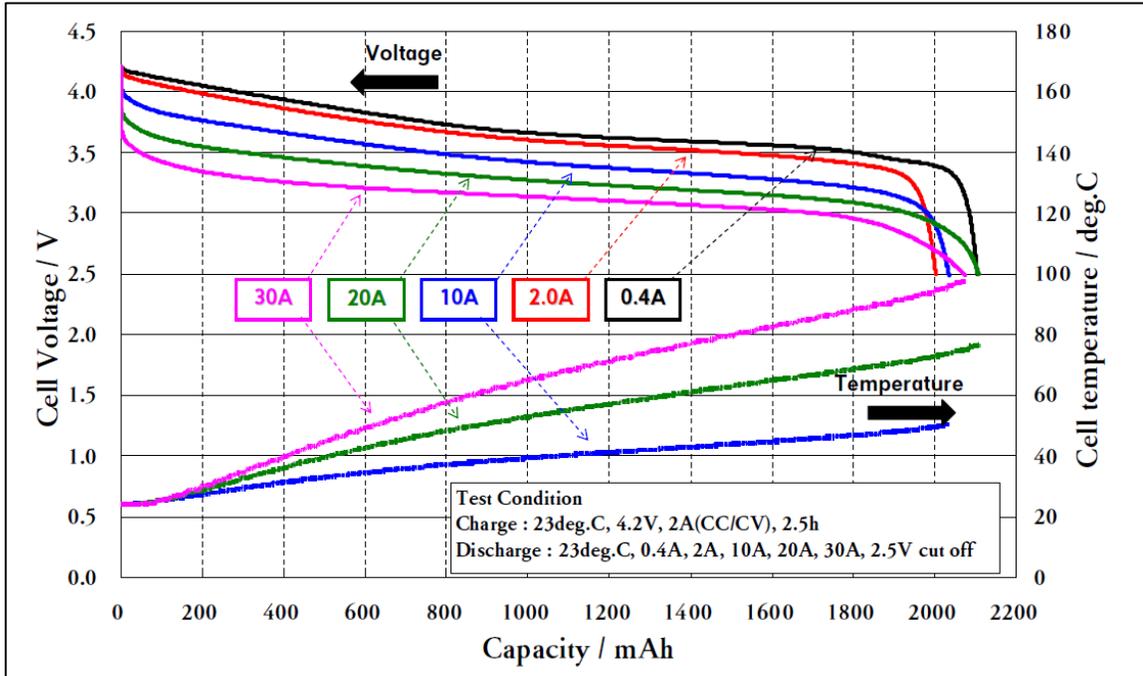


Figura AV.3 Grafico característico de descarga de la pila 18650.

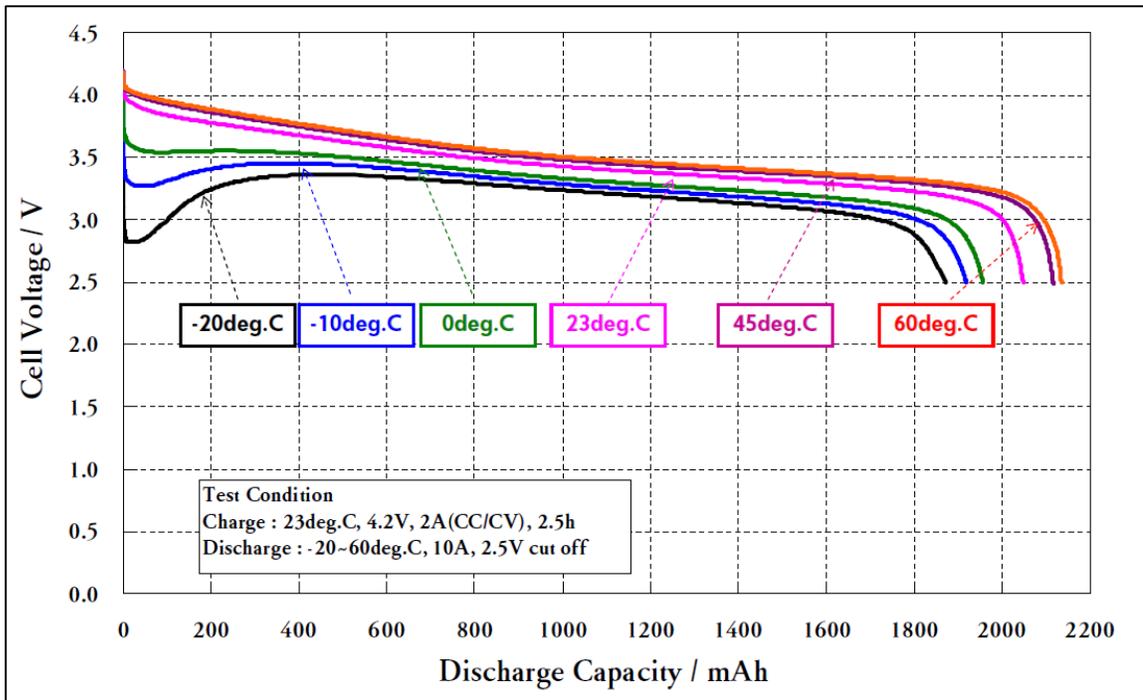


Figura AV.4 Grafico característico de descarga de la pila 18650 en función de la T ambiente.

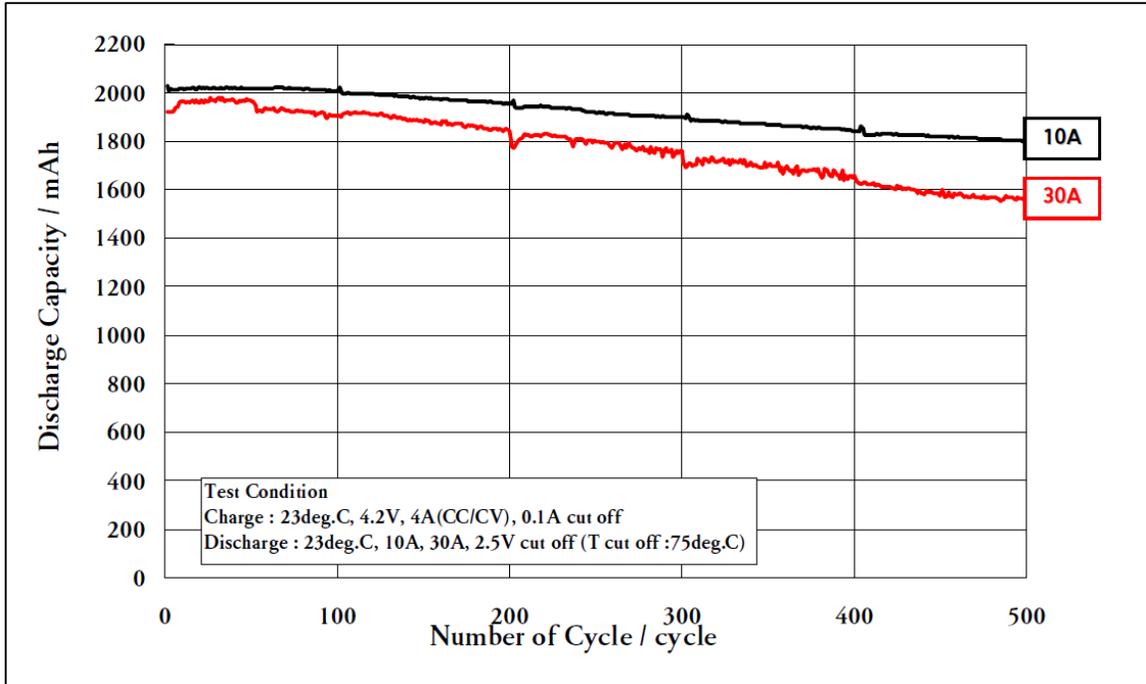


Figura AV.5 Gráfico característico del desempeño de descarga conforme los ciclos de uso.

II. BMS HH-P3-10.8

A. Imágenes ampliadas del módulo BMS HH-P3-10.8

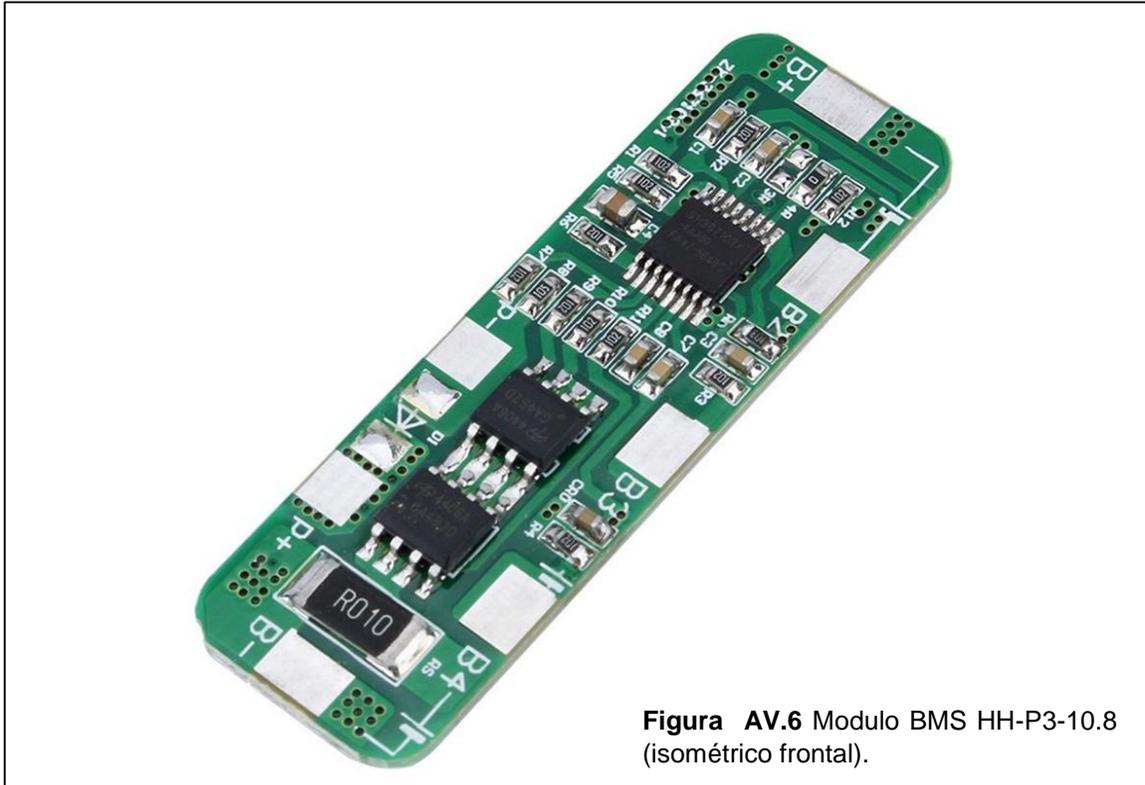


Figura AV.6 Modulo BMS HH-P3-10.8 (isométrico frontal).

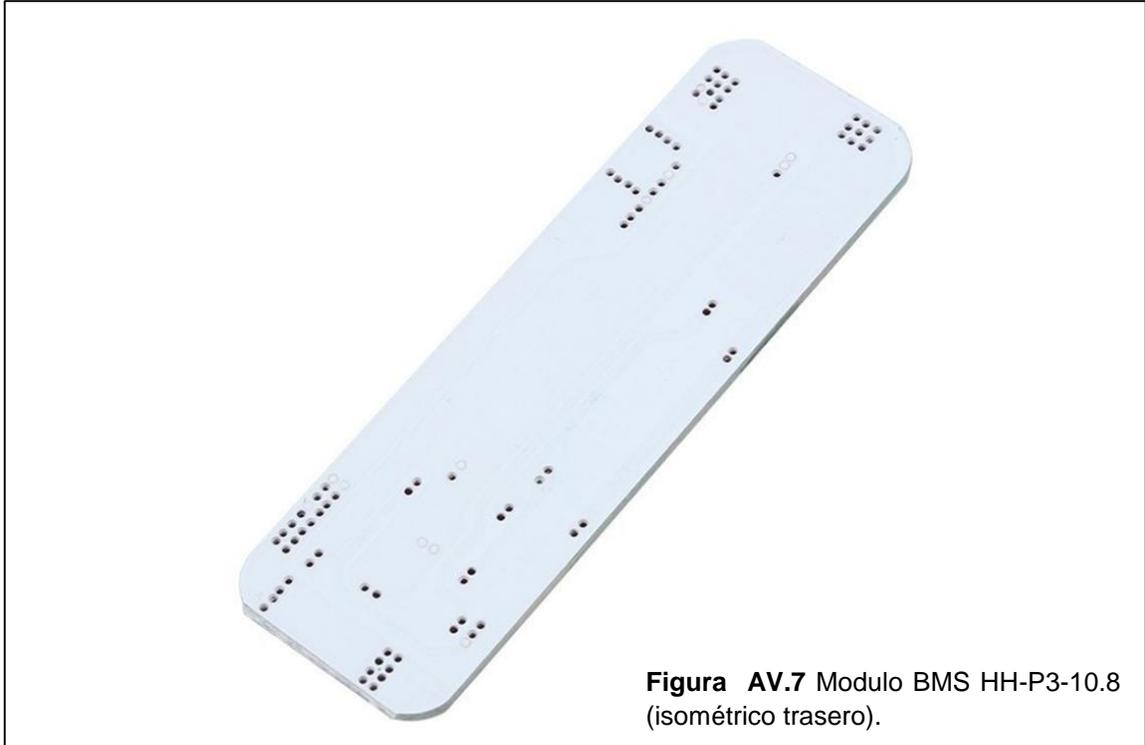


Figura AV.7 Modulo BMS HH-P3-10.8 (isométrico trasero).

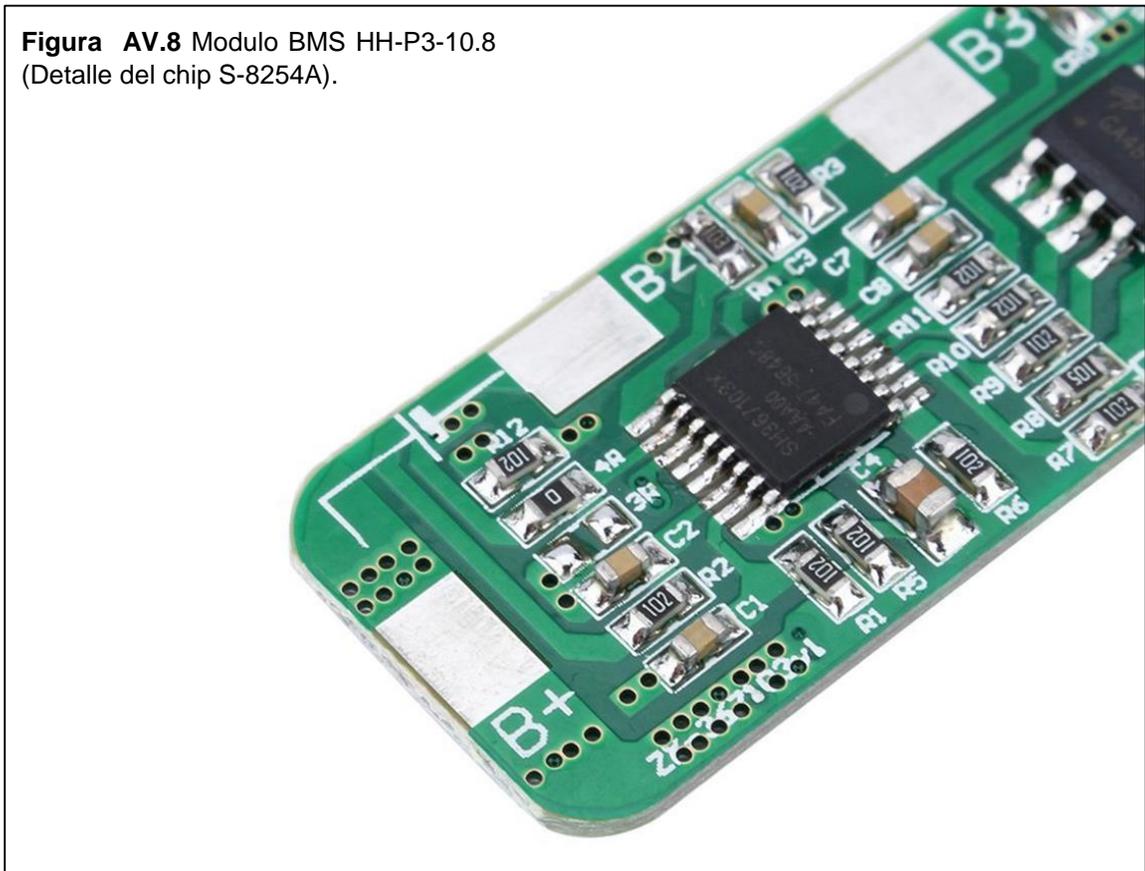
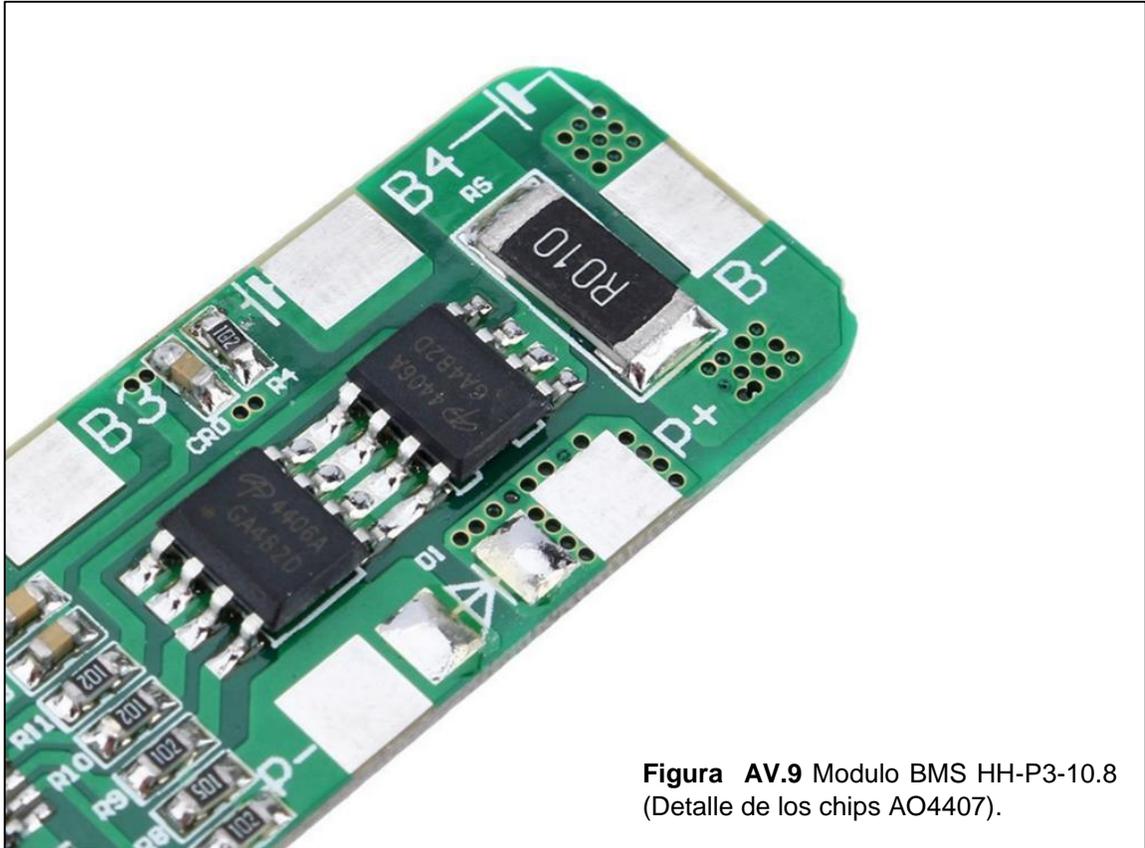
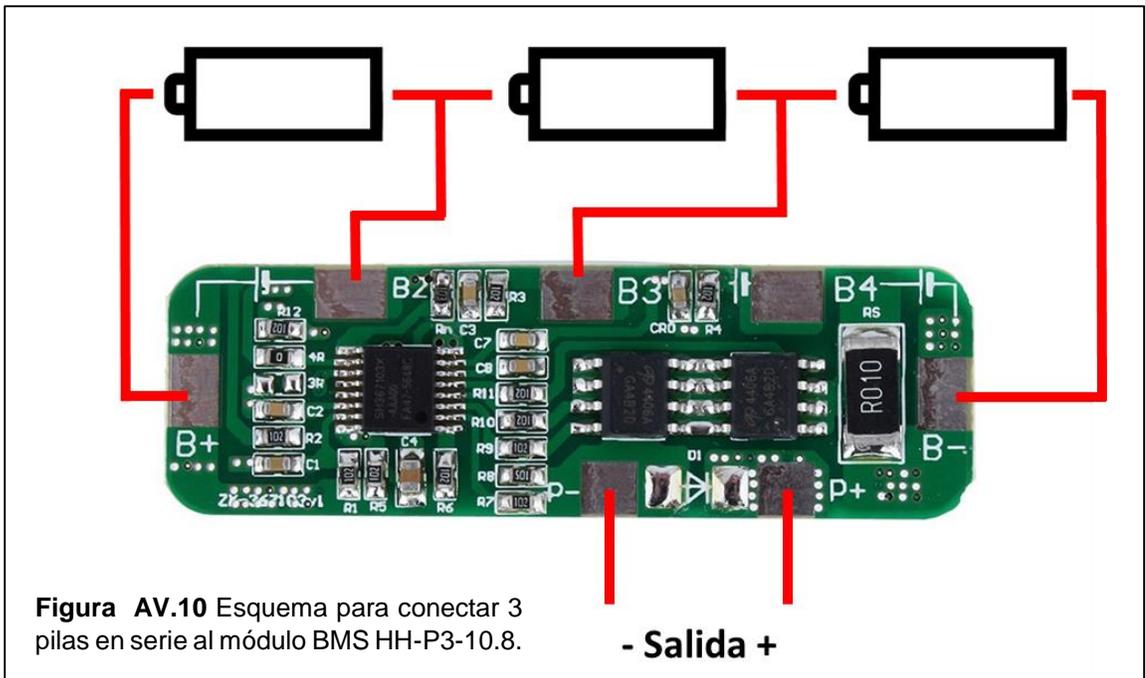


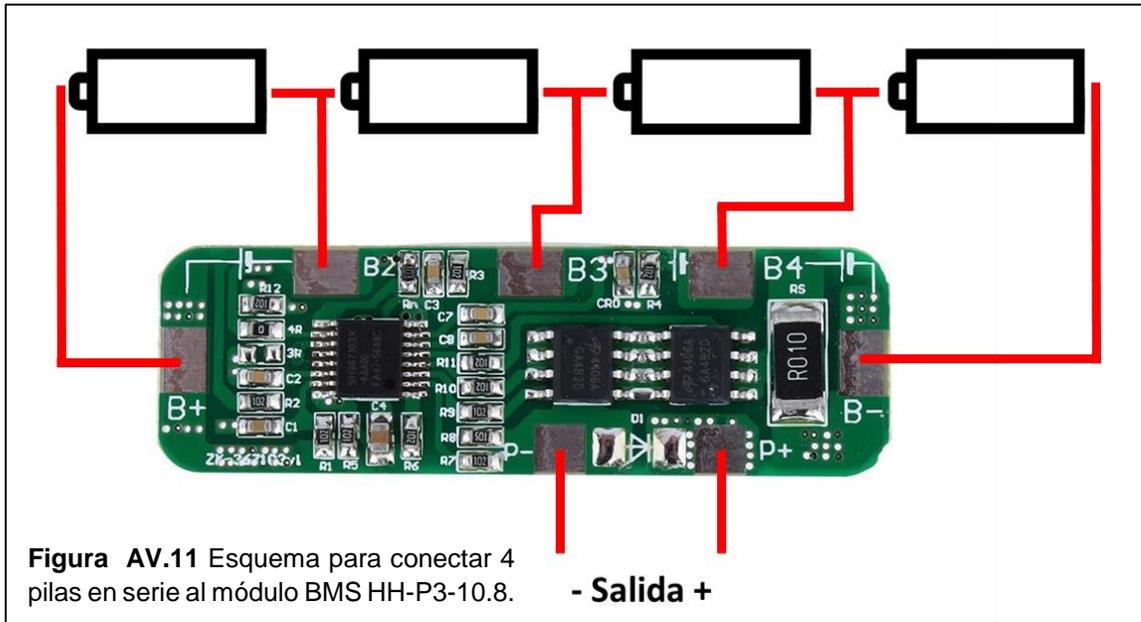
Figura AV.8 Modulo BMS HH-P3-10.8 (Detalle del chip S-8254A).



B. Conexión del módulo BMS HH-P3-10.8 con 3 pilas 18650 en serie



C. Conexión del módulo BMS HH-P3-10.8 con 4 pilas 18650 en serie



D. Asignación de pines del chip S-8254A

Pin No.	Symbol	Description
1	COP	FET gate connection pin for charge control (Nch open drain output)
2	VMP	Pin for voltage detection between VC1 and VMP (Pin for overcurrent 3 detection)
3	DOP	FET gate connection pin for discharge control FET (CMOS output)
4	VINI	Pin for voltage detection between VSS and VINI (Pin for overcurrent detection 1,2)
5	CDT	Capacitor connection pin for delay for overdischarge detection, delay for overcurrent detection 1
6	CCT	Capacitor connection pin for delay for overcharge current
7	VSS	Input pin for negative power supply, Connection pin for battery 4's negative voltage
8	NC ^{*1}	No connection
9	NC ^{*1}	No connection
10	SEL	Pin for switching 3-series or 4-series cell V _{SS} level: 3-series cell, V _{DD} level : 4-series cell
11	CTL	Control of charge FET and discharge FET
12	VC4	Connection pin for battery 3's negative voltage, Connection pin for battery 4's positive voltage
13	VC3	Connection pin for battery 2's negative voltage, Connection pin for battery 3's positive voltage
14	VC2	Connection pin for battery 1's negative voltage, Connection pin for battery 2's positive voltage
15	VC1	Connection pin for battery 1's positive voltage
16	VDD	Input pin for positive power supply, Connection pin for battery 1's positive voltage

*1. The NC pin is electrically open. The NC pin can be connected to VDD or VSS.

Tabla AV.1 Asignación de pines y funciones del chip S-8254A.

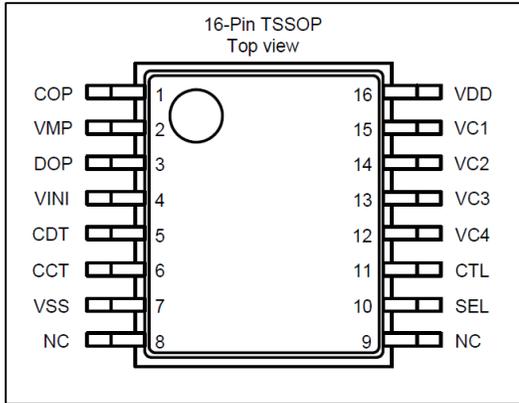
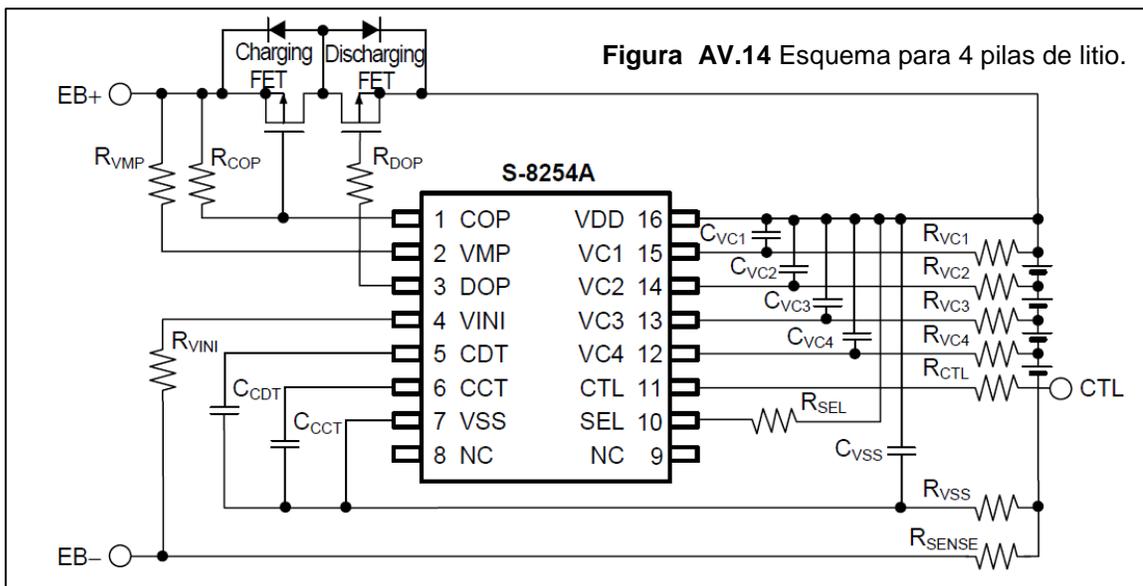
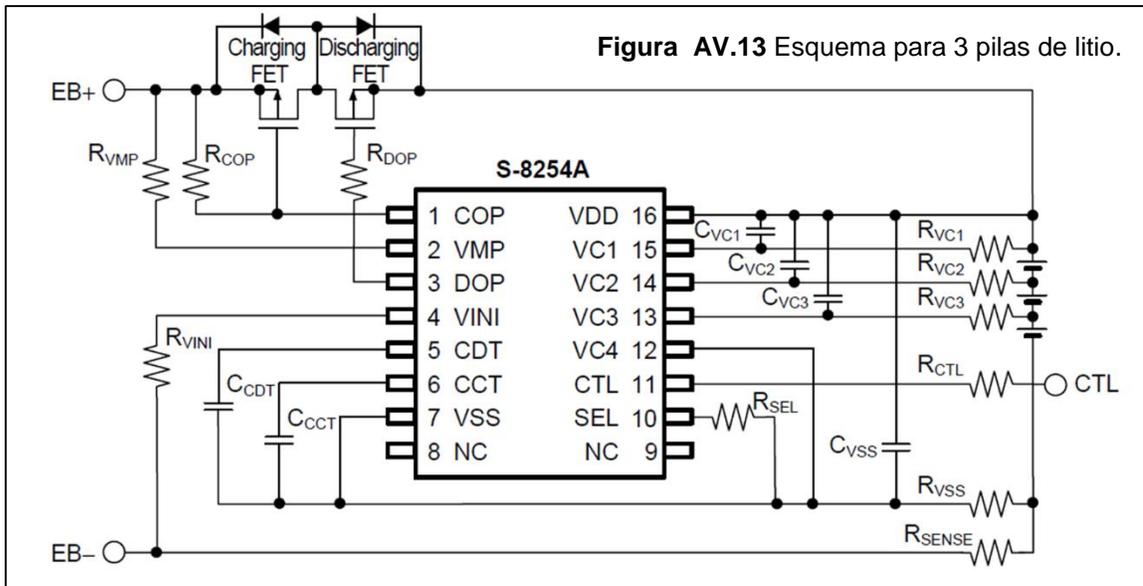


Figura AV.12 Esquema de pines para el chip S-8254A.

E. Esquemáticos del chip S-8254A para monitorear 3 pilas



F. AO4407 (MOSFETs de canal P)

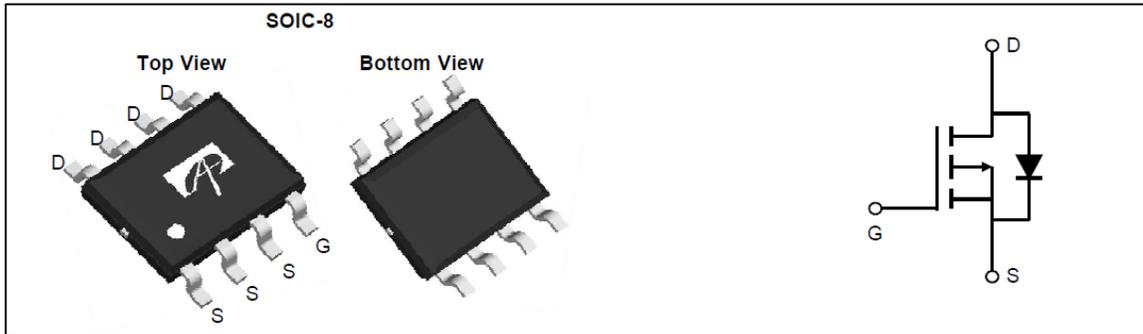


Figura AV.15 Diagrama de los chips AO4407 fabricados por “Alpha & Omega Semiconductor”.

III. SY6912A

A. Asignación de pines del circuito integrado SY6912A

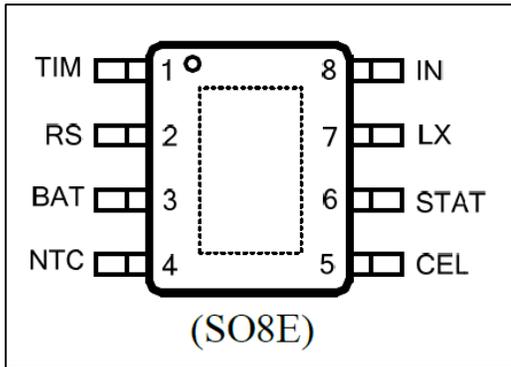


Figura AV.16 Esquema de pines para el chip SY6912A.

Top Mark: AIQxyz (device code: AIQ, x=year code, y=week code, z= lot number code)		
Name	Number	Description
RS	1	Charge current program pin. Connect a current sense resistor from RS pin to BAT pin. Average charge current is detected for both TC mode and CC mode.
BAT	2	Battery positive pin.
NTC	3	Thermal protection pin. UTP threshold is about 75% V_{IN} and OTP threshold is about 30% V_{IN} . Pull up to V_{IN} can disable charge logic and make the IC operate as normal buck regulator. Pull down to ground can shutdown the IC.
CEL	4	Pull down for single-cell, pull high for 2 cells, open for 3 cells.
STAT	5	Charge status indication pin. It is open drain output pin and can be used to turn on a LED to indicate the charge in process. When the charge is done, LED is off.
LX	6	Switch node pin. This pin connects the drains of the integrated main and synchronous power MOSFET switches. Connect to external inductor.
IN	7	Positive power supply input pin. V_{IN} ranges from 4V to 23V for normal operation. It has UVLO function and must be 300mV greater than the battery voltage to enable normal operation.
TIM	8	Charge time limit pin. Connect this pin with a capacitor to ground. Internal current source charge the capacitor for TC mode and CC mode's charge time limit. TC charge time limit is about 1/9 of CC charge time.
GND	Exposed pad	Ground pin.

Tabla AV.2 Asignación de pines y funciones del chip SY6912A.

B. Diagrama recomendado para el IC SY6912A

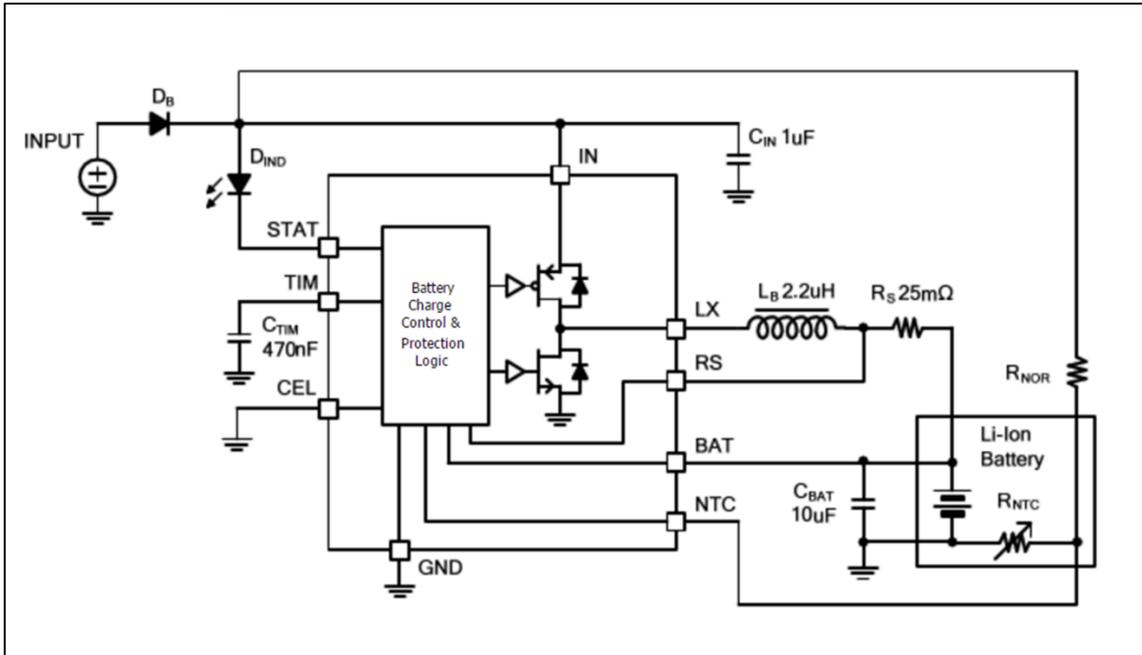


Figura AV.17 Esquemático para SY6912A.

C. Medidas físicas del chip SY6912A

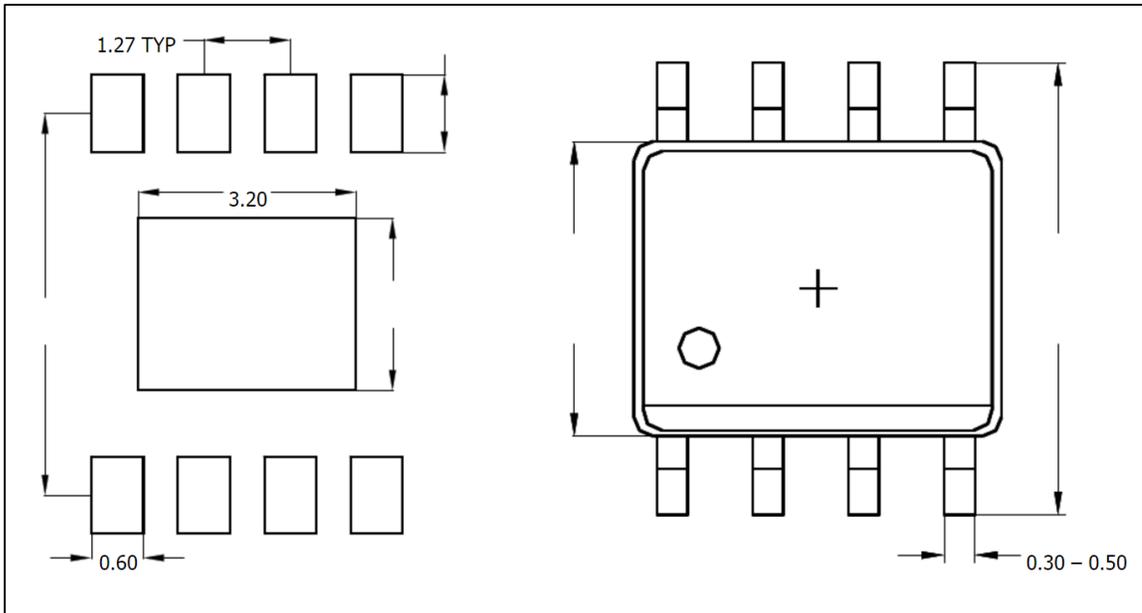


Figura AV.18 Cotas para SY6912A en milímetros (arriba y abajo).

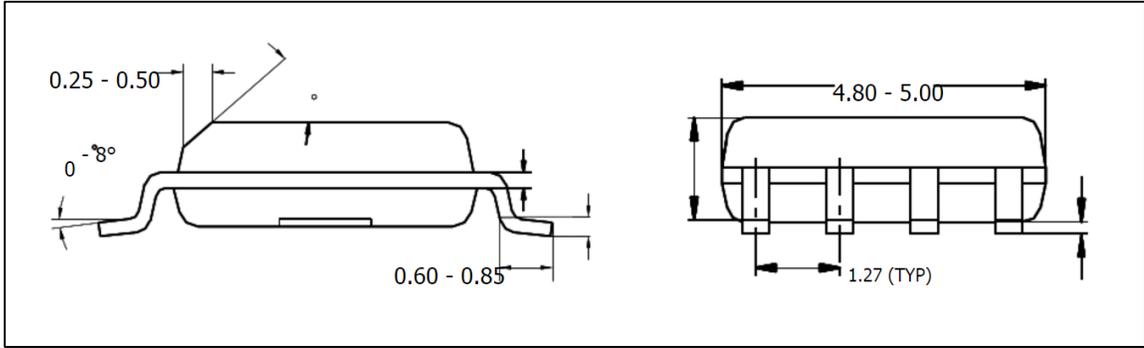


Figura AV.19 Cotas para SY6912A en milímetros (costados).

D. Detalles del chip SY6912A en forma modular

Figura AV.20 Módulo cargador basado en el chip SY6912A (frente y medidas).

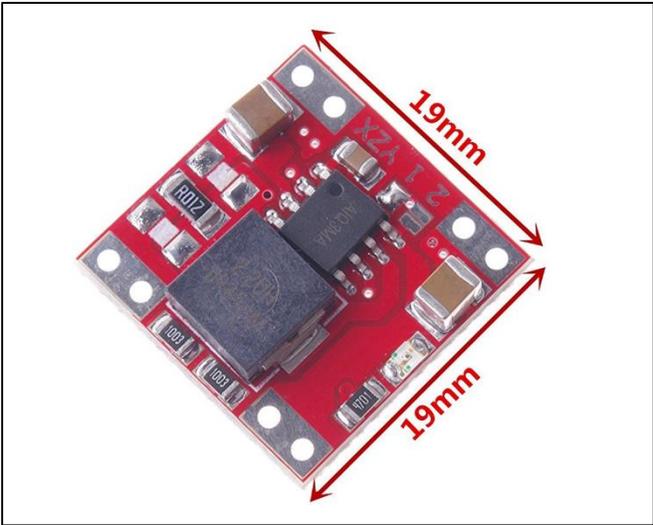
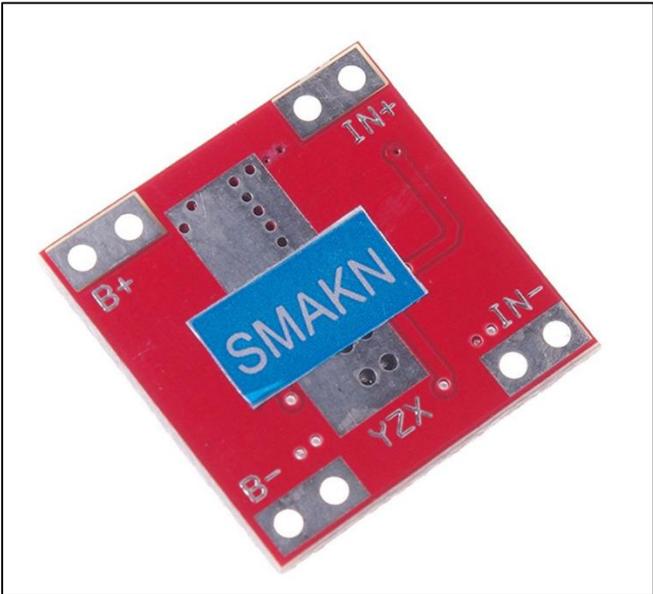


Figura AV.21 Módulo cargador basado en el chip SY6912A (parte trasera y detalles de conexión).



IV. LM7805

A. L78 fabricado por "ST Microelectronics"

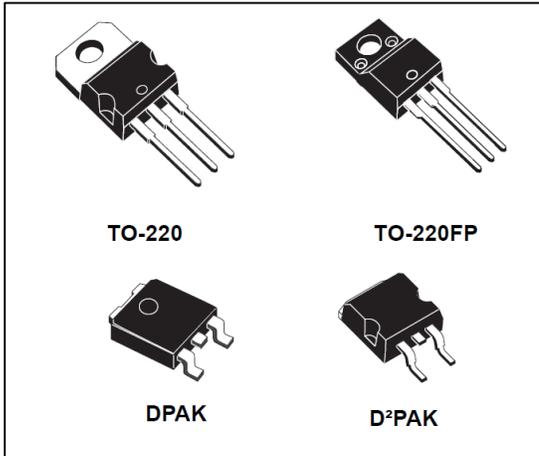


Figura AV.22 Diferentes encapsulados para el LM7805 de 1.5A fabricado por ST Microelectronics™.

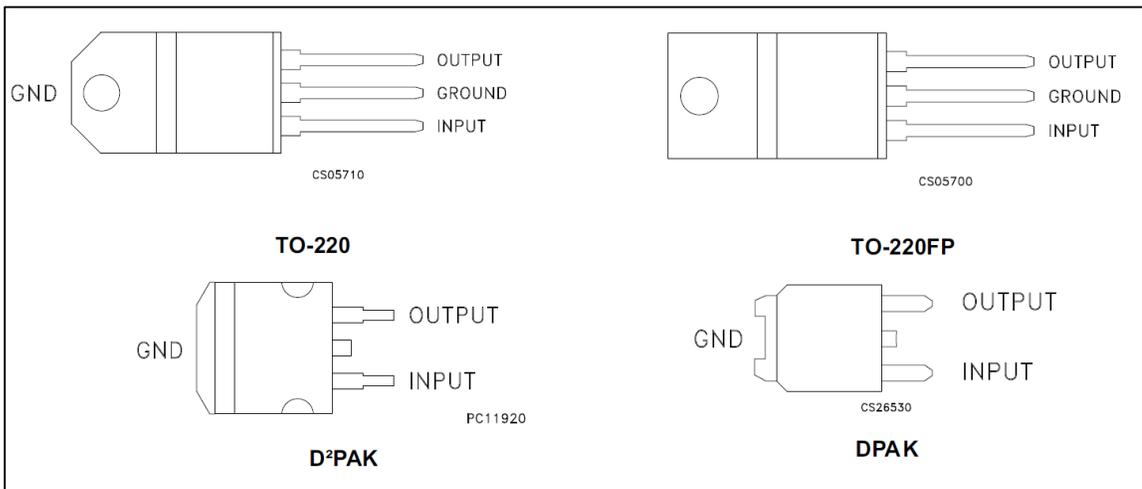


Figura AV.23 Diferentes encapsulados y asignación de pines según "ST Microelectronics".

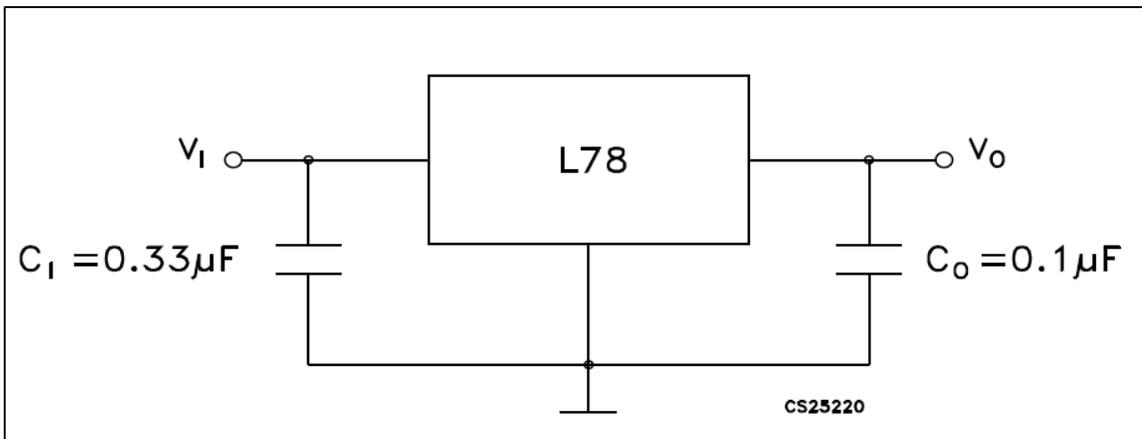


Figura AV.24 Diagrama de conexión recomendado por "ST Microelectronics".

B. μ A7805 fabricados por *Texas Instruments*

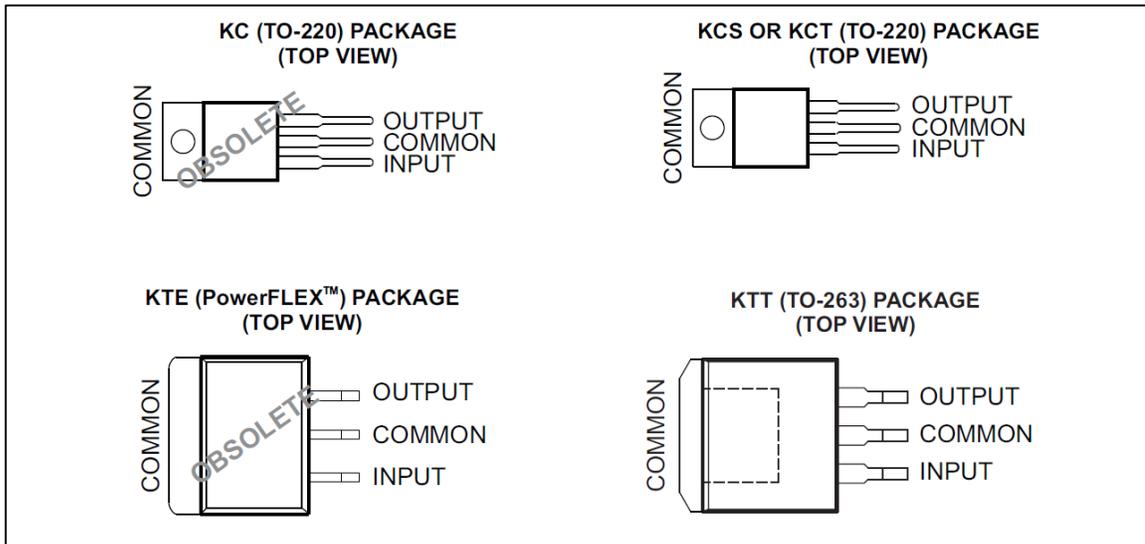


Figura AV.25 Diferentes encapsulados y asignación de pines según *Texas Instruments*.

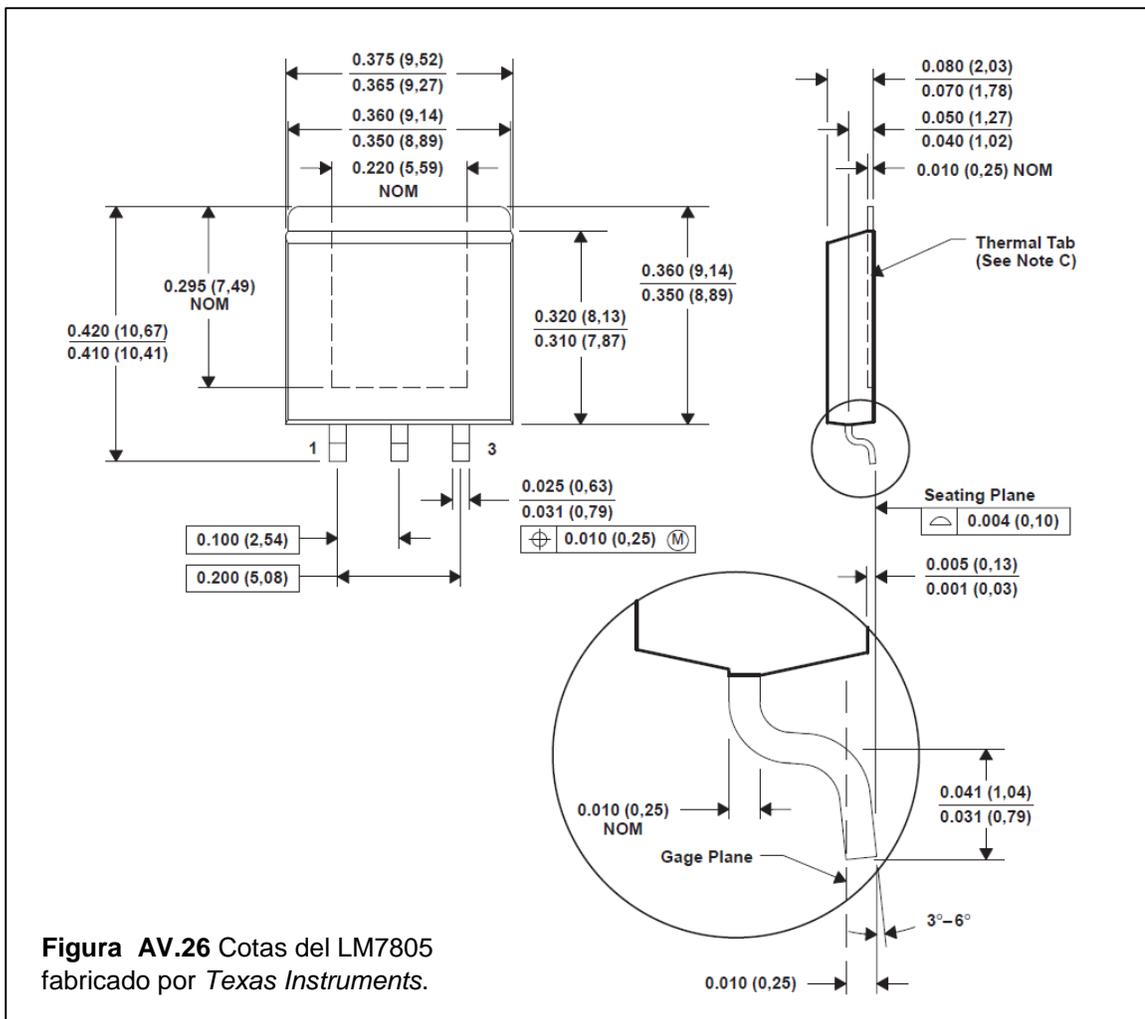


Figura AV.26 Cotas del LM7805 fabricados por *Texas Instruments*.

V. Adaptador AC/DC, μ Panel solar y selector de alimentación



Figura AV.27 Adaptador AC/DC
12V @ 1A.

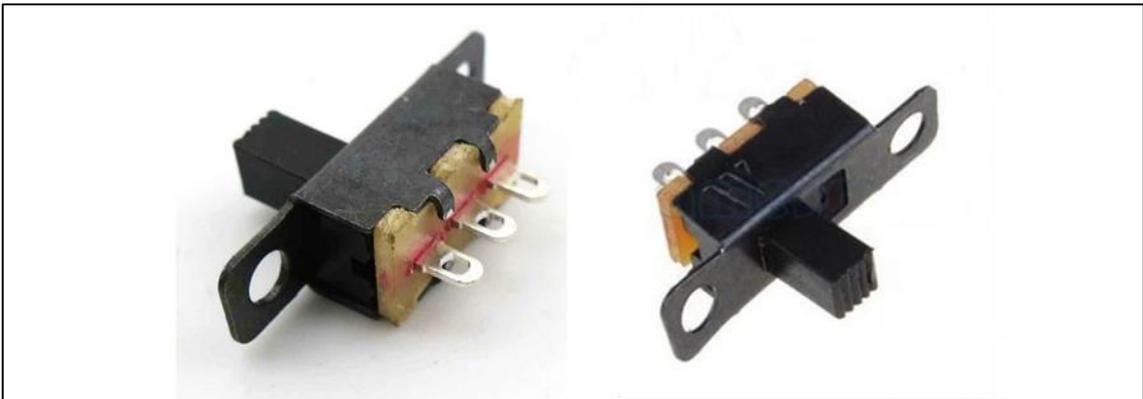


Figura AV.28 "Switch" de palanca de 2 estados para cambiar de AC/DC a modo solar.

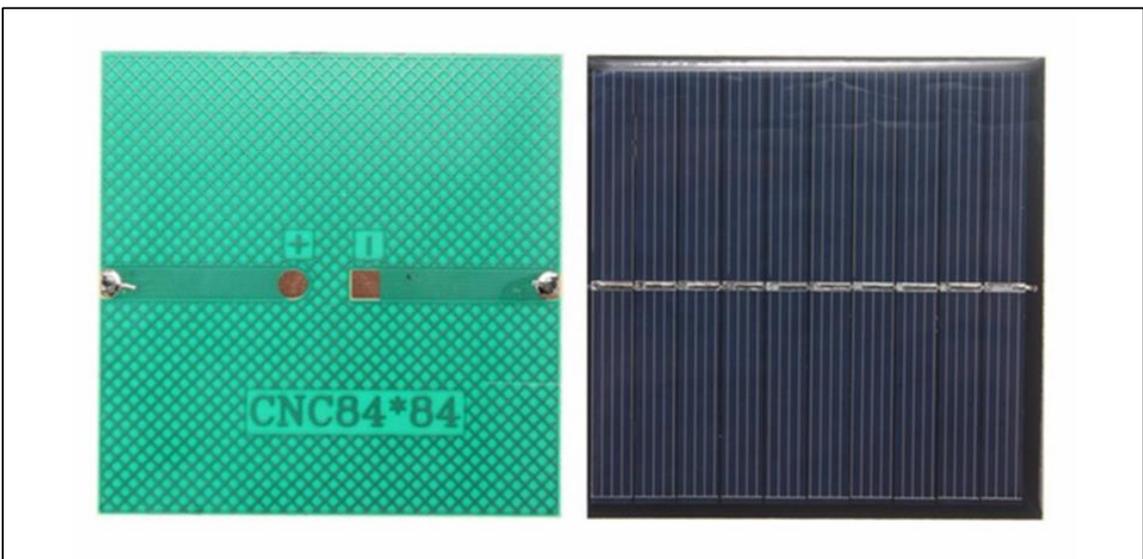


Figura AV.29 μ Panel solar 5V @ 100mA 84x84x3mm

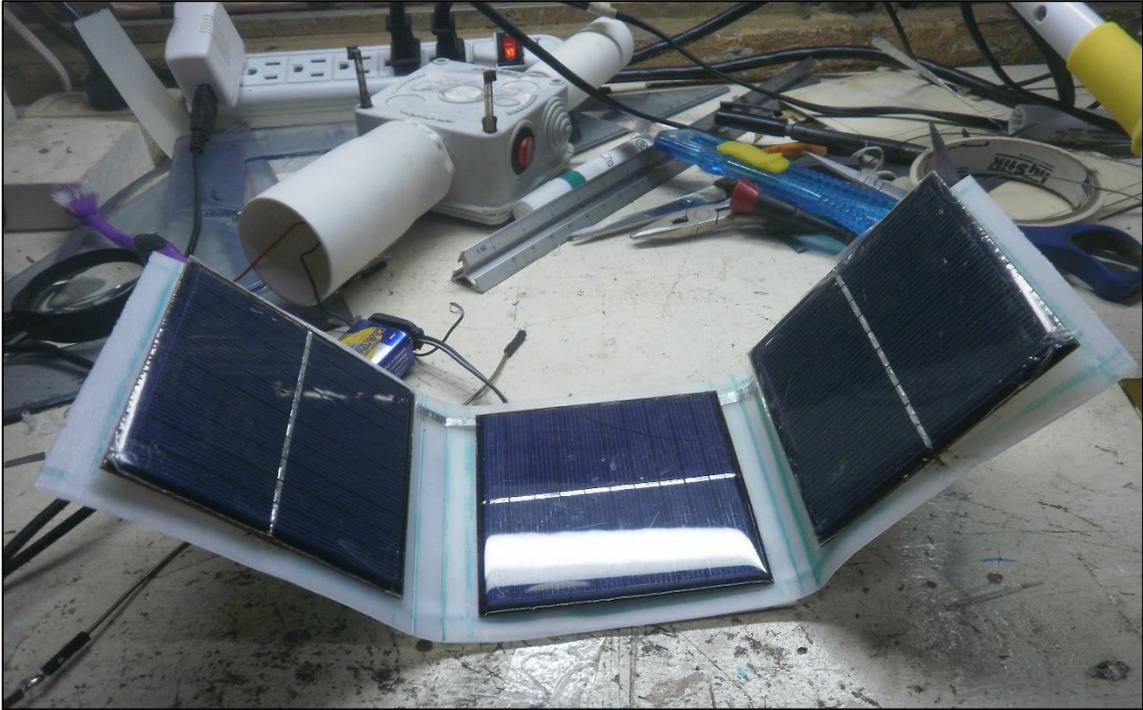


Figura AV.30 Ensamble del arreglo fotovoltaico.

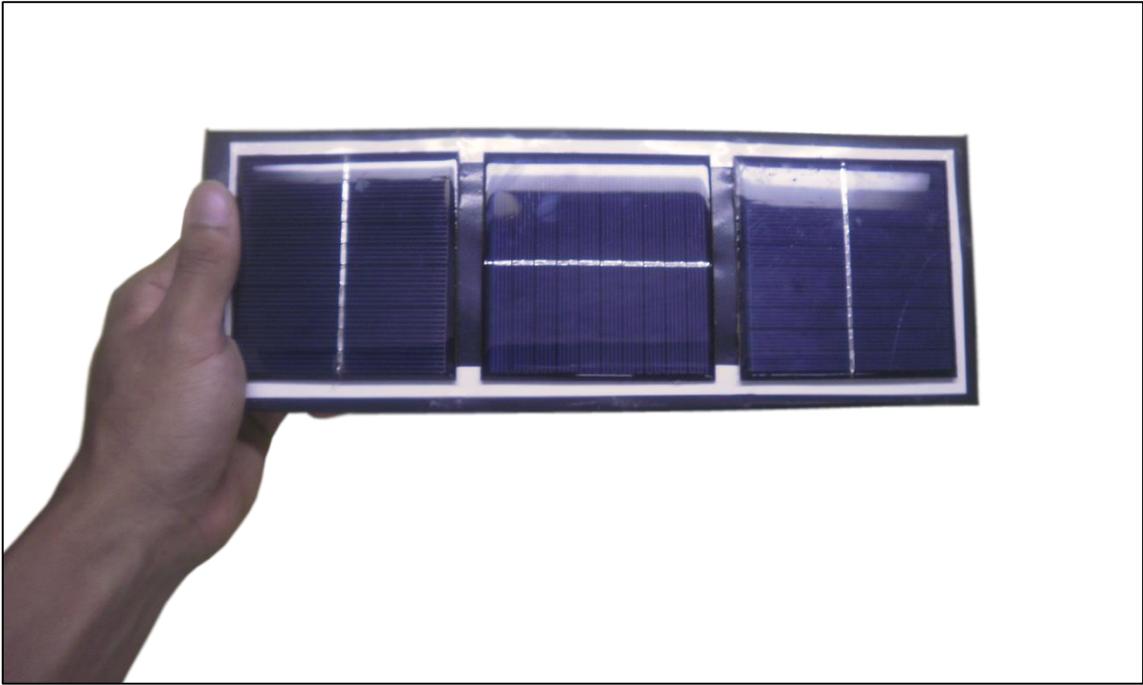


Figura AV.31 Arreglo fotovoltaico finalizado.



Figura AV.32 Arreglo fotovoltaico conectado al lector.



Figura AV.33 Arreglo fotovoltaico conectado al lector (vista inferior).

Anexo VI: Interfaz para exportar datos
 I. FTDI FT232RL

A. Módulo ensamblado por Sparkfun

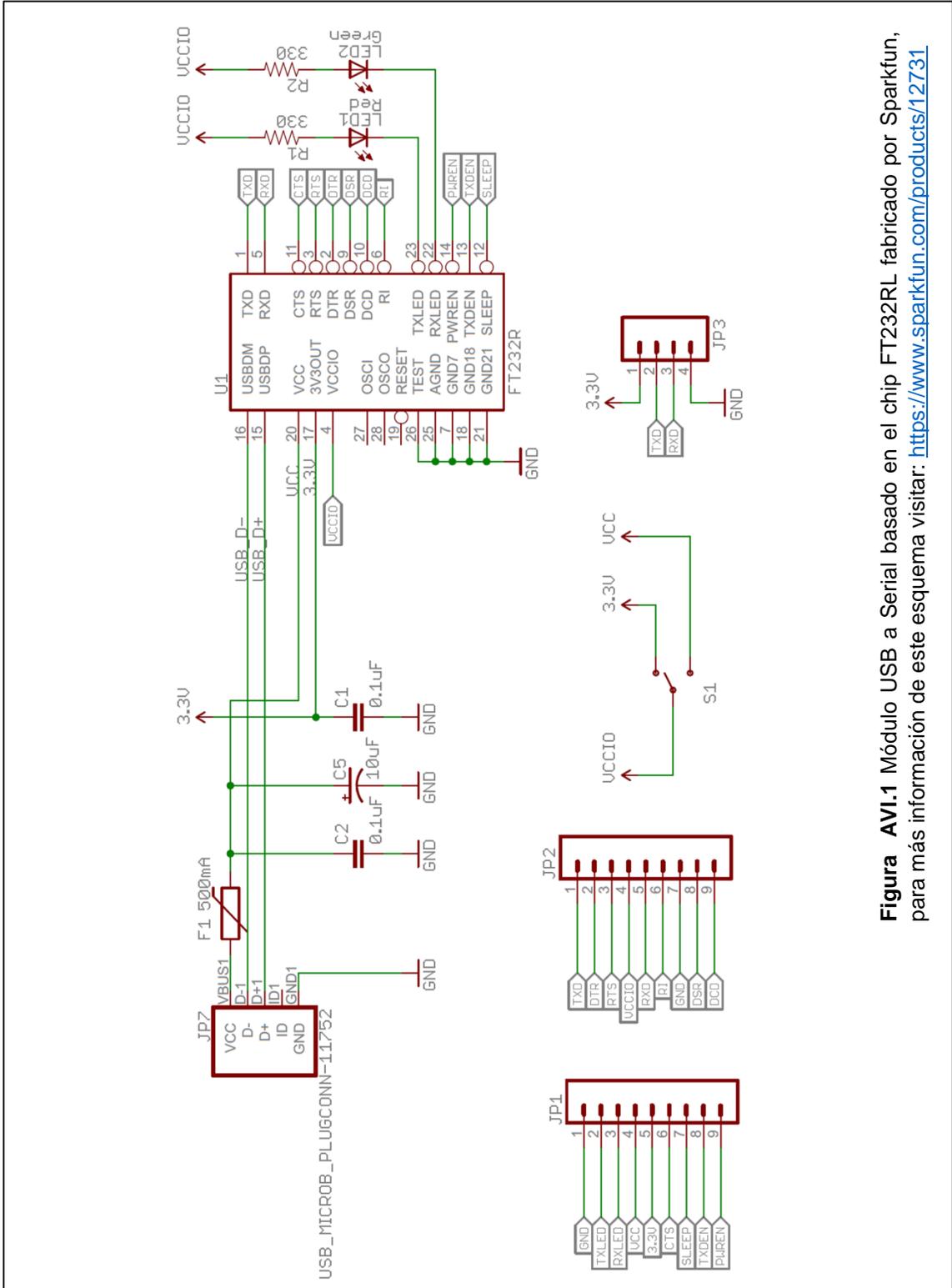


Figura AVI.1 Módulo USB a Serial basado en el chip FT232RL fabricado por Sparkfun, para más información de este esquema visitar: <https://www.sparkfun.com/products/12731>

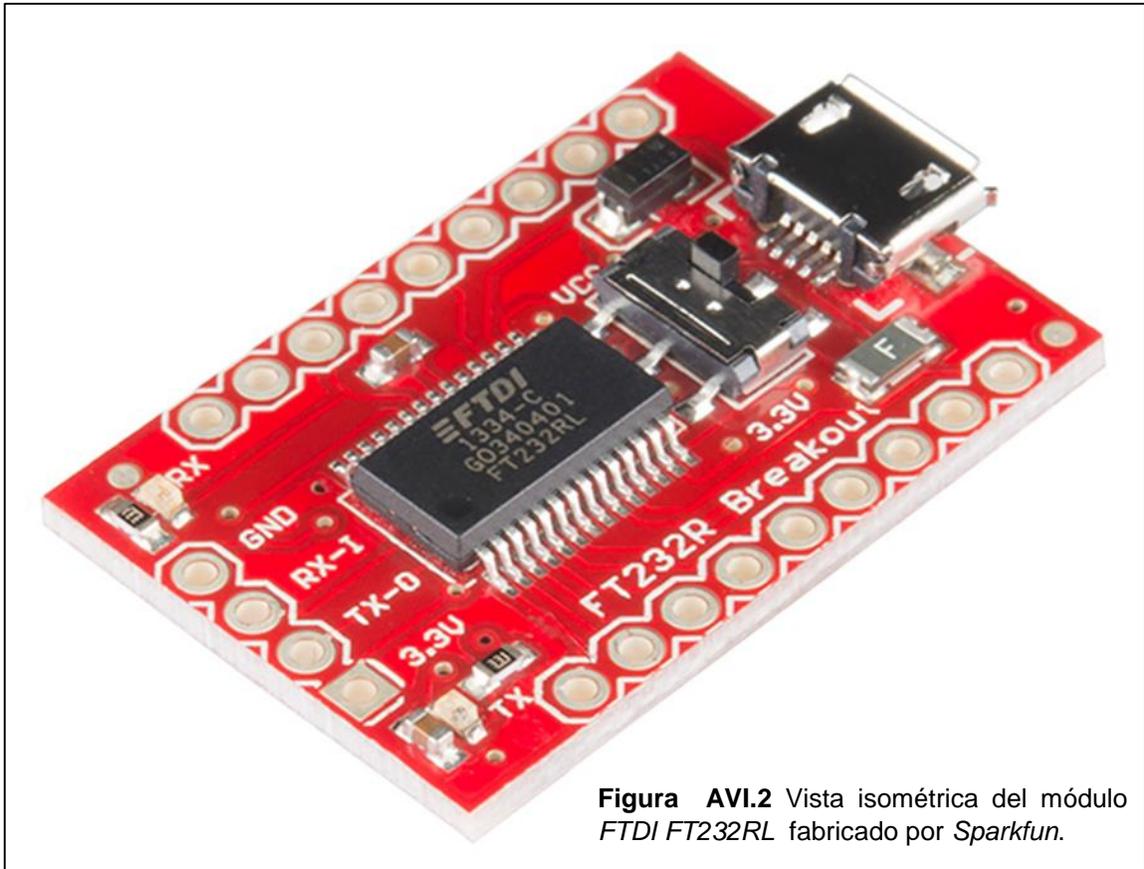


Figura AVI.2 Vista isométrica del módulo *FTDI FT232RL* fabricado por *Sparkfun*.

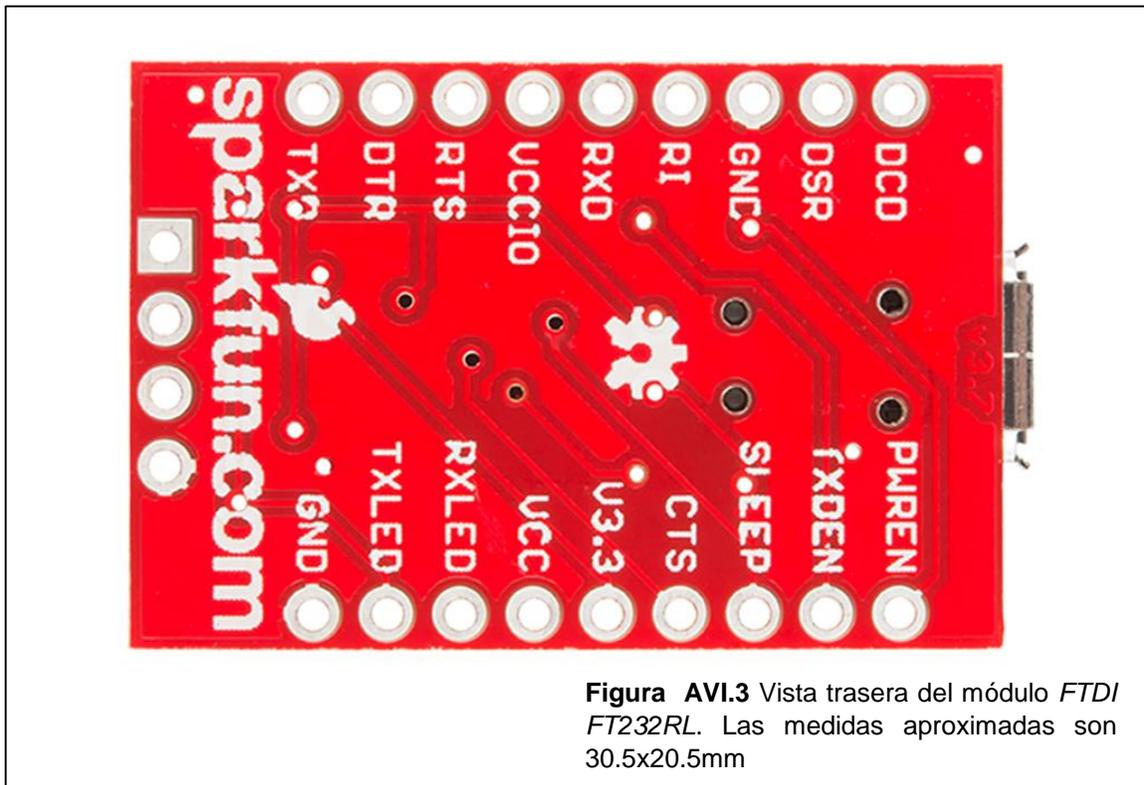


Figura AVI.3 Vista trasera del módulo *FTDI FT232RL*. Las medidas aproximadas son 30.5x20.5mm

B. Detalles del chip FTDI FT232RL

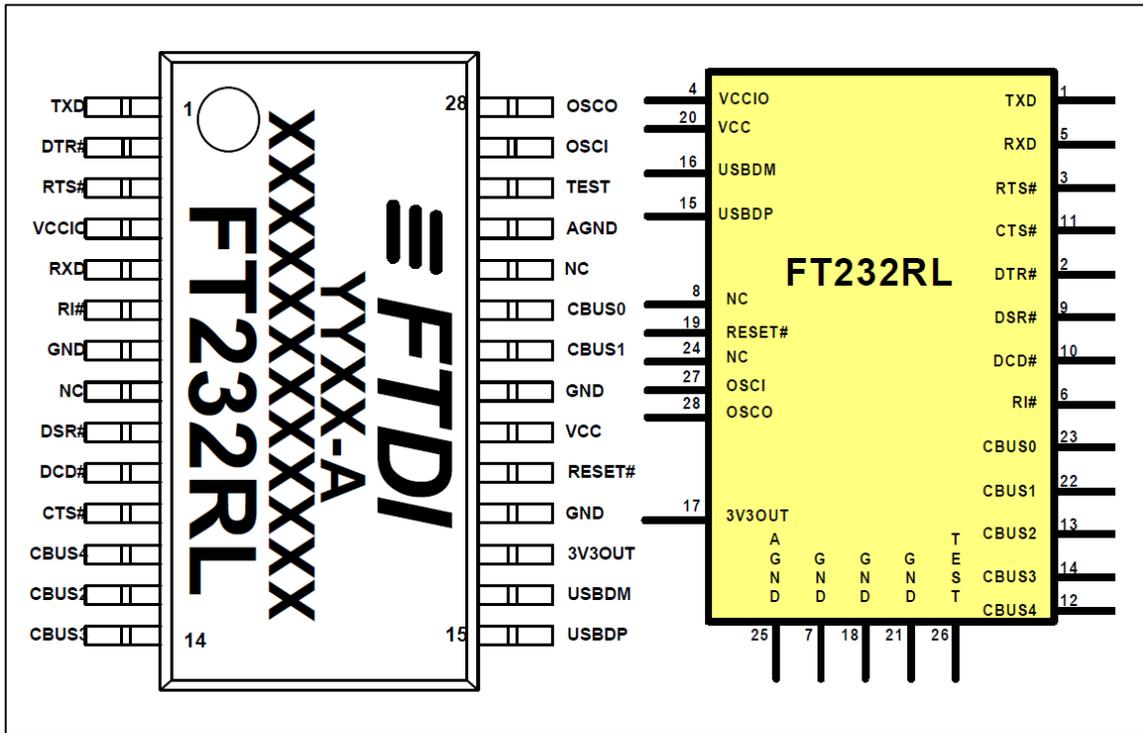


Figura AVI.4 Esquema de pines para el chip *FTDI FT232RL*.

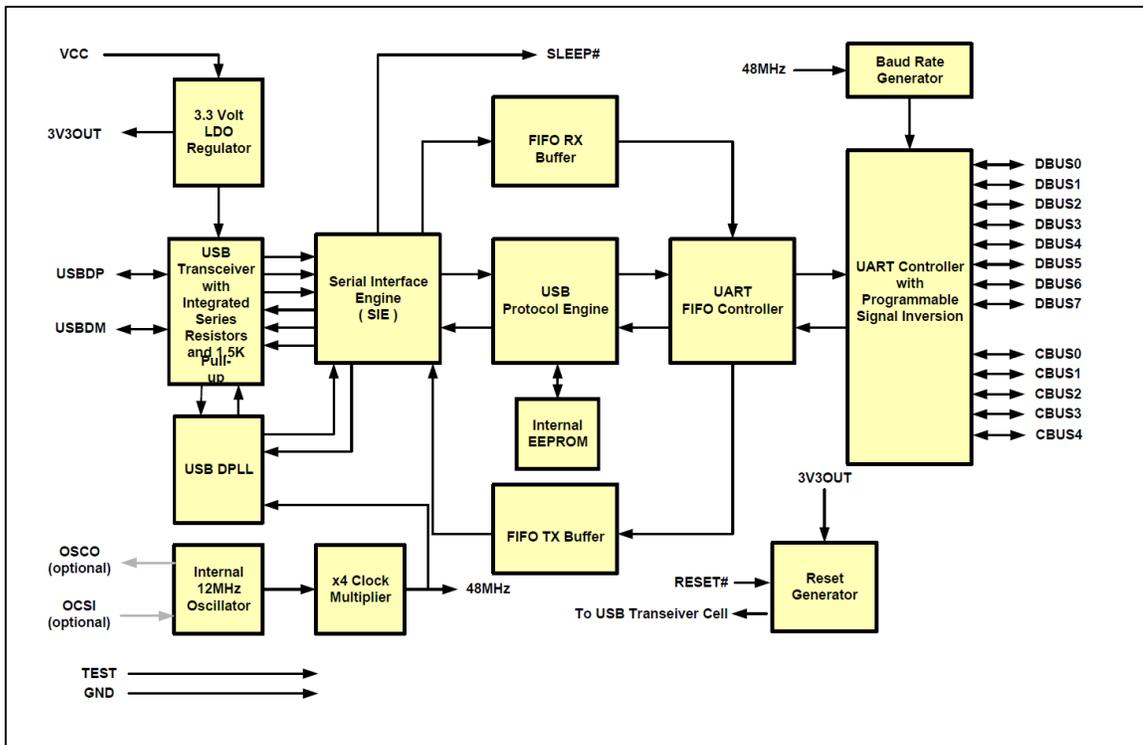


Figura AVI.5 Bloques funcionales internos del chip *FTDI FT232RL*.

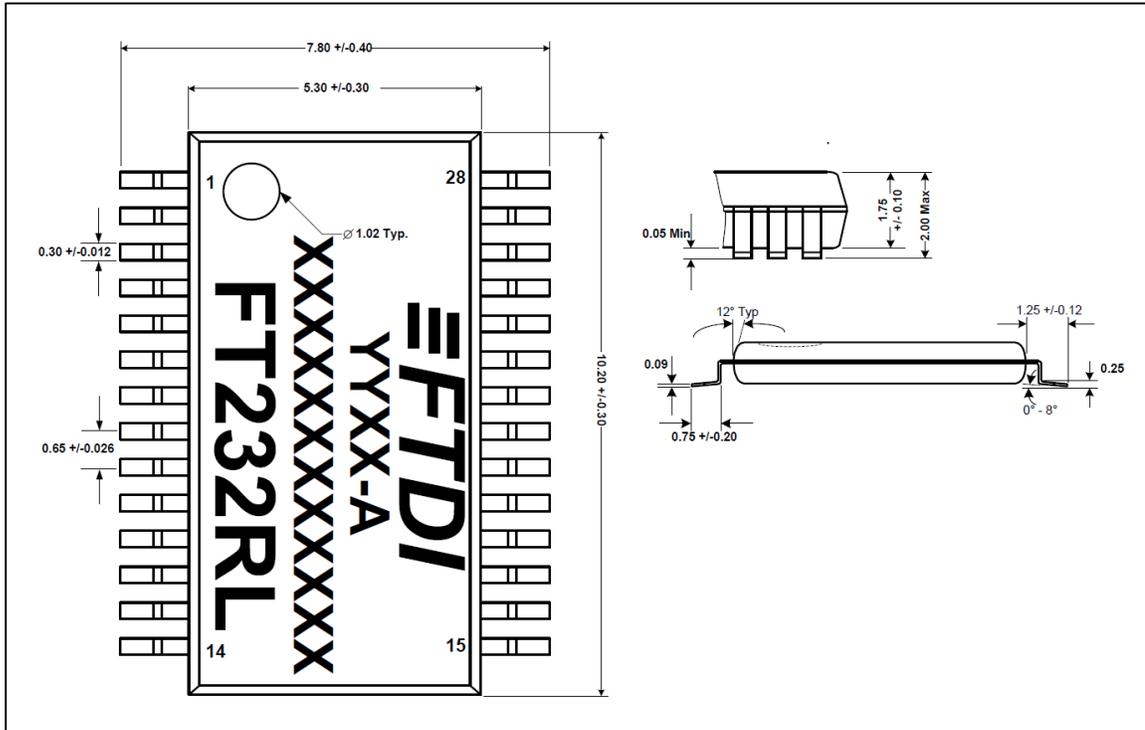


Figura AVI.6 Medidas físicas del chip *FTDI FT232RL*.

II. Bluetooth HC-05

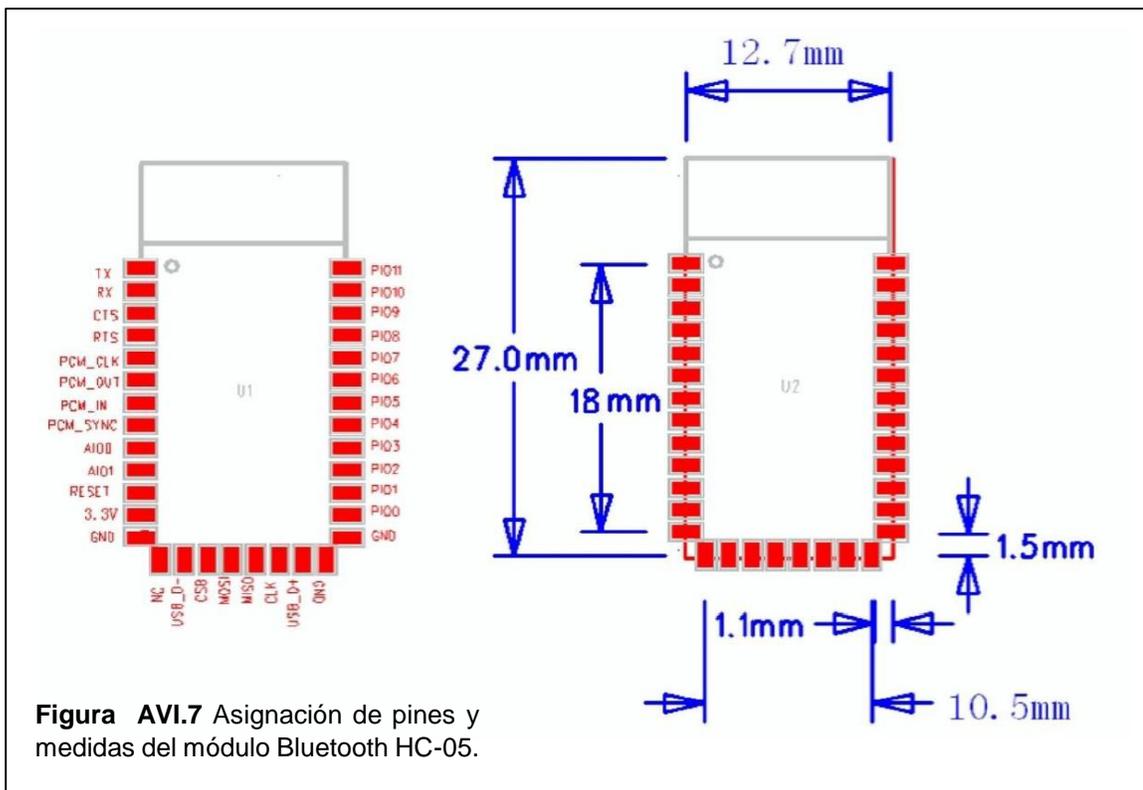


Figura AVI.7 Asignación de pines y medidas del módulo Bluetooth HC-05.

III. DS1307

A. Detalles de la forma modular

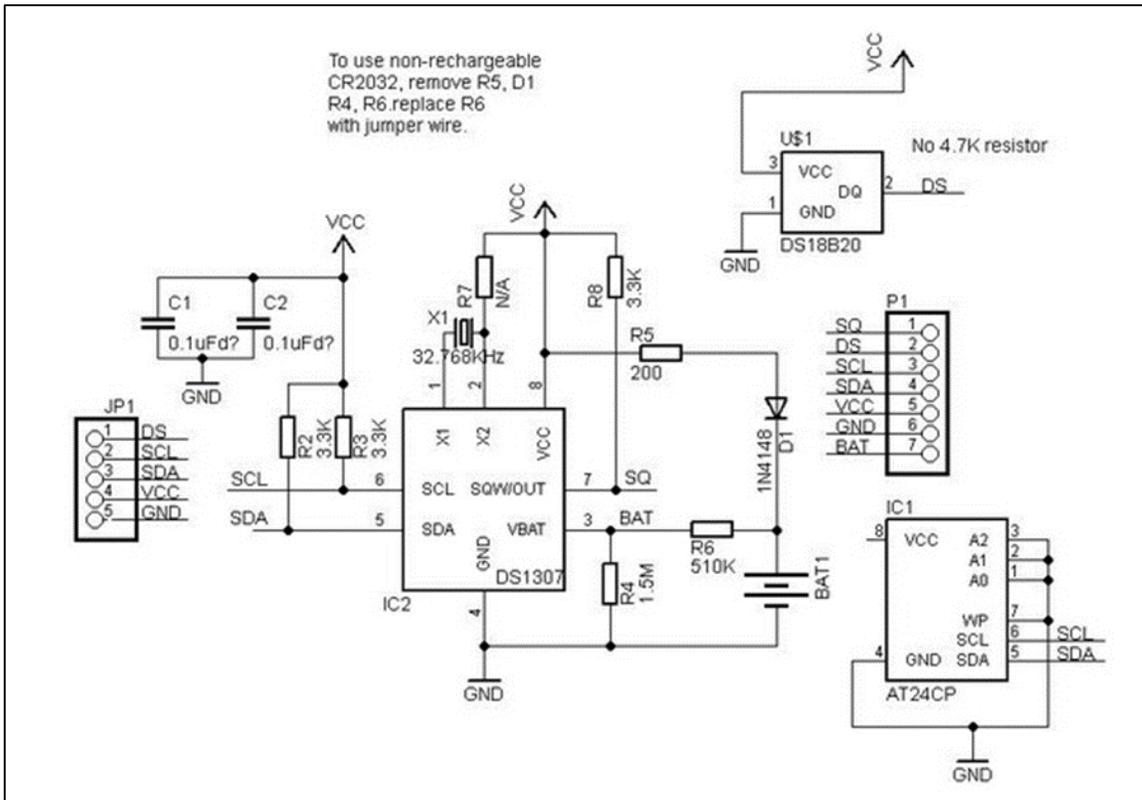


Figura AVI.8 Esquemático del módulo RTC DS1307.

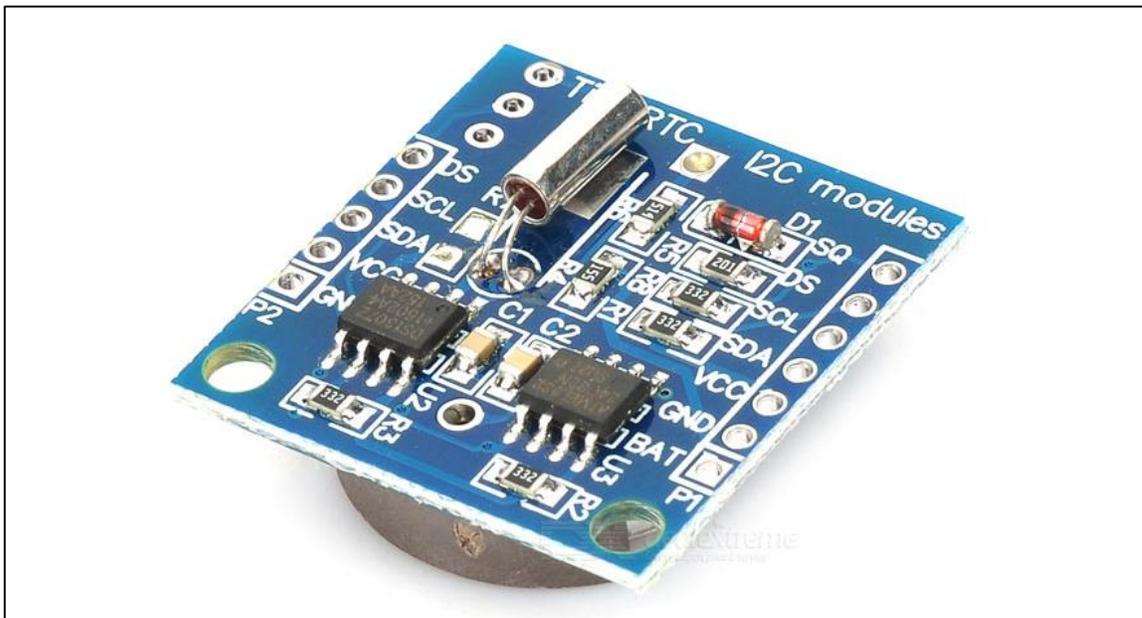


Figura AVI.9 Vista superior del módulo RTC DS1307.

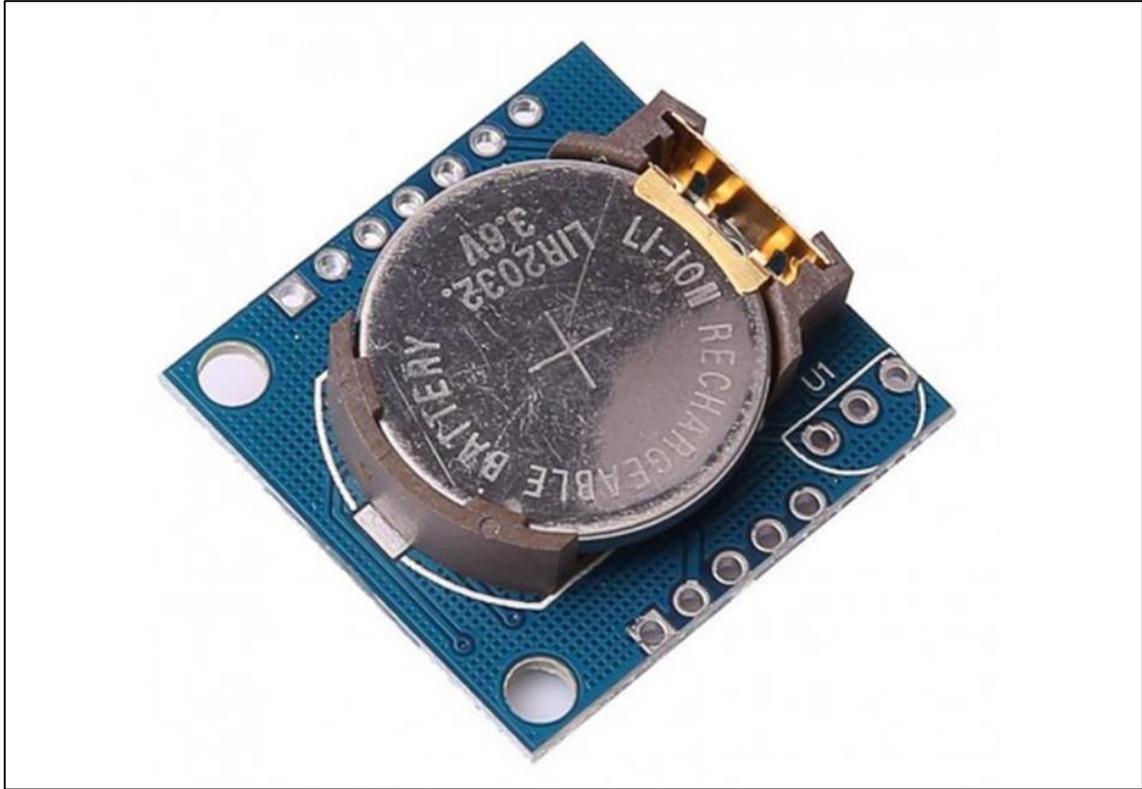


Figura AVI.10 Vista trasera del módulo RTC DS1307.

B. Detalles extraídos de la hoja de datos

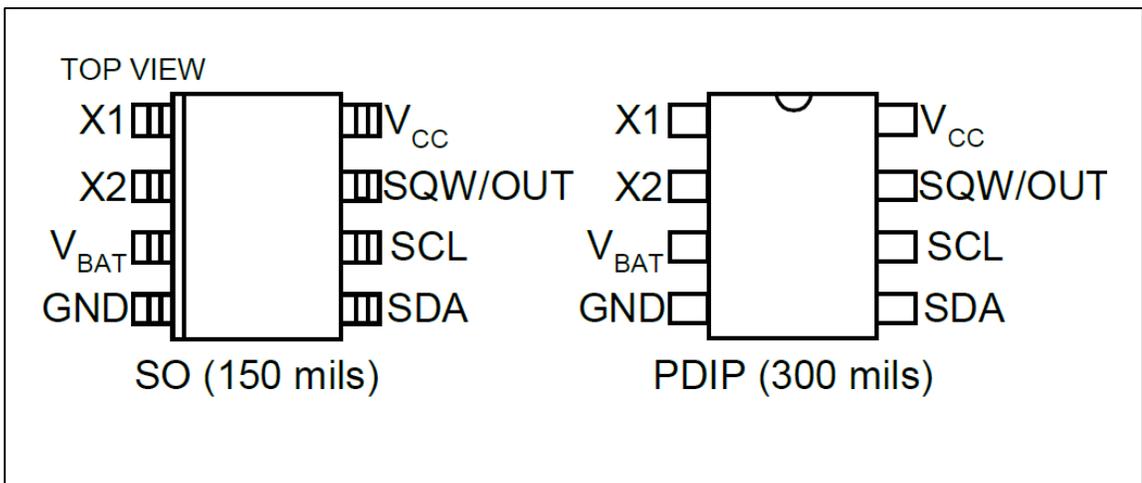


Figura AVI.11 Asignación de pines del chip DS1307, a la derecha, versión DIP y a la izquierda versión smd.

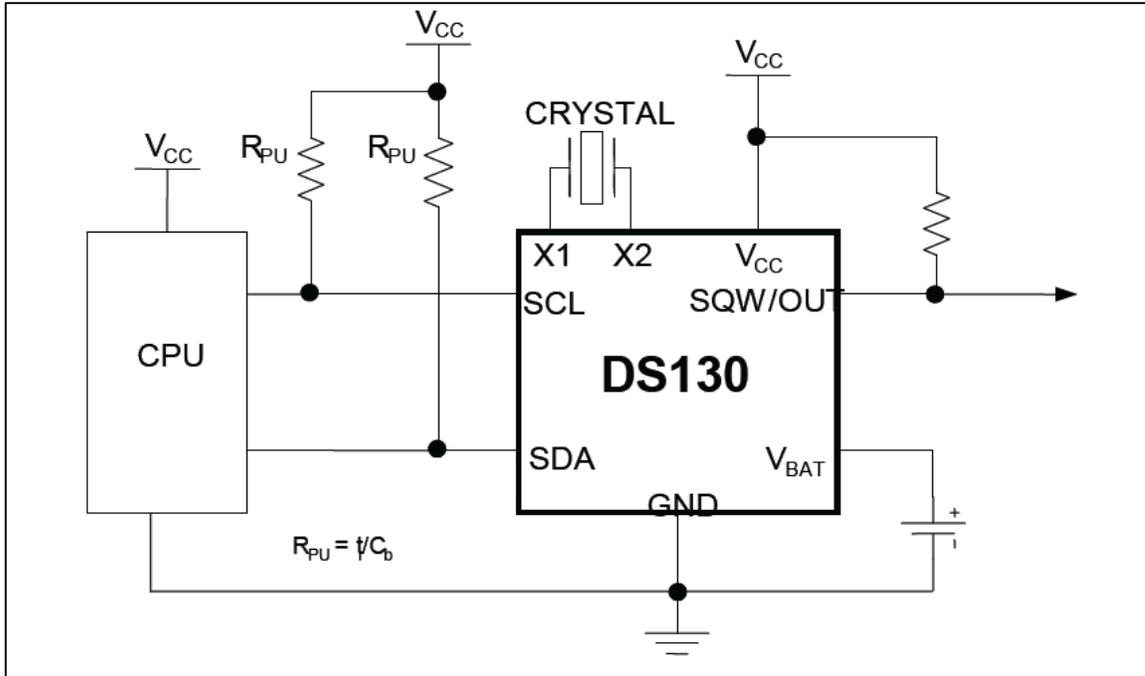


Figura AVI.12 Diagrama recomendado para el chip DS1307.

IV. AT24C32

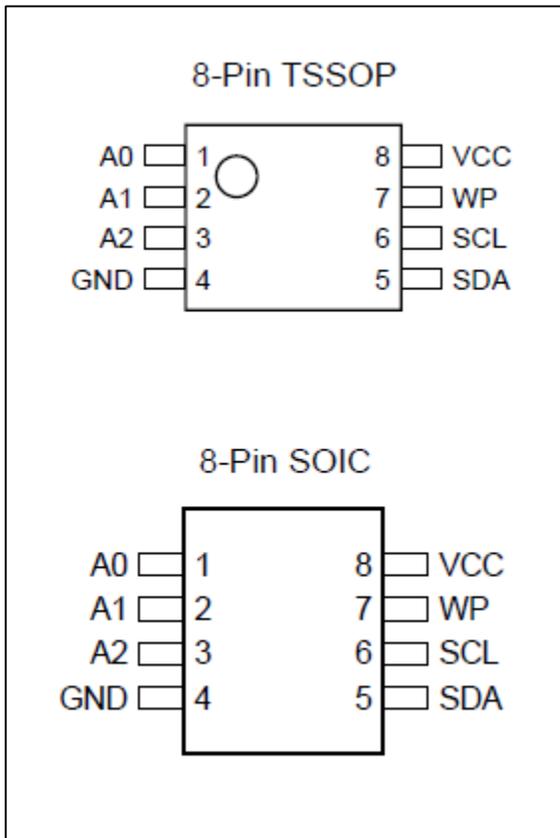


Figura AVI.13 Asignación de pines del chip EEPROM AT24C32.

Anexo VII: Diseño de la antena bobina

I. Ejemplo 1: Requerimiento de campo B

$$B_0 = \frac{V_0}{2\pi f_0 N Q S \cos \alpha} \quad (\text{AVII.1})$$

Donde los siguientes parámetros son necesarios para el cálculo:

- Tamaño de la bobina = (2x3)", 38.71cm² (tamaño tarjeta de crédito)
- Frecuencia = 125kHz
- Numero de vueltas = 100
- Q de la antena bobina = 15
- AC voltaje en para encender el tag = 7V
- Cos α = 1 (dirección normal; α = 0)

$$B_0 = \frac{7 (2.4)}{2\pi (125\text{KHz})(100)(15) (38.71 \text{ cm}^2)}$$

$$B_0 = 1.5 \mu\text{Wb}/\text{m}^2$$

II. Ejemplo 2: Número de vueltas y corriente (amperios-vuelta) de la bobina lectora

Asumiendo que el lector debería de proveer un rango de lectura de 10 pulgadas (25.4cm) con la misma etiqueta del **Ejemplo 1**, el requerimiento para la corriente y número de vueltas (amperios-vueltas) de una bobina lectora que tiene 8cm de radio puede ser calculado por la ecuación **(4.25)**:

$$\begin{aligned} (NI) &= \frac{2B_z(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}{\mu a^2} && (\text{AVII.2}) \\ &= \frac{2 (1.5 \times 10^{-6})(0.08^2 + 0.254^2)^{\frac{3}{2}}}{(4\pi \times 10^{-7})(0.08^2)} \\ &= 7.04 \text{ (ampere - turns)} \end{aligned}$$

Este es un número alcanzable. Pero sin embargo, si deseáramos tener un rango de lectura de 20 pulgadas (50.8cms), se encontrara que NI incrementa a 48.5 Amperios-Vueltas. A 25.2 pulgadas (64cm), este excede los 100 Amperios-Vueltas.

III. Carta de medidas AWG

Tabla AVII.1 Medidas AWG para alambre magnético esmaltado y sin esmaltar.

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross Section (mils)
1	289.3	—	0.126	83690
2	287.6	—	0.156	66360
3	229.4	—	0.197	52620
4	204.3	—	0.249	41740
5	181.9	—	0.313	33090
6	162.0	—	0.395	26240
7	166.3	—	0.498	20820
8	128.5	131.6	0.628	16510
9	114.4	116.3	0.793	13090
10	101.9	106.2	0.999	10380
11	90.7	93.5	1.26	8230
12	80.8	83.3	1.59	6530
13	72.0	74.1	2.00	5180
14	64.1	66.7	2.52	4110
15	57.1	59.5	3.18	3260
16	50.8	52.9	4.02	2580
17	45.3	47.2	5.05	2060
18	40.3	42.4	6.39	1620
19	35.9	37.9	8.05	1290
20	32.0	34.0	10.1	1020
21	28.5	30.2	12.8	812
22	25.3	28.0	16.2	640
23	22.6	24.2	20.3	511
24	20.1	21.6	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320

Note: 1 mil = 2.54 x 10⁻³ cm

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross Section (mils)
26	15.9	17.2	41.0	253
27	14.2	15.4	51.4	202
28	12.6	13.8	65.3	159
29	11.3	12.3	81.2	123
30	10.0	11.0	106.0	100
31	8.9	9.9	131	79.2
32	8.0	8.8	162	64.0
33	7.1	7.9	206	50.4
34	6.3	7.0	261	39.7
35	5.6	6.3	331	31.4
36	5.0	5.7	415	25.0
37	4.5	5.1	512	20.2
38	4.0	4.5	648	16.0
39	3.5	4.0	847	12.2
40	3.1	3.5	1080	9.61
41	2.8	3.1	1320	7.84
42	2.5	2.8	1660	6.25
43	2.2	2.5	2140	4.84
44	2.0	2.3	2590	4.00
45	1.76	1.9	3350	3.10
46	1.57	1.7	4210	2.46
47	1.40	1.6	5290	1.96
48	1.24	1.4	6750	1.54
49	1.11	1.3	8420	1.23
50	0.99	1.1	10600	0.98

Note: 1 mil = 2.54 x 10⁻³ cm

IV. Ejemplo 3:

La profundidad de un alambre de cobre a 125kHz puede ser calculada por:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f (4\pi \times 10^{-7}) (5.8 \times 10^{-7})}} \quad (\text{AVII.3})$$

$$= \frac{0.06608}{\sqrt{f}} \quad (m)$$

$$= 0.187 \quad (mm)$$

V. Ejemplo 4: Cálculo de la inductancia para un cable recto

La inductancia de un alambre de 10 pies (304.8cm) de largo y de 2mm de diámetro es calculado como sigue:

$$\begin{aligned} L &= 0.002 (304.8) \left[\ln \frac{2(304.8)}{0.1} - \frac{3}{4} \right] (\mu H) && \text{(AVII.4)} \\ &= 0.60967 (7.965) \\ &= 4.855 (\mu H) \end{aligned}$$

VI. Ejemplo 5: Número de vueltas

La ecuación (4.39) resulta en $N=200$ vueltas para $L=3.87\text{mH}$ con la siguiente geometría de bobina:

$$a = 1 \text{ pulgada (2.54cm)}$$

$$h = 0.05 \text{ cm}$$

$$b = 0.5 \text{ cm}$$

Para formar un circuito resonante para 125kHz, se necesita un capacitor a través del inductor. El capacitor resonador puede ser calculado por medio de:

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{(2\pi f)^2 L} && \text{(AVII.5)} \\ &= \frac{1}{(4\pi^2)(125 \times 10^3)^2 (3.87 \times 10^{-3})} \\ &= 419 \text{ pF} \end{aligned}$$

VII. Ejemplo 6: Parámetros de circuitos

Si la resistencia en serie del circuito es de 15Ω , entonces los valores L y C que forman un circuito resonante de 125kHz con un $Q=8$ son:

$$X_L = Qr_s = 120\Omega \quad \text{(AVII.6)}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{120}{2\pi(125\text{KHz})} = 153 (\mu H)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_L} = \frac{1}{2\pi(125\text{KHz})(120)} = 10.6 (nF)$$

VIII. Ejemplo 7: Cálculo del rango de lectura

Consideremos el diseñar una bobina lectora con un $L = 153\mu\text{H}$, **diámetro = 10cm** y un grosor de devanado y altura pequeños en comparación con el diámetro.

El número de vueltas para la inductancia puede ser calculado a partir de la **Ecuación 21**, resultando en **24 vueltas**.

Si el flujo de corriente a través de la bobina es de **0.5A**, los Amperios-Vueltas se convierten en **12**. Por ello, el rango de lectura para esta bobina será aproximadamente **20cm** con una etiqueta del tamaño de una tarjeta de crédito.

IX. Detalles de bobinas antenas comercializadas por “Priority 1 Design”

Tabla AVII.2 Parámetros de antenas bobinas fabricadas por P1D.

Modelo #	L (mH)	Resistencia DC (Ω)	Diámetro del alambre (mm)	Diametro interno (mm)	Diametro externo (mm)	Grosor (mm)
RFIDCOIL-22A	2.8	53.8 ± 1	0.09	19	21.8 ± 0.2	2.5 ± 0.3
RFIDCOIL-49A	2.8	63.0 ± 1	0.09	46 ± 0.5	49 ± 0.5	1.5 ± 0.2
RFIDCOIL-160A	2.7	19.0 ± 1	0.2	160 ± 0.5	163.3 ± 0.5	2.3 ± 0.4

X. Antenas fabricadas



Figura AVII.1 Antenas fabricadas.

Tabla AVII.3 Parámetros de antenas bobinas fabricadas según **Figura AVII.1**.

Modelo #	L (uH)	Resistencia DC (Ω)	AWG #	Diametro interno (mm)	Diametro externo (mm)	Grosor (mm)
1	417	4	33	4	5	30
2	406	3	33	9	11	20
3	401	6.5	26	28	35	4
4	409	6.5	26	28	35	4
5	417	6.6	26	28	35	4
6	408	4	26	16	20	42
7	260	6	26	18	23	27
8	391.8	8	33	120	122	3

XI. Mediciones con el osciloscopio

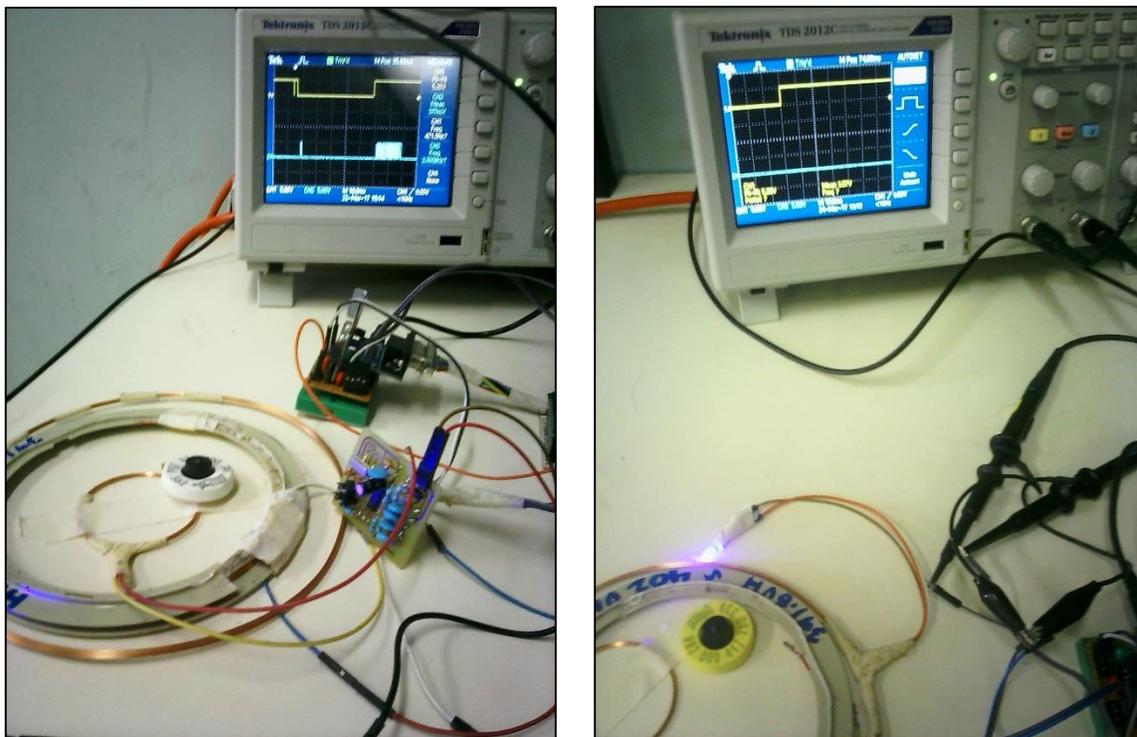


Figura AVII.2 Verificación y sintonización de las antenas con ayuda de un osciloscopio.

Figura AVII.3 Medida de la frecuencia de resonancia en 134.45kHz.



Figura AVII.4 Sincronización del campo de activación del lector para detectar HDX y FDX-B sin conflictos.

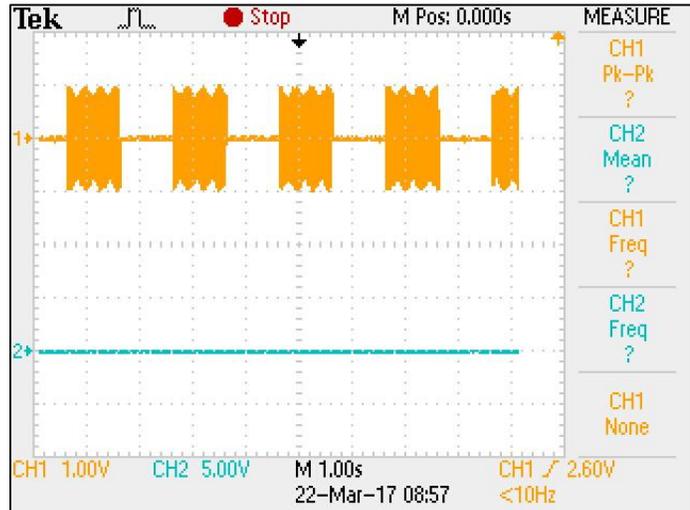
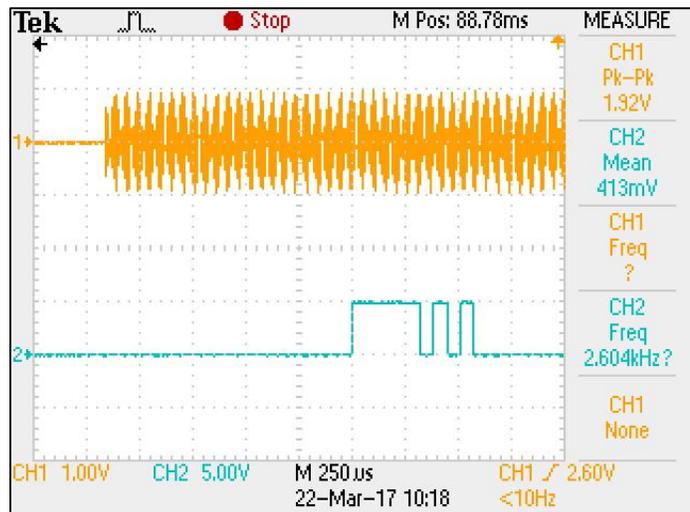


Figura AVII.5 Portadora e inicio de la trama de datos en la salida del módulo *RFIDRW-E-TTL*.



XII. Medidor de inductancia y capacitancia LC100-A



Figura AVII.6 Kit LC100-A para medir inductancia y capacitancia. Exterior y ensamblado.

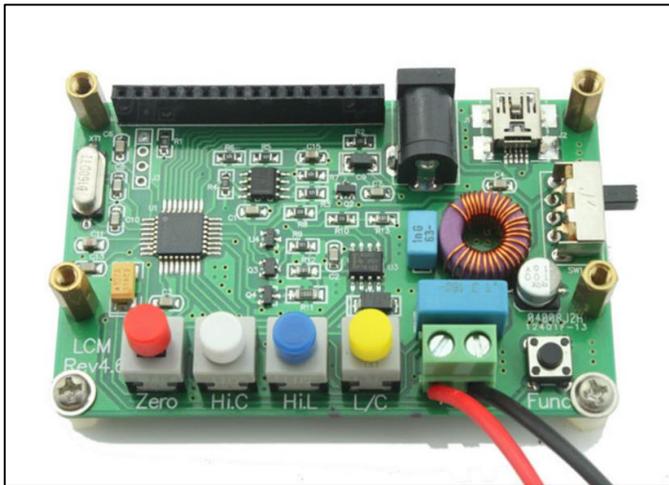


Figura AVII.7 Kit LC100-A para medir inductancia y capacitancia. Interior bajo el display.

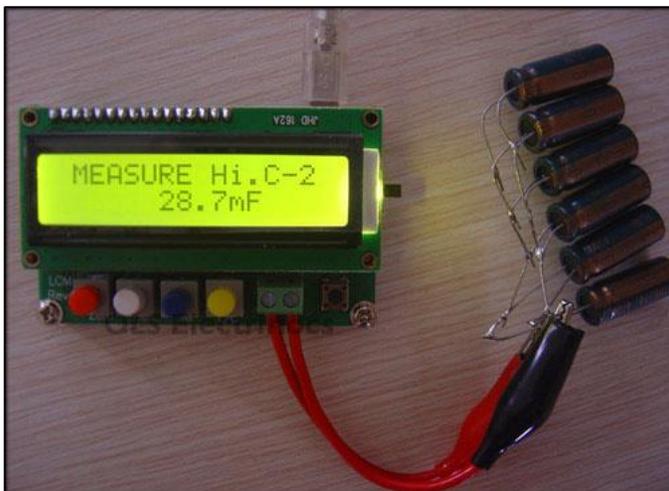


Figura AVII.8 Kit LC100-A en operación.

XIII. Posibles casos de polarización tomados en cuenta

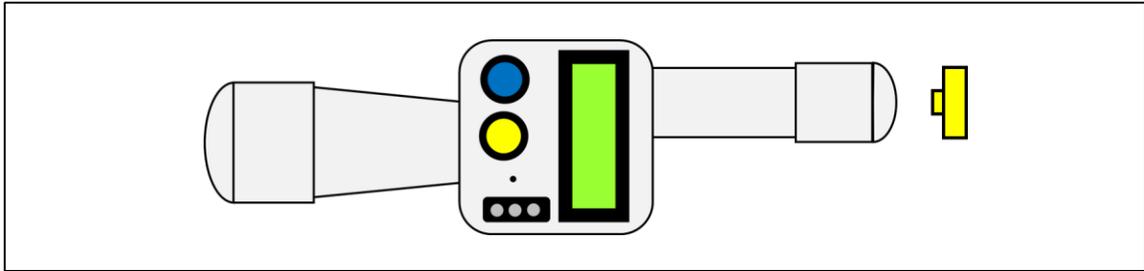


Figura AVII.9 Caso de polarización #1, arete RFID en paralelo con antena (Caso 1).

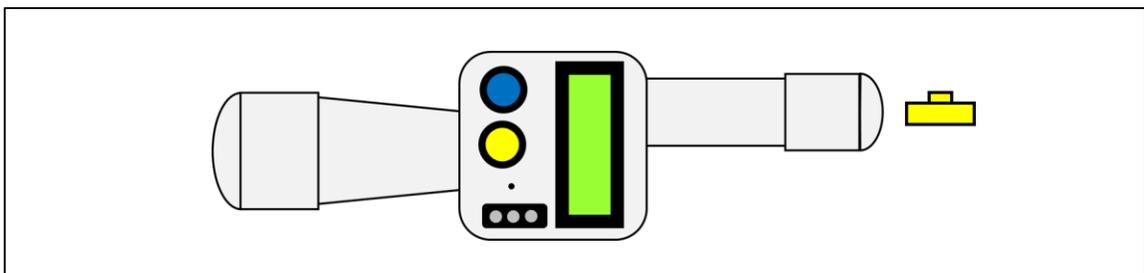


Figura AVII.10 Caso de polarización #2, arete RFID perpendicular con antena (Caso 2).

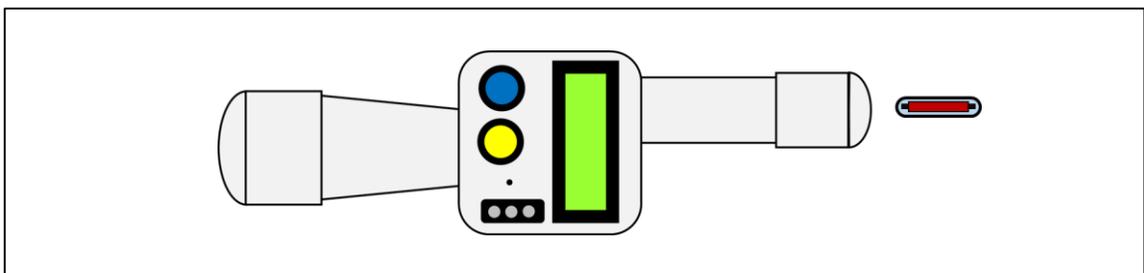


Figura AVII.11 Caso de polarización #3, implante RFID en paralelo con antena (Caso 3).

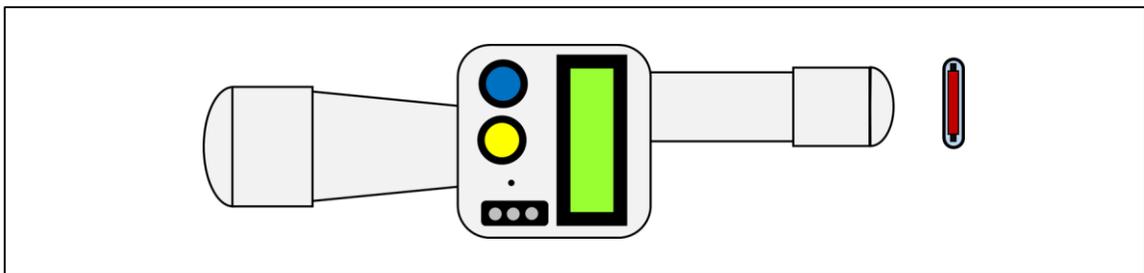


Figura AVII.12 Caso de polarización #4, arete RFID perpendicular con antena (Caso 4).

XIV. Mediciones físicas



Figura AVII.13 Transpondedores utilizados para experimentos: (1) *Allflex™* HDX blanco, (2) *Allflex™* HDX amarillo, (3) *Allflex™* FDX-B, (4) *Texas Instruments™* HDX TRPGR30ATGA, (5) *Texas Instruments™* HDX TRPGR30ATGB.

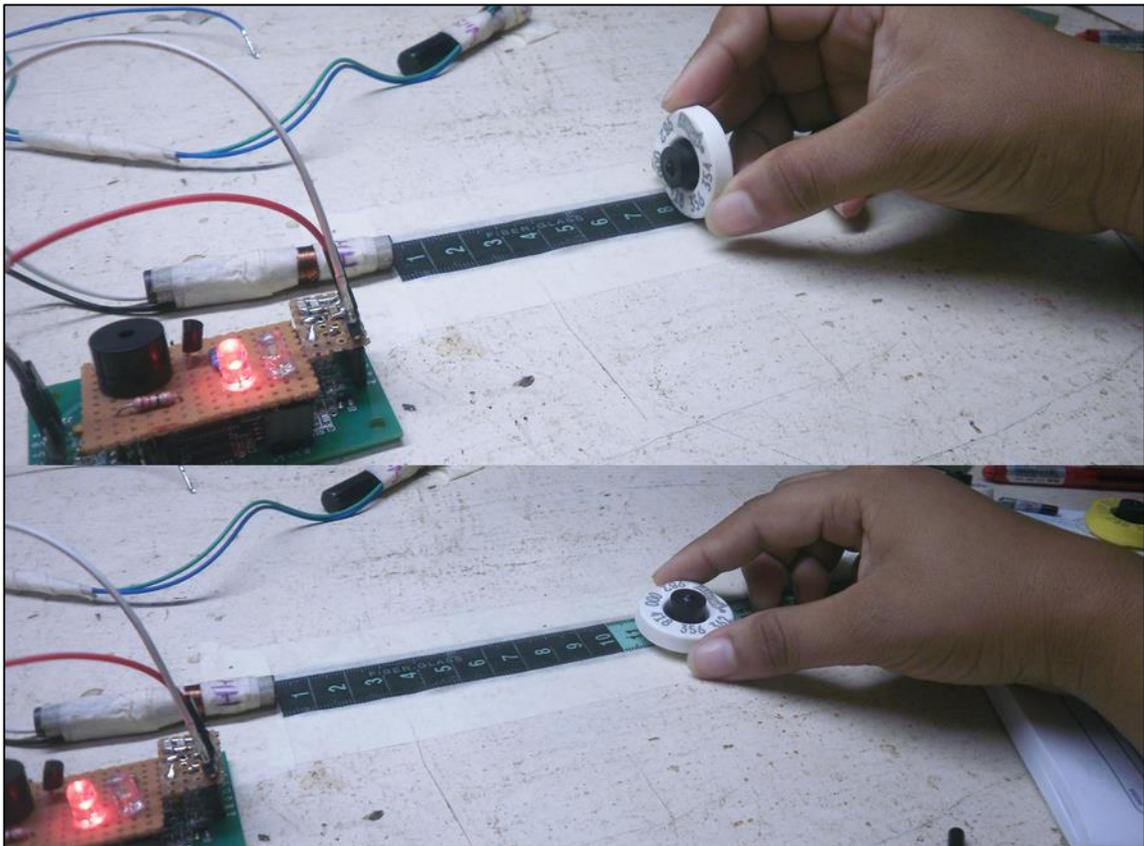


Figura AVII.14 Mediciones con *Allflex™* HDX blanco.

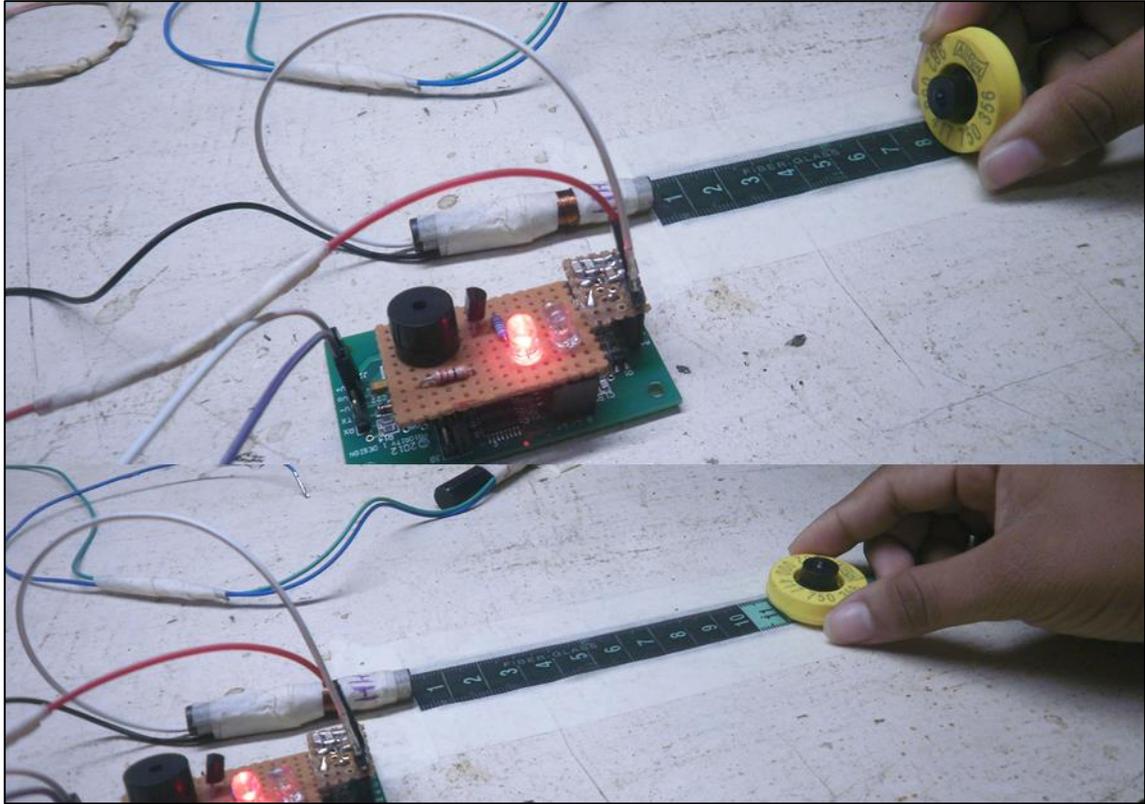


Figura AVII.15 Mediciones con Allflex™ FDX-B amarillo.

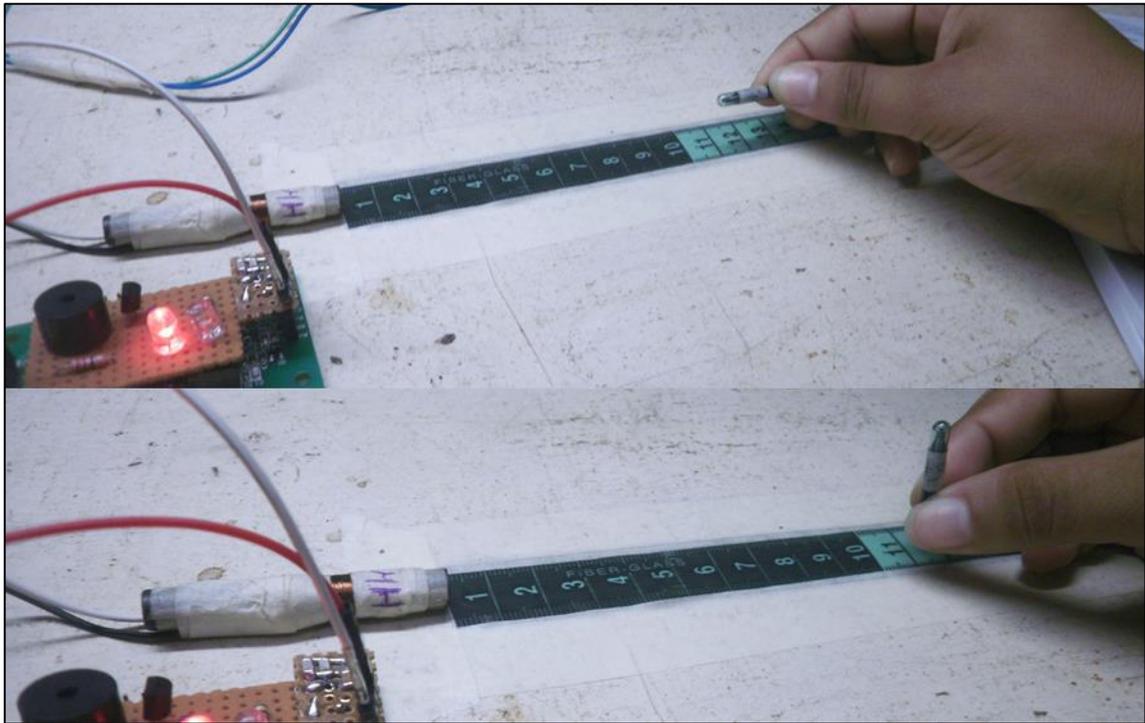


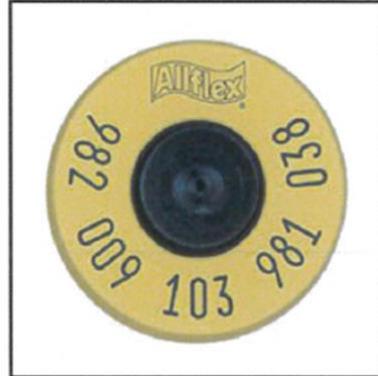
Figura AVII.16 Mediciones con T1™ TRPGR30ATGB HDX.

XV. Detalles técnicos de los transpondedores utilizados

<p>FDX Lightweight Ultra Bovine EID Tag ISO Compliant</p>	
--	---

General Description

This generation of Tamperproof EID Tag has a unique design that provides the ultimate in usability, security and retention. This single use tag features a hard plastic Tamperproof cap. Transponder numbers are laser marked in a circular format on the edge of the tag.



Full Duplex Technology (FDX) is utilized with the Bovine EID Tag. FDX is a design principle whereby the return signal initiates as soon as the beginning of the interrogation signal is received and the smoothing capacitor in the transponder has been charged. The return signal is received repetitively and without interruption for as long as a continuous interrogation signal is maintained. A FDX Transponder doesn't have to store energy to be able to return its entire data signal.

Construction

The tag is yellow (1.20" Dia. X .17" Thick) injection molded Polyurethane female with a black plastic Injection molded tamperproof (Tete Rigid) cap. The hard cap of the Lightweight Ultra Bovine tag provides the highest degree of security available, as any attempt to remove the male tag from the female would cause the tag components to break, rendering them unusable.

Application

Allflex FDX Lightweight Ultra Bovine EID tags are applied with the Red Universal Total Tagger Applicator. To apply tags, the Red Blunt Applicator pin must be installed and the Black or White insert must be removed. The New Ultra Retract-O-Matic may also be used to install this tag. Extended small males are used for placement in a deeper location in the ear. See Application Guide.

SPECIFICATIONS

GENERAL	
RFID Compatibility:	ISO 11784 Compliant
Duplex Mode	FDX-B
Operating Frequency	134.2 KHz
Marking	15 Digit Laser Marked Number
Security	Tamper Proof Design
Application Options:	Universal Total Tagger/ Ultra Retract-O-Matic
Manufacturers Id Code	982 as per ICAR assigned Manufacturers code
Power:	Passive (inductively powered from transceiver reading equipment)
Agency Certifications:	ISO 11785/ ISO 11784/ ICAR Approved/FCC approved

PHYSICAL/ENVIRONMENTAL	
Dimensions:	1.20" X .17"
Weight:	5.6 Grams
Material:	Polyurethane
Color:	Yellow with black tete rigid cap
Operating Temperature	-0°C-+50°C (
RELIABILITY	
Expected Life:	10 years
PERFORMANCE	
Read Distance:	Up to 75cm (29.53") (Antenna and reading system dependant)

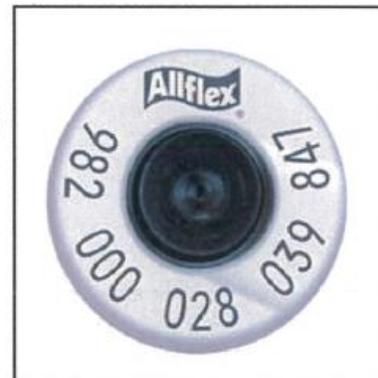
HDX High Performance Ultra EID Tag ISO Compliant



General Description

This generation of Tamperproof™ EID Tag has a unique design that provides the ultimate in usability, security and retention. This single use tag features a hard plastic Tamperproof cap. Transponder numbers are laser marked in a circular format on the edge of the tag.

Half Duplex Technology (HDX) is utilized with the High Performance Ultra EID Tag. HDX is a design principle whereby the transponder initiates the return signal to the reader/scanner/interrogator only after the end of the interrogation signal has been received and only after the storage capacitor has been fully charged in the transponder. The return signal is then only sent once, since the transponder has emptied its storage capacitor after it has sent its entire data content. This proven High Performance technology provides enhanced signal strength for maximum read distance.



Construction

The tag is white (1.18" Dia. X .280" Thick) Injection molded Polyurethane female with a black plastic Injection molded tamperproof cap. The hard cap of the ultra tag provides the highest degree of security available, as any attempt to remove the male tag from the female would cause the tag components to break, rendering them unusable.

Application

For proper application and to ensure that the transponder is not damaged during application, make sure that the raised portion of the Ultra Tamperproof EID tag is positioned at the front of the applicator jaw. Allflex HDX High Performance Ultra EID Tags use the same Universal Total Tagger Applicator (RED) as the traditional Tamperproof Visual Tags. To apply tags, install Red Blunt Applicator pin and remove Black or White insert. The New Ultra Retract-O-Matic may also be used to install this tag. Extended small males are used for placement in a deeper location in the ear. See Application Guide.

HDX High Performance Ultra EID Tag ISO Compliant

SPECIFICATIONS

GENERAL	
RFID Compatibility:	ISO 11784 Compliant
Duplex Mode	HDX
Operating Frequency	134.2 KHz
Marking	15 Digit Laser Marked Number
Security	Tamper Proof Design
Application Options:	Universal Total Tagger/Ultra Retract-O-Matic
Manufacturers Id Code	982 as per ICAR assigned Manufacturers code
Power:	Passive (Inductively powered from transceiver reading equipment)
Agency Certifications:	ISO 11785/ ISO 11784/ ICAR Approved/FCC approved
PHYSICAL/ENVIRONMENTAL	
Dimensions:	1.18" X .280"
Weight:	8.9 Grams
Material:	Polyurethane
Color:	White with tete rigid cap
Operating Temperature	-0°C-+50°C (
RELIABILITY	
Expected Life:	10 years
PERFORMANCE	
Read Distance:	Up to 100cm (39.37") (Antenna and reading system dependant)



TRPGR30ATGA

www.ti.com

SCBS896 –OCTOBER 2013

23-mm Low-Frequency Glass-Encapsulated Transponder, Read Only

Check for Samples: [TRPGR30ATGA](#)

FEATURES

- Best-in-Class Performance Through Half-Duplex (HDX) Technology
- Patented Transponder Tuning Provides Stable and High Read Performance
- 80-Bit Read-Only Type
- 64-Bit Chip ID
- Insensitive to Almost All Nonmetallic Materials

APPLICATIONS

- Vehicle Identification
- Container Tracking
- Asset Management

DESCRIPTION

Texas Instruments 23-mm low-frequency (LF) glass transponders provide superior performance and operate at a resonance frequency of 134.2 kHz. The products are compliant to ISO/IEC 11784/11785 global open standards. Texas Instruments LF glass transponders are manufactured with TI's patented tuning process to provide consistent read performance. Prior to delivery, the transponders undergo complete functional and parametric testing, to provide the high quality customers have come to expect from TI.



Specifications

PARAMETER	TRPGR30ATGA
Functionality	Read only
Memory (bits)	80 (64-bit unique ID + 16-bit BCC)
Memory (pages)	1
Resonance frequency	134.6 kHz
Modulation	FSK (frequency shift keying) 134.2 kHz and 124.2 kHz
Transmission principle	HDX (half duplex)
Power source	Powered from the reader signal (battery-less)
Typical reading range	≤110 cm ⁽¹⁾
Typical reading time	70 ms
Case material	Glass
Protection glass	Hermetically sealed
EMC	Programmed code is not affected by natural electromagnetic interference or x-rays
Signal penetration	Transponder can be read through almost all nonmetallic material
Mechanical shock	IEC 60068-2-32 free-fall drop test, 20 times from 1.5-m height
Dimensions	Ø 3.85 ± 0.05 mm x 23.1 ± 0.5 mm
Weight	0.8 g



TRPGR30ATGB

www.ti.com

SCBS893 –JANUARY 2014

32-mm Low-Frequency Glass-Encapsulated Transponder, RO

FEATURES

- **Best-in-Class Performance Through Patented Half-Duplex (HDX) Technology**
- **Patented Transponder Tuning Provides Stable and High Read Performance**
- **80-Bit Read-Only (RO) Type**
- **64-Bit Chip ID**
- **Insensitive to Almost All Nonmetallic Materials**

APPLICATIONS

- **Access Control**
- **Vehicle Identification**
- **Container Tracking**
- **Asset Management**
- **Waste Management**

DESCRIPTION

Texas Instruments 32-mm low-frequency (LF) glass transponders provide superior performance and operate at a resonance frequency of 134.2 kHz. The products are compliant to ISO/IEC 11784/11785 global open standards. Texas Instruments LF glass transponders are manufactured with TI's patented tuning process to provide consistent read performance. Prior to delivery, the transponders undergo complete functional and parametric testing, to provide the high quality customers have come to expect from TI.

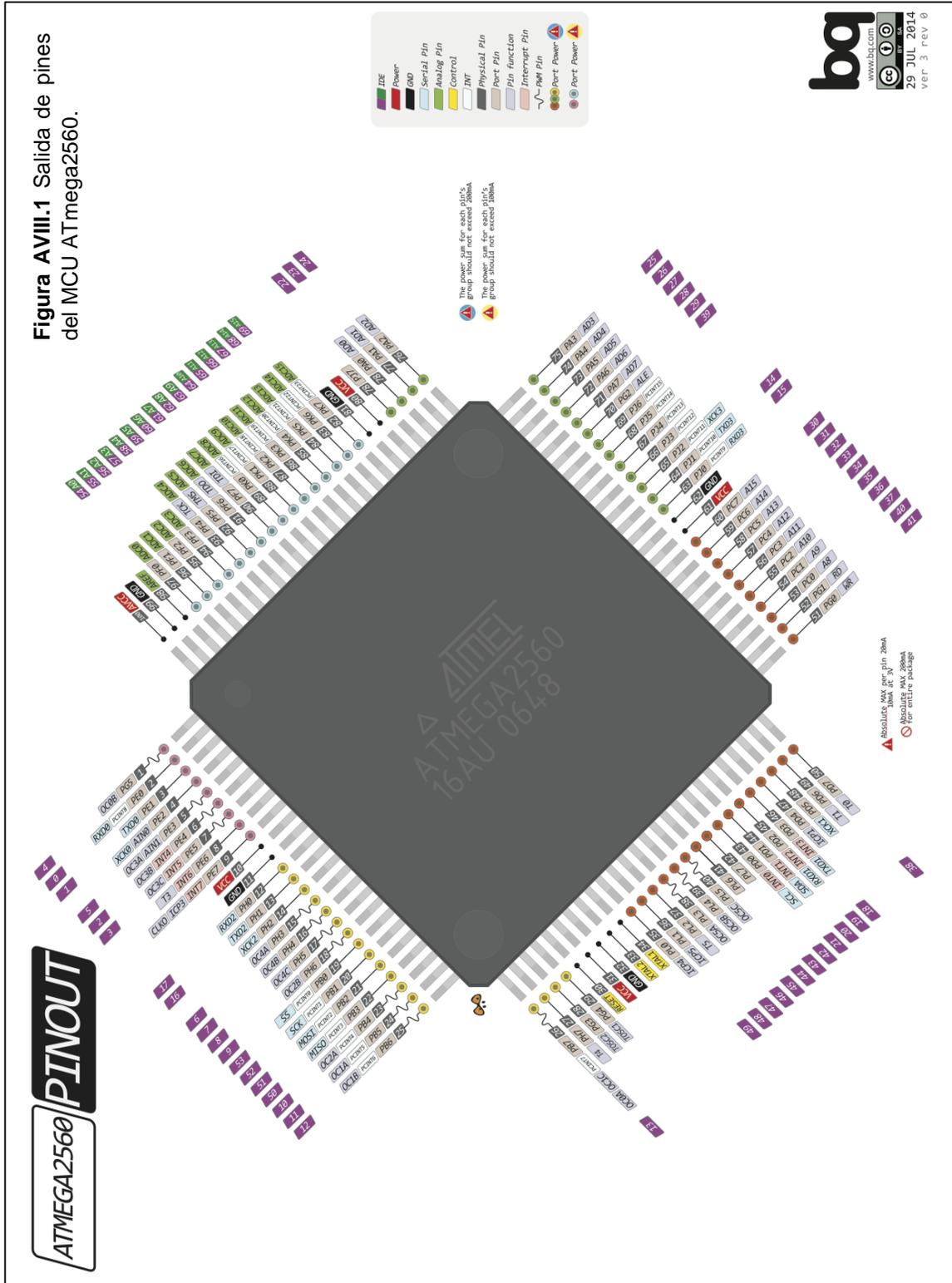


PARAMETER	TRPGR30ATGB
Functionality	Read only
Memory (bits)	80 (64-bit unique ID + 16-bit BCC)
Memory (pages)	1
Resonance frequency	134.6 kHz
Modulation	FSK (frequency shift keying) 134.2 kHz and 124.2 kHz
Transmission principle	HDX (half duplex)
Power source	Powered from the reader signal (battery-less)
Typical reading range	≤110 cm ⁽¹⁾
Typical reading time	70 ms
Case material	Glass
Protection glass	Hermetically sealed
EMC	Programmed code is not affected by natural electromagnetic interference or x-rays
Signal penetration	Transponder can be read through almost all nonmetallic material
Mechanical shock	IEC 68-2-27, Test Ea; 300 g, 3 ms
Dimensions	Ø 3.85 ± 0.05 mm x 31.2 ± 0.6 mm
Weight	0.8 g

Anexo VIII: Algoritmos y Software

I. Atmega2560

Figura AVIII.1 Salida de pines del MCU ATmega2560.



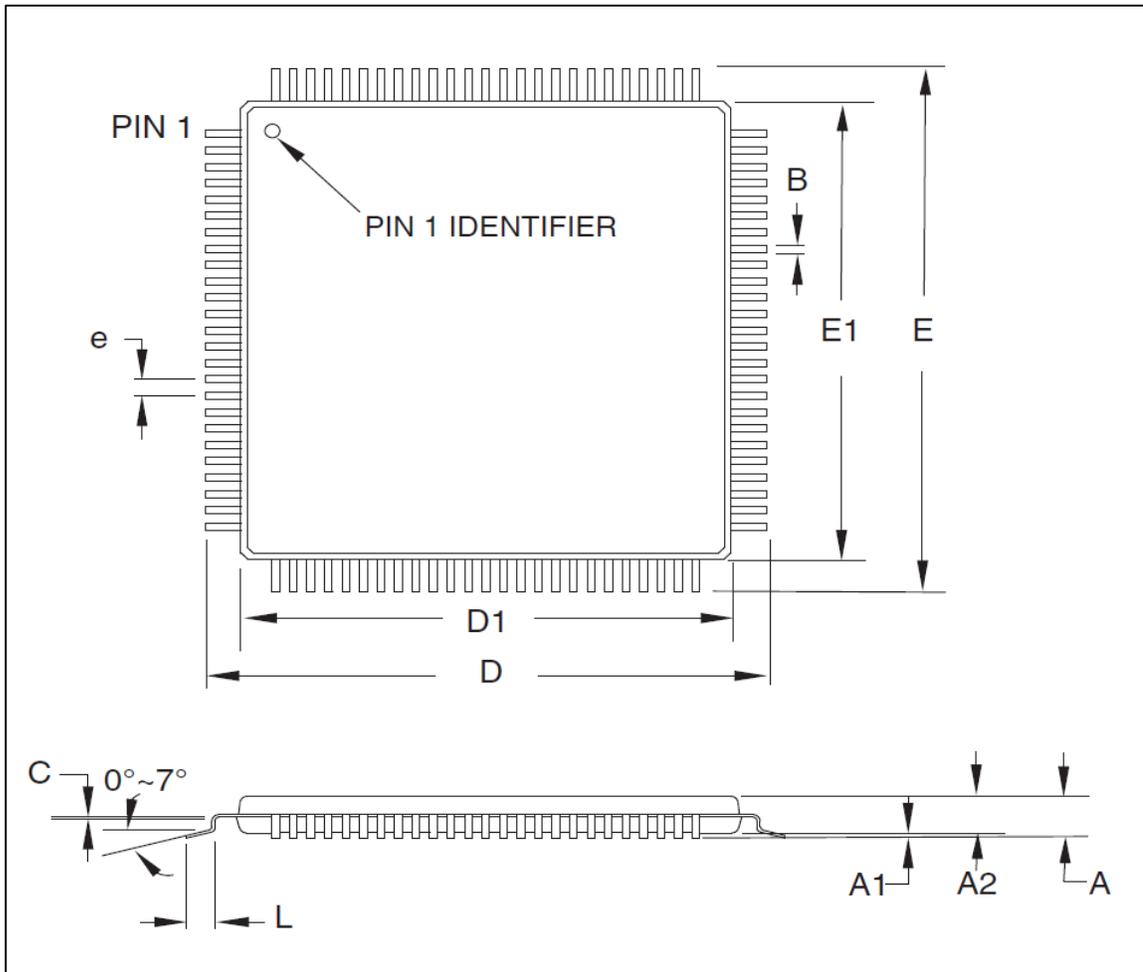
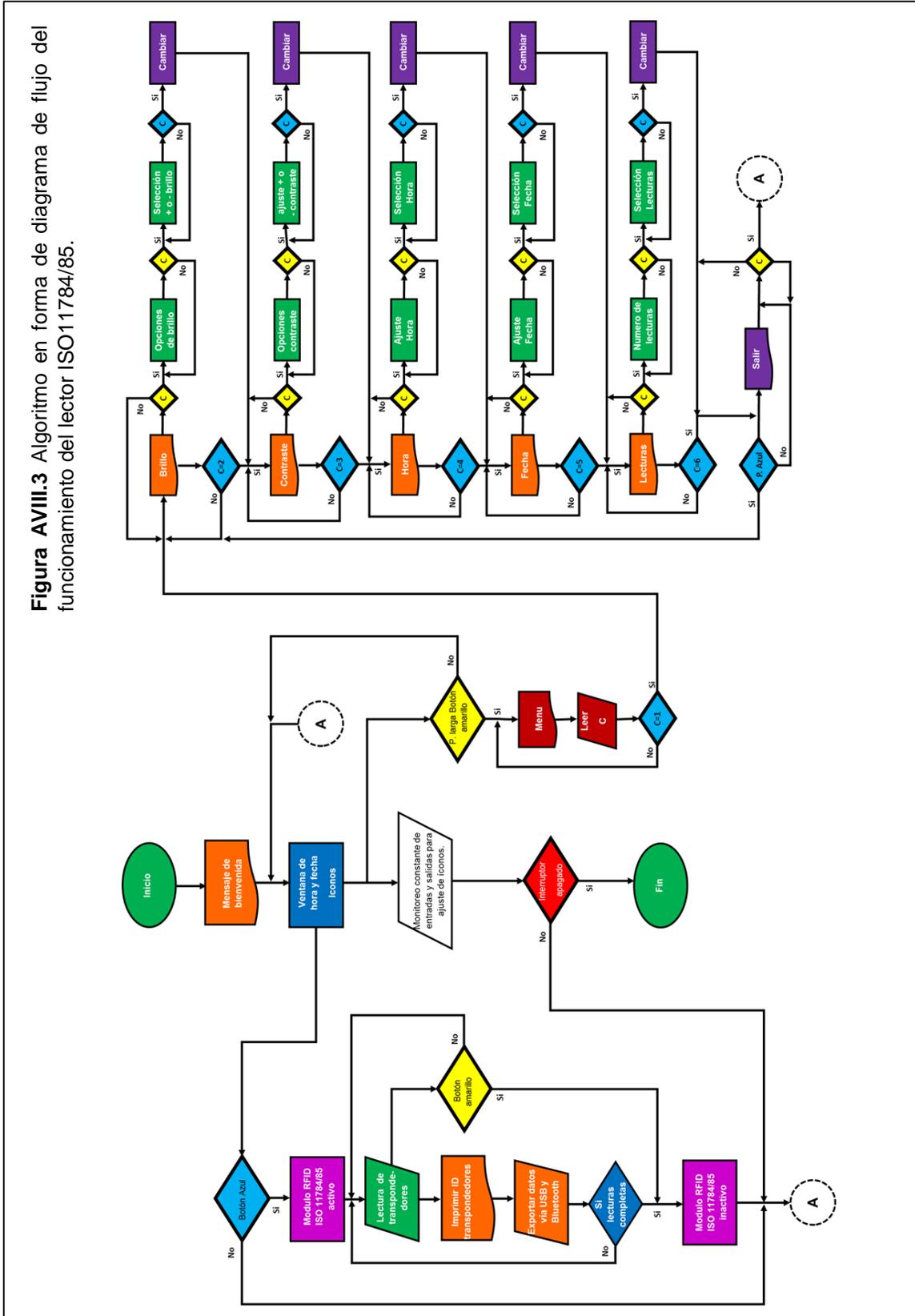


Figura AVIII.2 Dimensiones físicas del encapsulado Atmega2560 utilizado.

COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	-	-	1.20	
A1	0.05	-	0.15	
A2	0.95	1.00	1.05	
D	15.75	16.00	16.25	
D1	13.90	14.00	14.10	Note 2
E	15.75	16.00	16.25	
E1	13.90	14.00	14.10	Note 2
B	0.17	-	0.27	
C	0.09	-	0.20	
L	0.45	-	0.75	
e	0.50 TYP			

II. Algoritmo de funcionamiento



III. Atmel Studio 7.0

Figura AVIII.4 Entorno de programación de Atmel Studio 7.0.

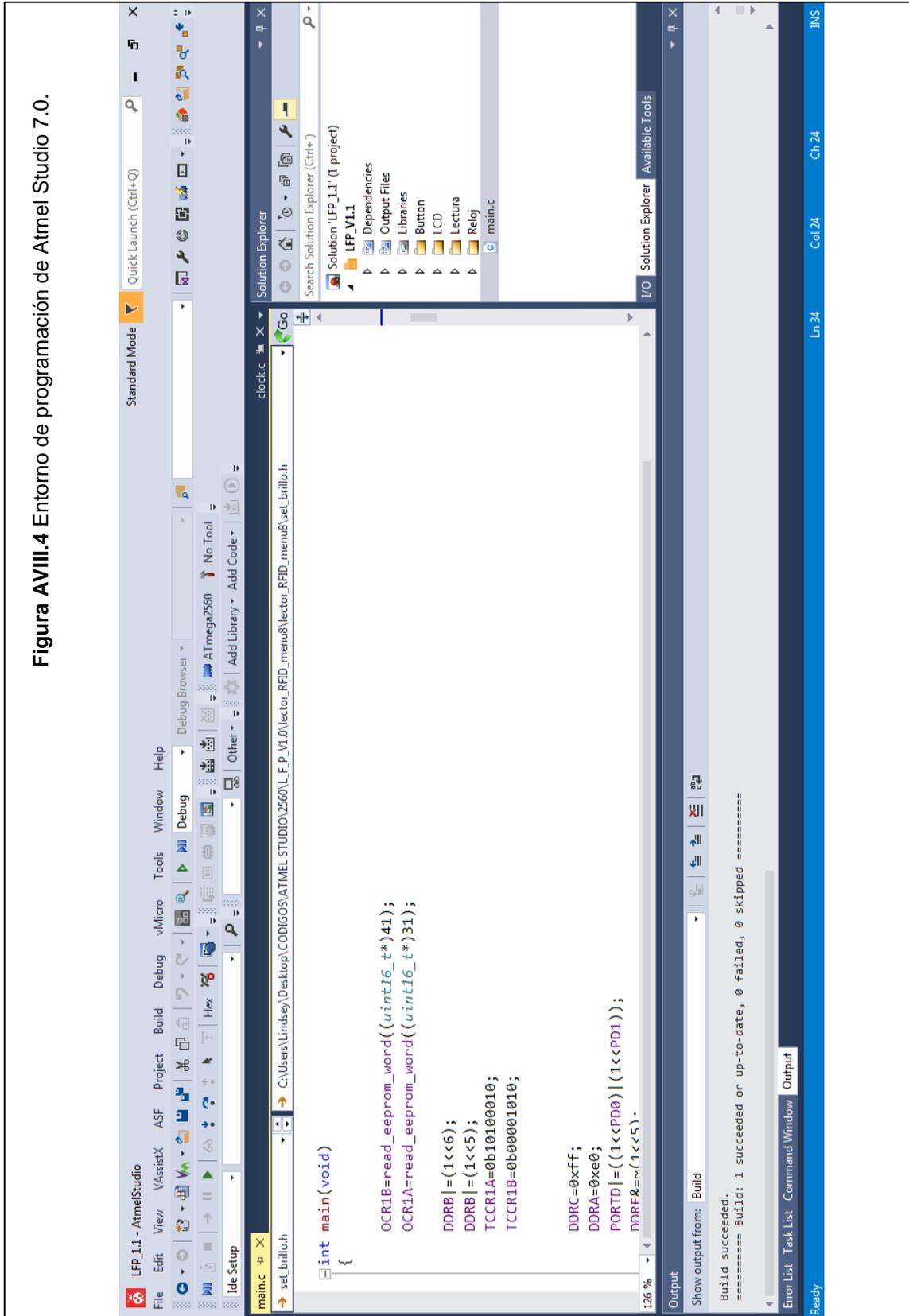
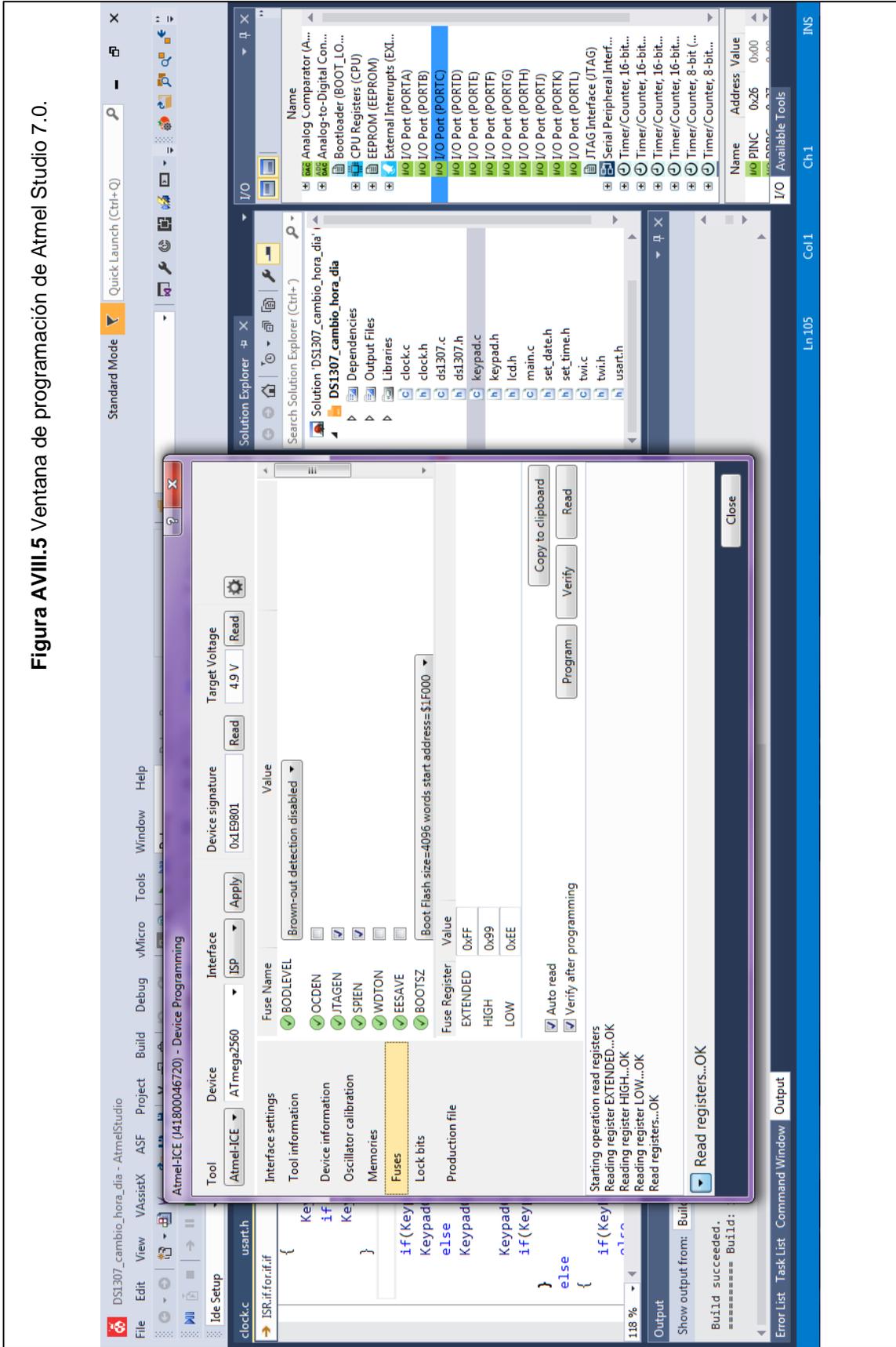


Figura AVIII.5 Ventana de programación de Atmel Studio 7.0.



IV. Aplicación

Figura AVIII.6 Desarrollo de la aplicación en MIT App Inventor 2.

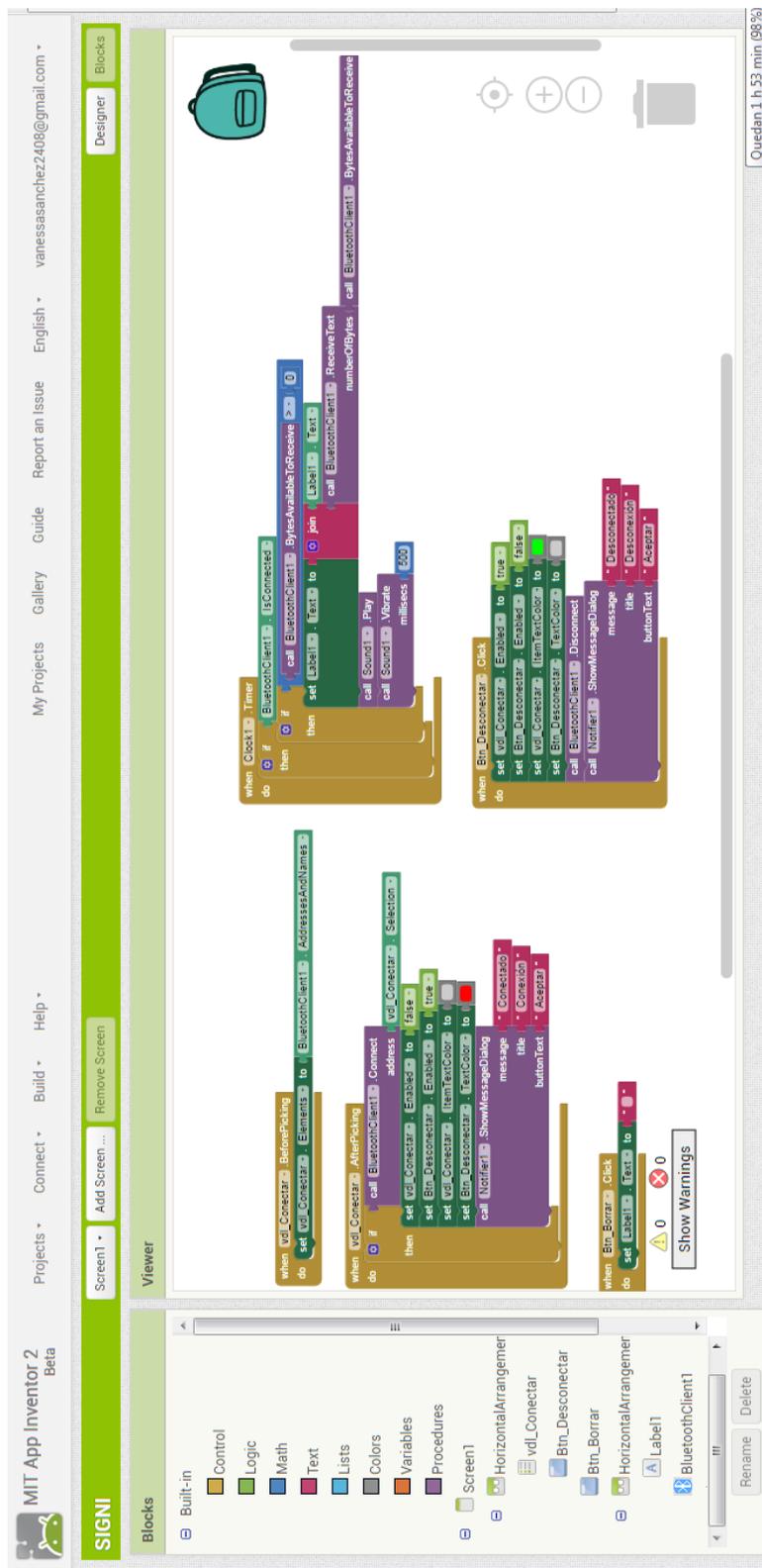
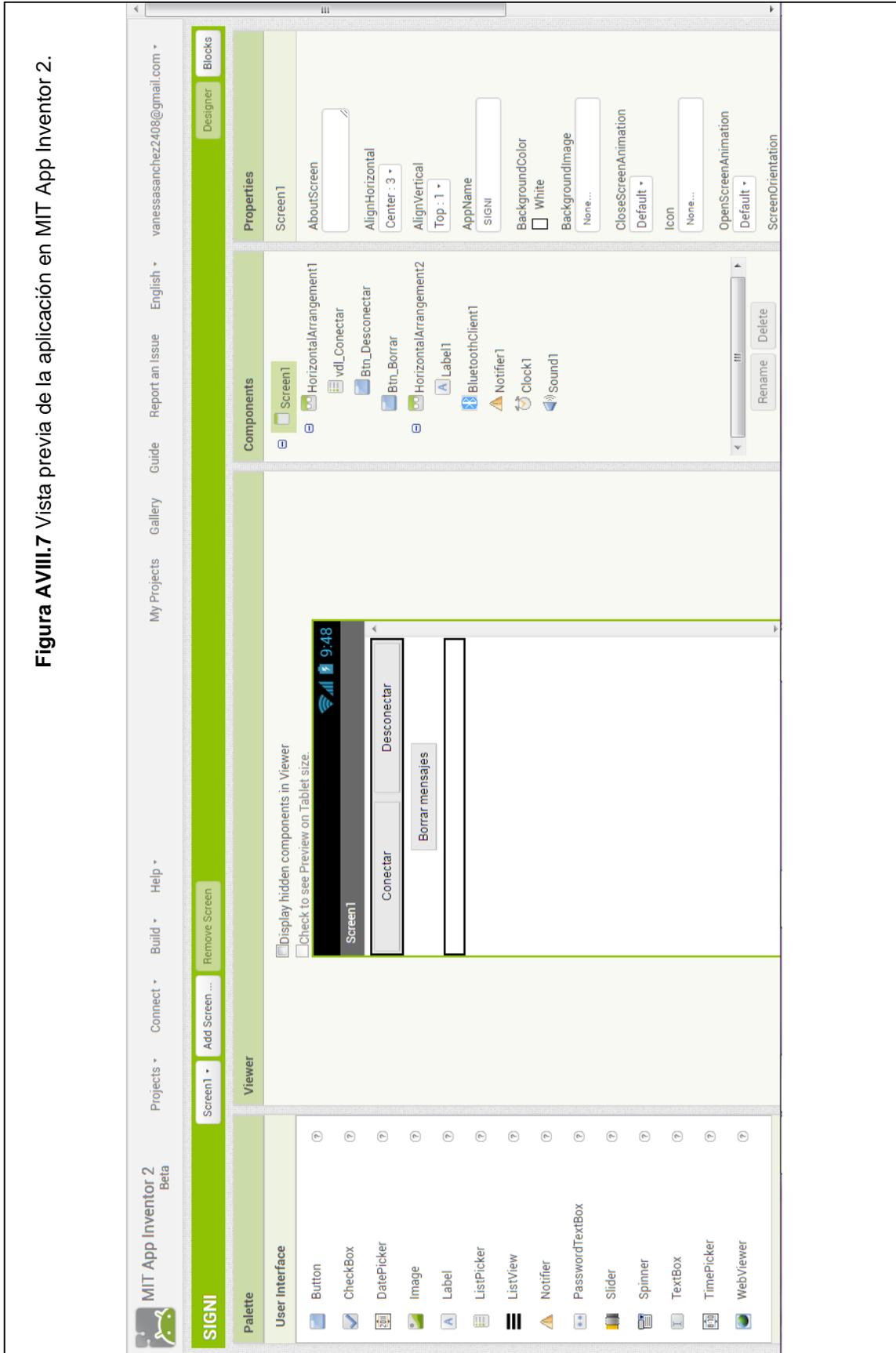


Figura AVIII.7 Vista previa de la aplicación en MIT App Inventor 2.



Anexo IX: Diseño de carcasa



Figura AIX.1 Caja eléctrica de PVC solido LEGRAND 1655298.

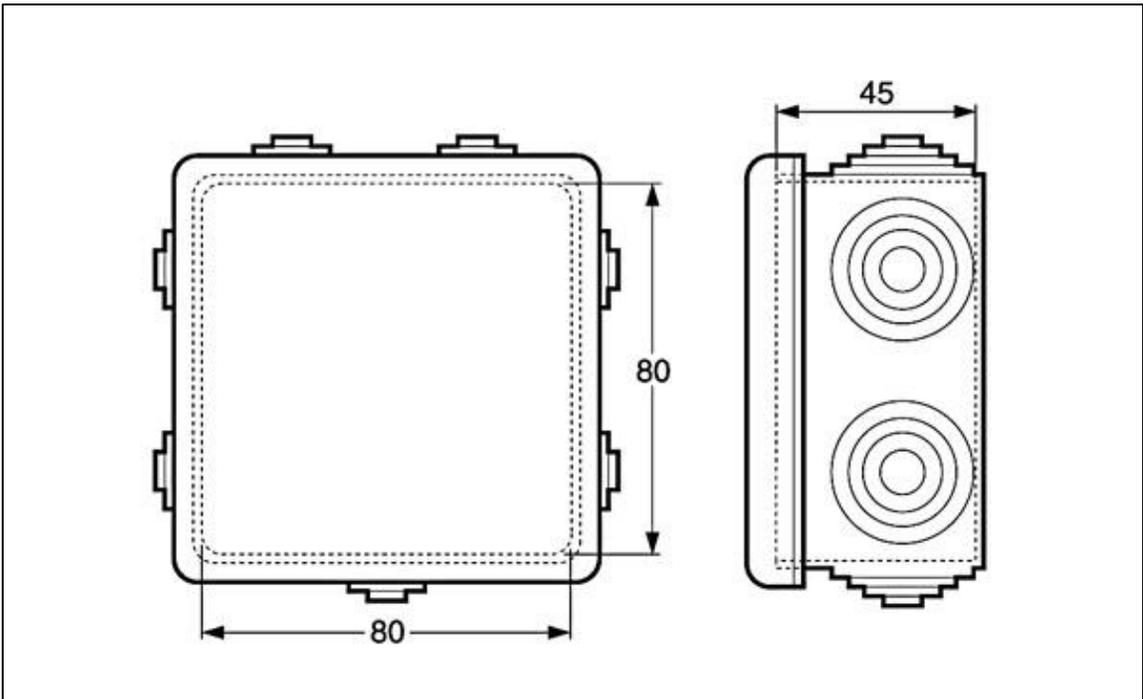


Figura AIX.2 Caja eléctrica de PVC solido LEGRAND 1655298 (medidas en mm).



Figura AIX.3 Botones pulsadores impermeables pbs-33b.

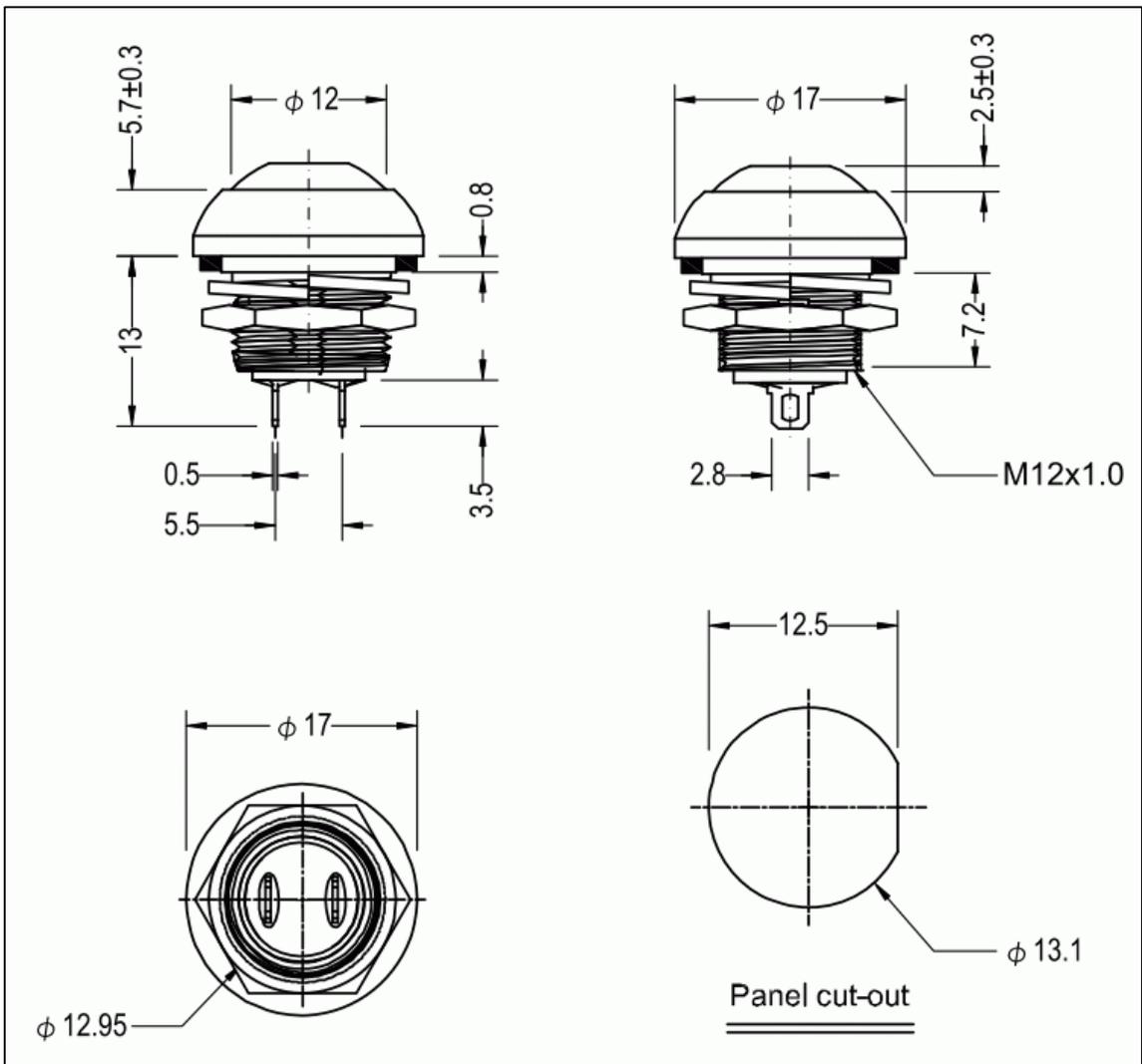


Figura AIX.4 Acotaciones de los botones pulsadores impermeables pbs-33b (medidas en mm).



Figura AIX.5 Bastón lector ISO 11784/85 en uso.



Figura AIX.6 Detalles de la parte inferior del bastón lector ISO 11784/85.



Figura AIX.7 Detalles de los botones del bastón lector ISO 11784/85.

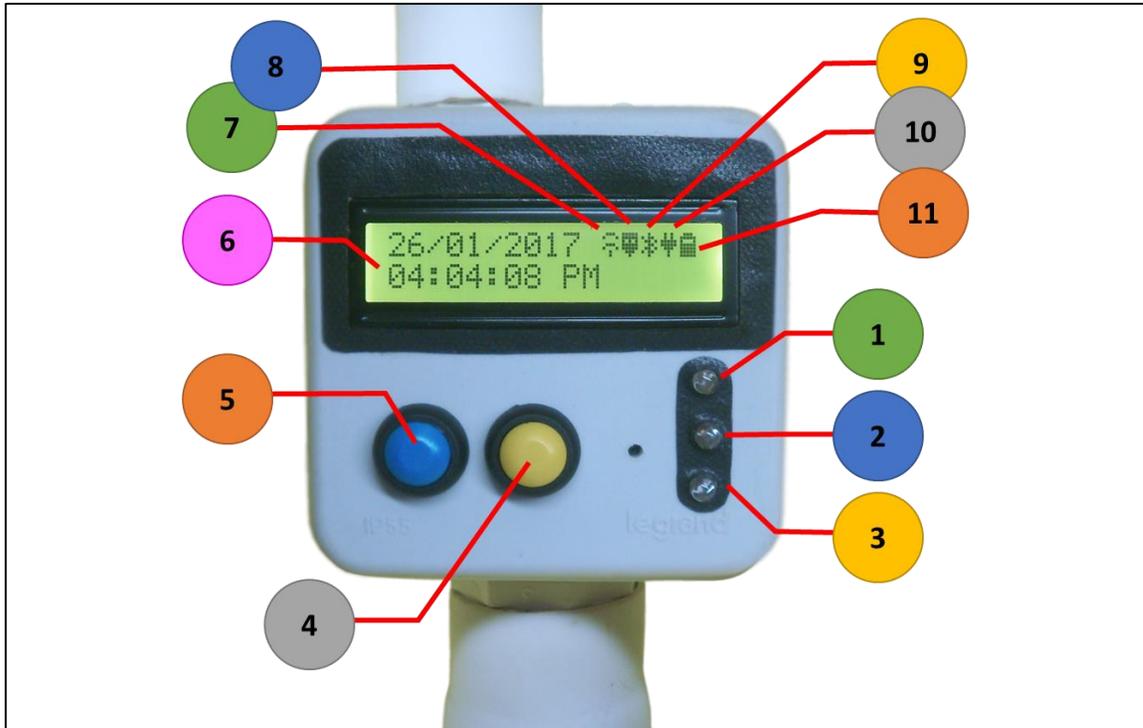


Figura AIX.8 (1) LED verde indicador de lectura. (2) LED indicador de conectividad USB, rojo indica transmisión, azul indica recepción, ambos parpadeando dos veces un instante indica que el dispositivo fue reconocido correctamente. (3) LED indicador de carga, rojo es carga en proceso, verde es carga completa. (4) Pulsador amarillo tiene como funcionalidad mostrar la lectura anterior del sistema RFID y permite seleccionar opciones dentro del menú de configuraciones. (5) Una pulsación larga en el botón azul lleva al menú de configuraciones, una vez dentro del menú permite navegar entre las opciones. Una pulsación corta del botón azul después de la lectura de un transpondedor hace que el lector limpie pantalla y regrese a la venta principal de hora y fecha. (6) Ventana principal de hora y fecha. (7) RFID ISO 11784/85 activo, indica que la antena está operando correctamente. (8) Icono de USB conectado, aparece cuando el dispositivo ha sido conectado a una computadora. (9) Icono de Bluetooth activo. (10) Icono de fuente de poder conectada, puede ser el adaptador de 12V AC/DC o el panel solar. (11) Estado de carga en la batería.



Figura AIX.9 Mensajes previos a la ventana principal luego de encender el dispositivo.

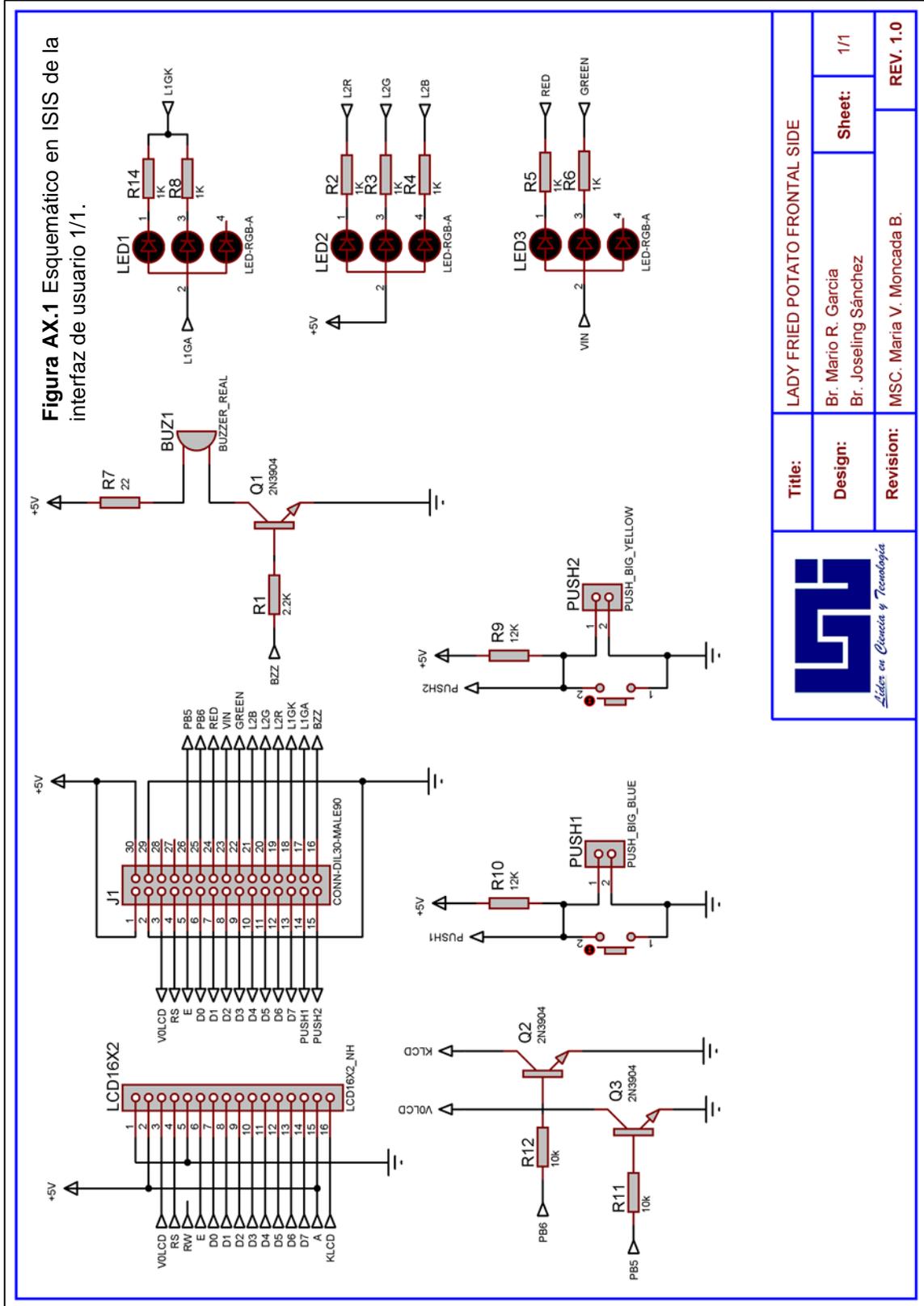


Figura AIX.10 Ventana al leer un transpondedor FDX-B



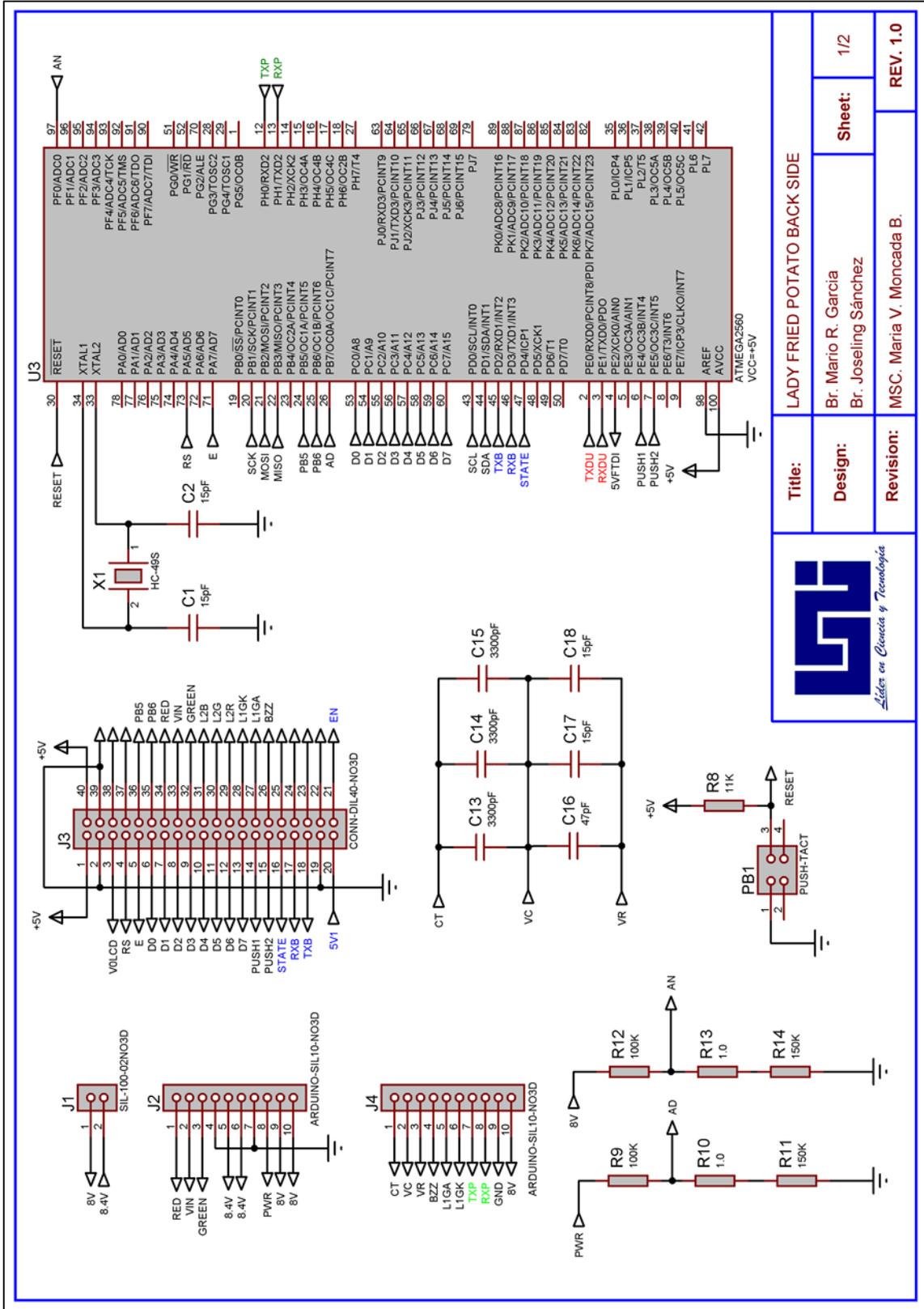
Figura AIX.11 Ventana al leer un transpondedor HDX.

Anexo X: Diseño del PCB



	Title: LADY FRIED POTATO FRONTAL SIDE	Sheet: 1/1
	Design: Br. Mario R. Garcia Br. Joseling Sánchez	Revision: MSC. Maria V. Moncada B.
		REV. 1.0

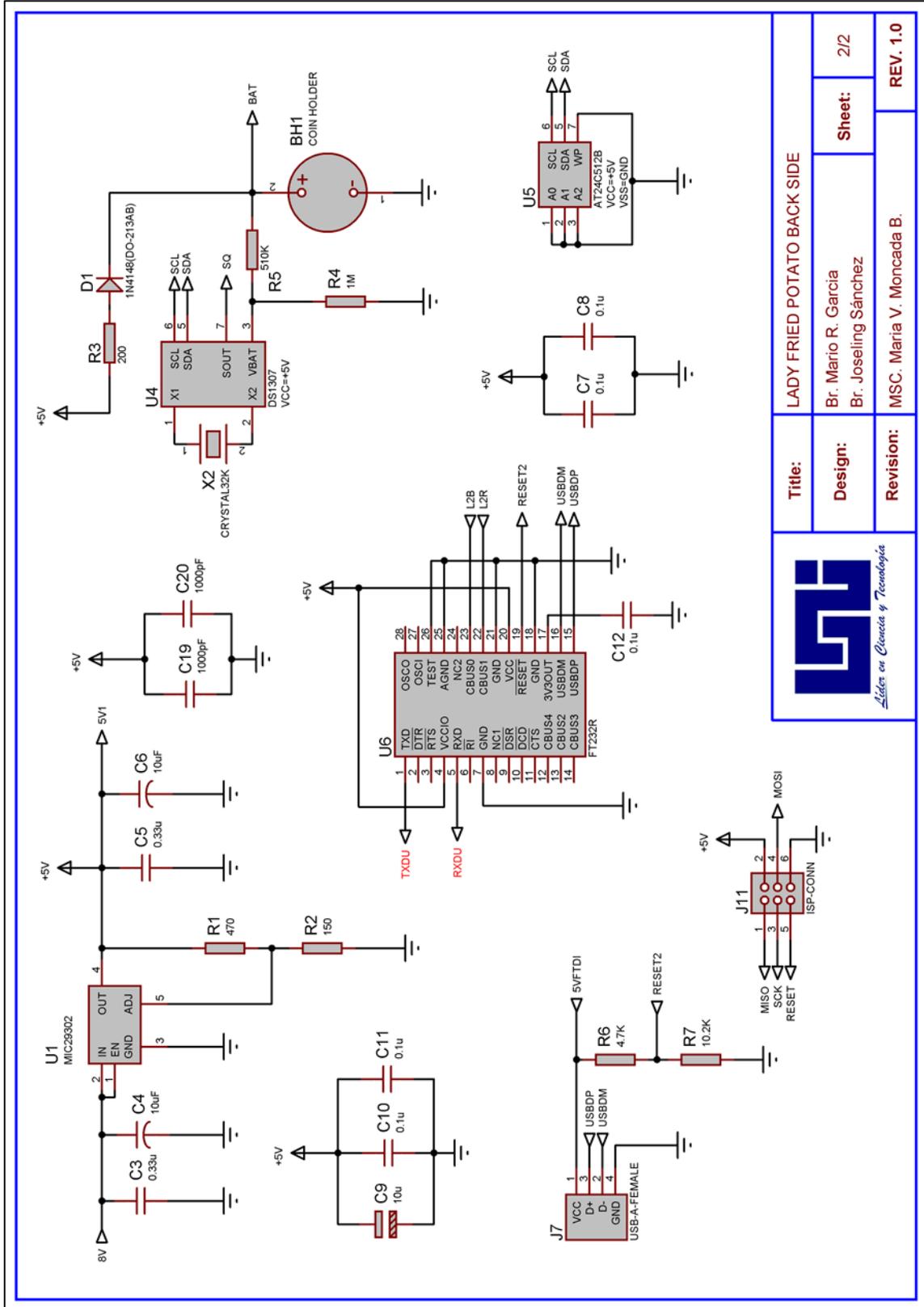
Figura AX.2 Esquemático en ISIS de la interfaz de control 1/2.



Title:	LADY FRIED POTATO BACK SIDE
Design:	Br. Mario R. Garcia Br. Joseling Sánchez
Revision:	MSC. Maria V. Moncada B.
Sheet:	1/2
REV. 1.0	



Figura AX.3 Esquemático en ISIS de la interfaz de control 2/2.



Title: LADY FRIED POTATO BACK SIDE	
Design: Br. Mario R. Garcia	Sheet: 2/2
Revision: MSC. Maria V. Moncada B.	REV. 1.0



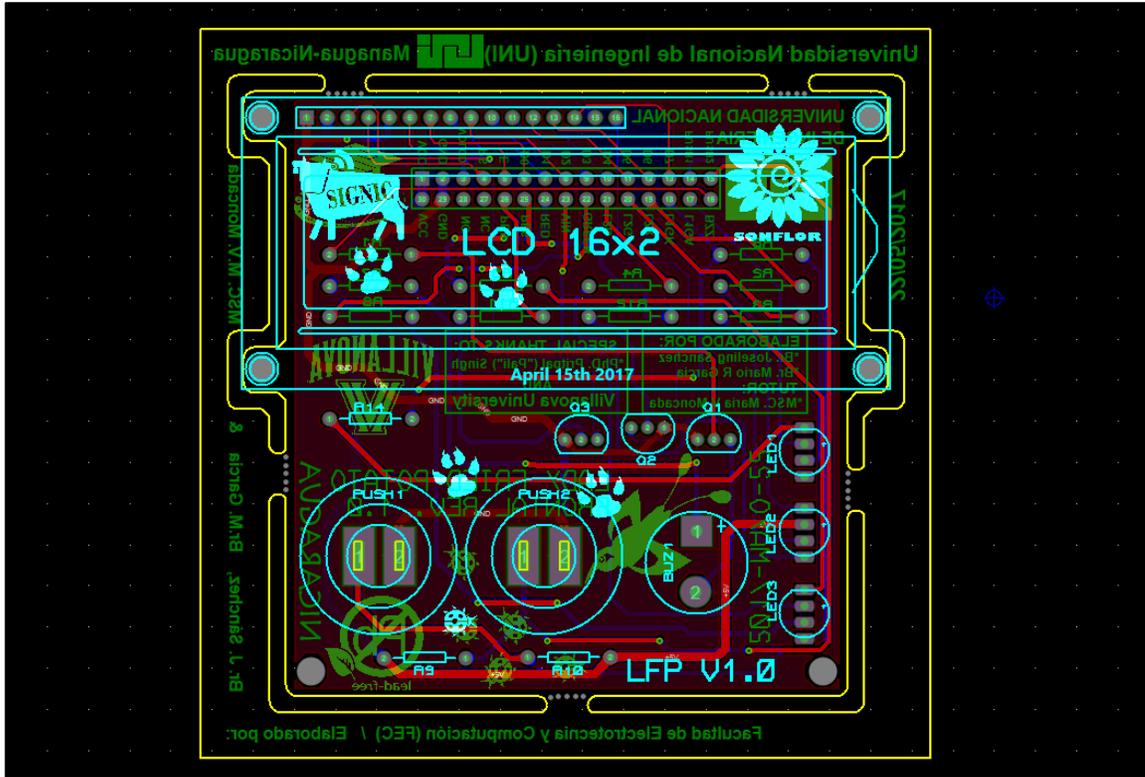


Figura AX.4 Diseño de la interfaz de usuario vista en ARES.

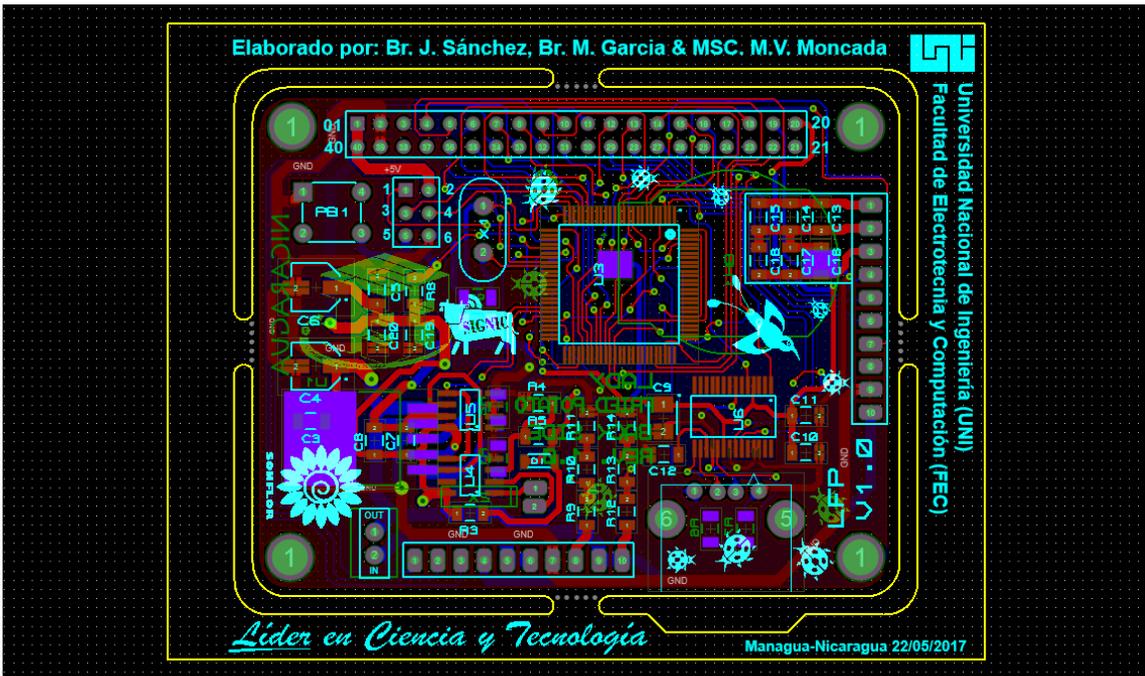


Figura AX.5 Diseño de la interfaz de control vista en ARES.

Figura AX.6 Vista 3D de la interfaz de usuario
(Arriba y sin componentes).

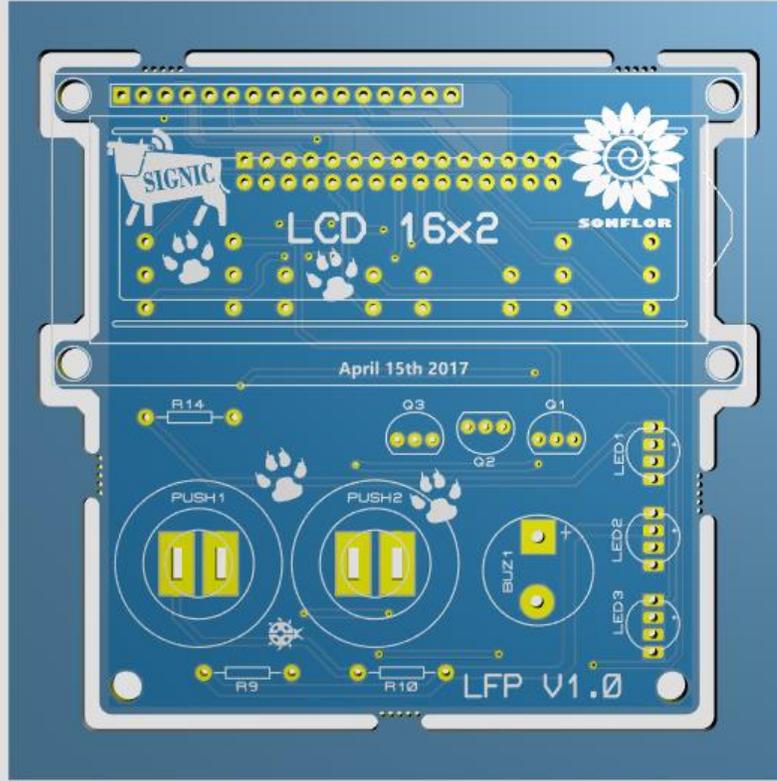


Figura AX.7 Vista 3D de la interfaz de usuario
(Arriba y con componentes).



Figura AX.8 Vista 3D de la interfaz de usuario
(Abajo y sin componentes).

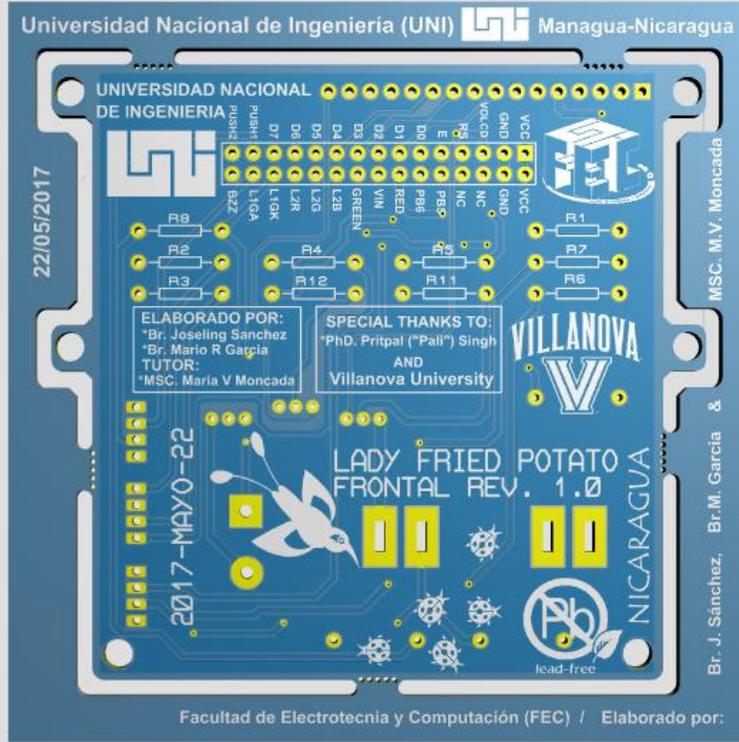
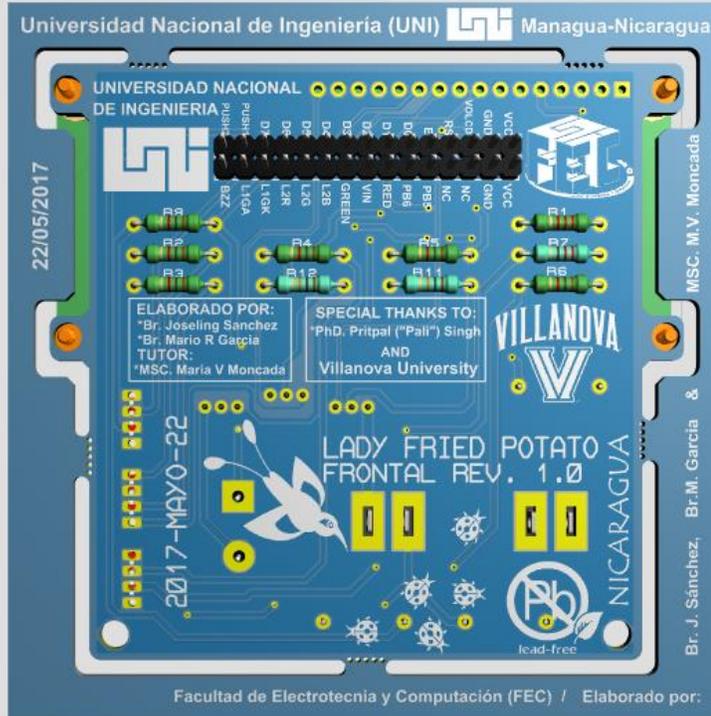


Figura AX.9 Vista 3D de la interfaz de usuario
(Abajo y con componentes).



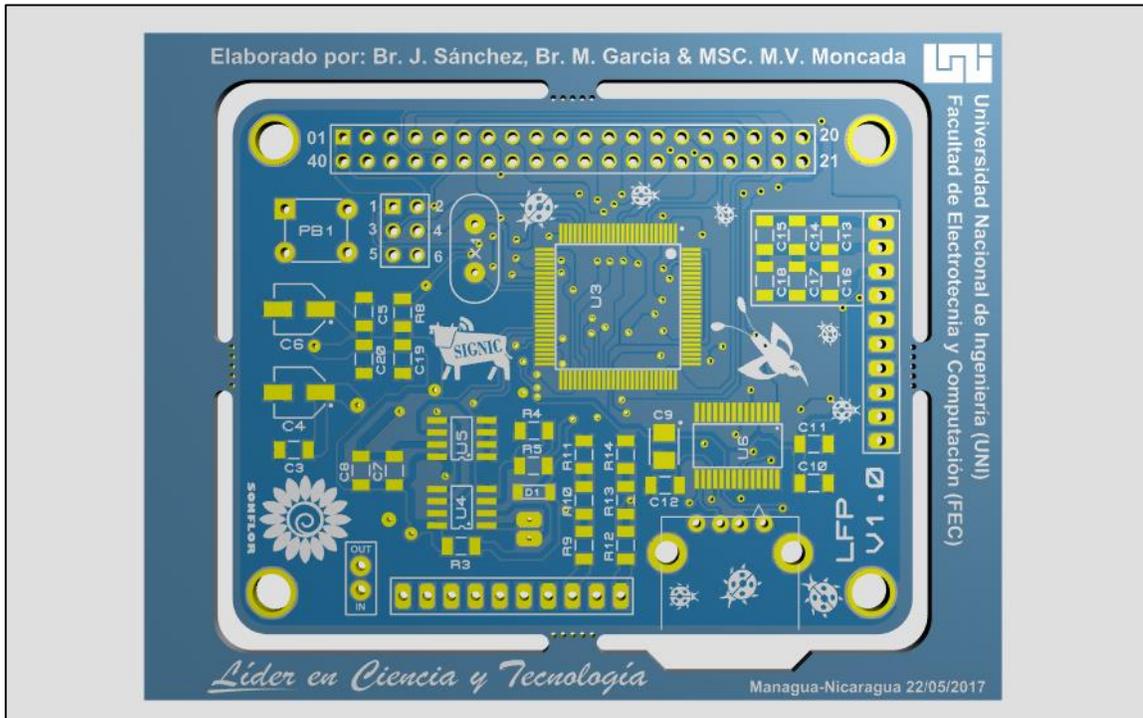


Figura AX.10 Vista 3D de la interfaz de control (Arriba y sin componentes).

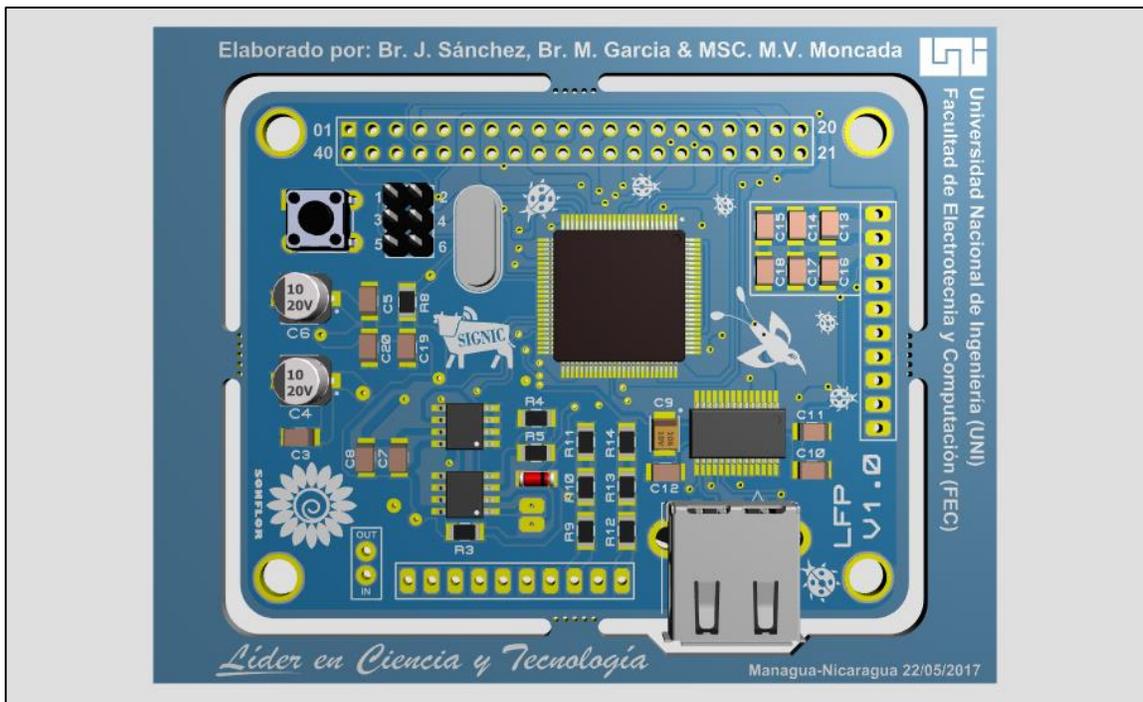


Figura AX.11 Vista 3D de la interfaz de control (Arriba y con componentes).

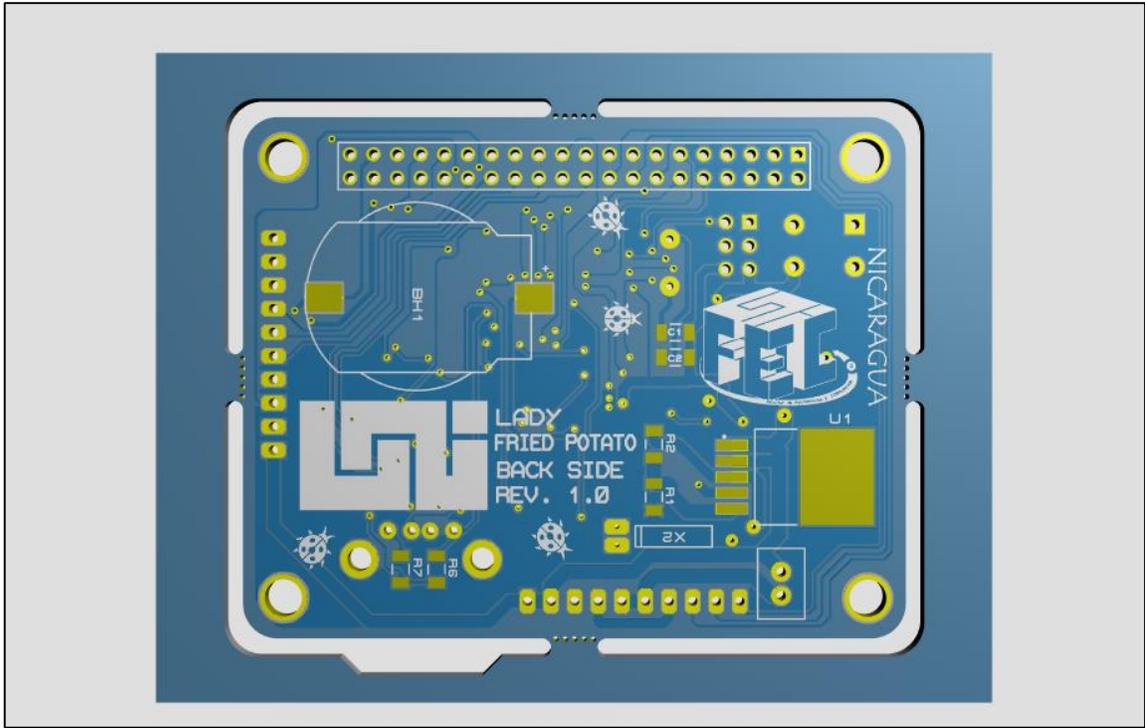


Figura AX.12 Vista 3D de la interfaz de control (Abajo y sin componentes).

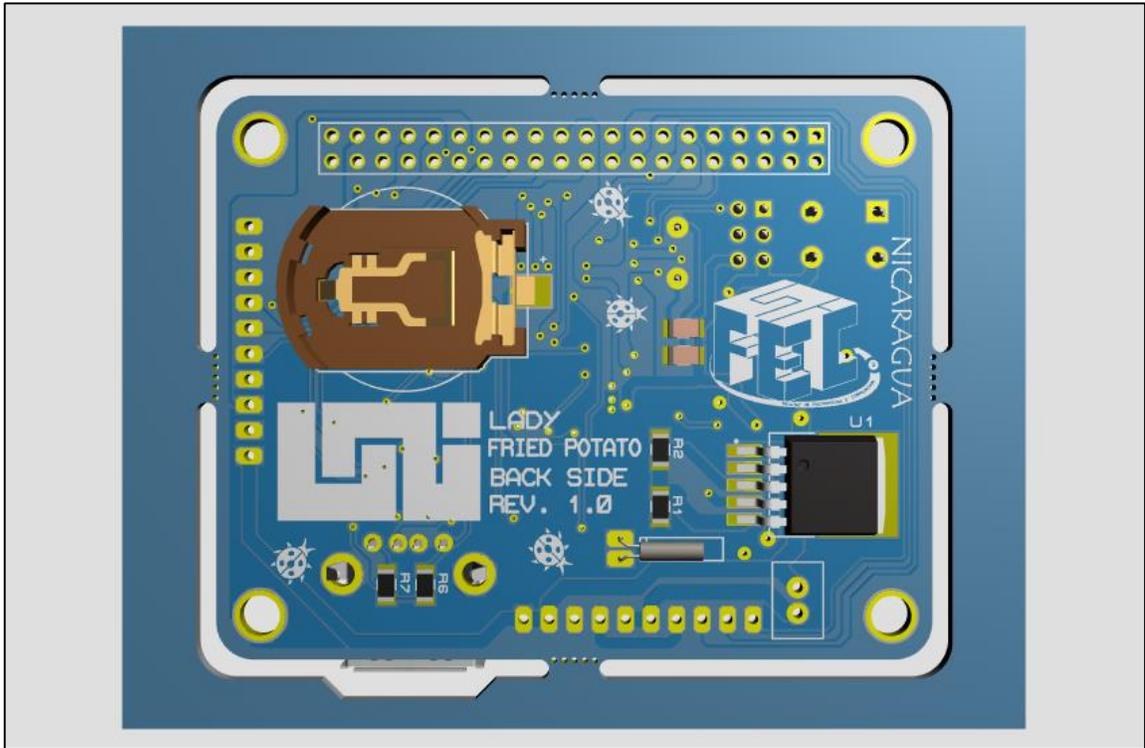


Figura AX.13 Vista 3D de la interfaz de control (Abajo y con componentes).

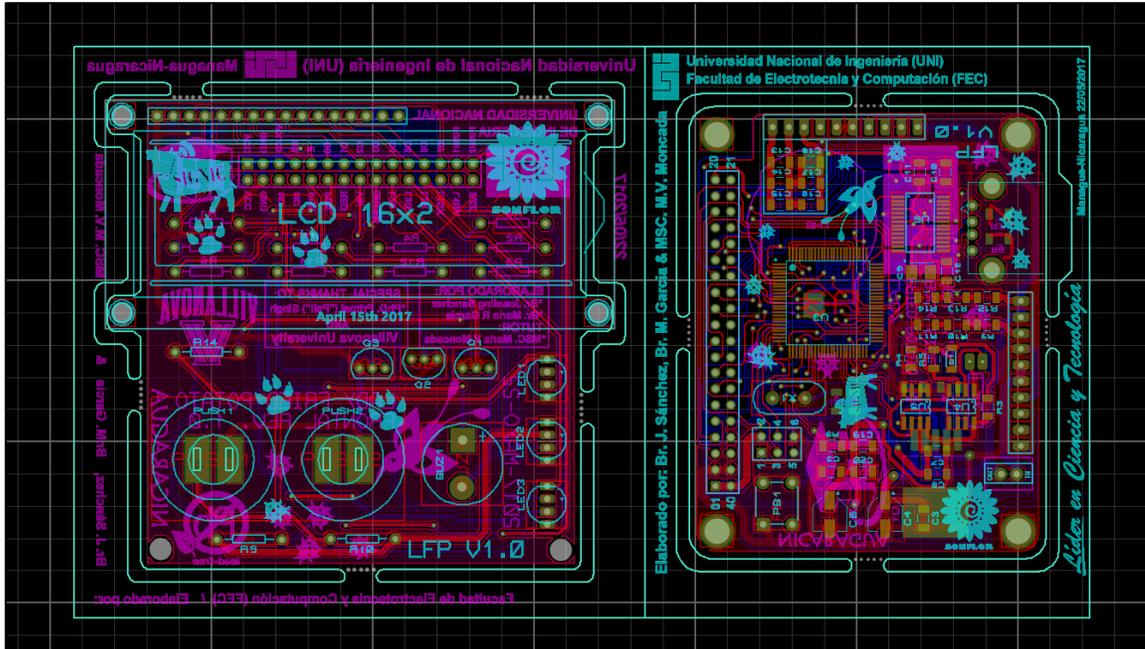


Figura AX.14 Vista del archivo .gerber panelizado en formato RS274X listo para la producción.



Figura AX.15 Resultados finales recibidos.

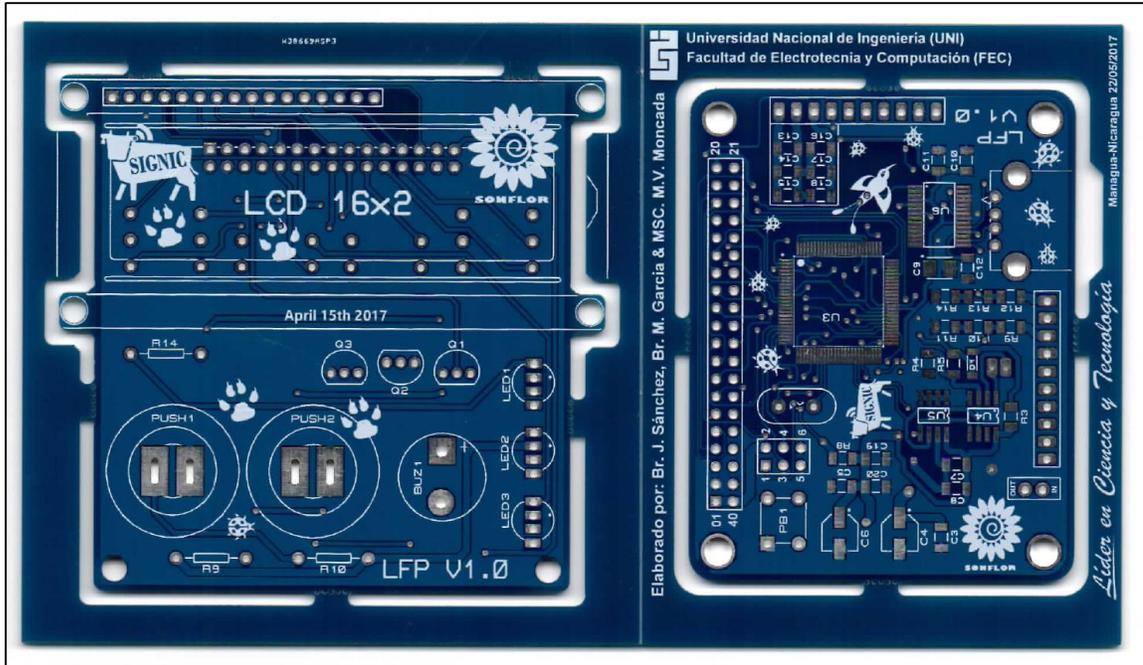


Figura AX.16 Resultado final escaneado detalles de arriba.

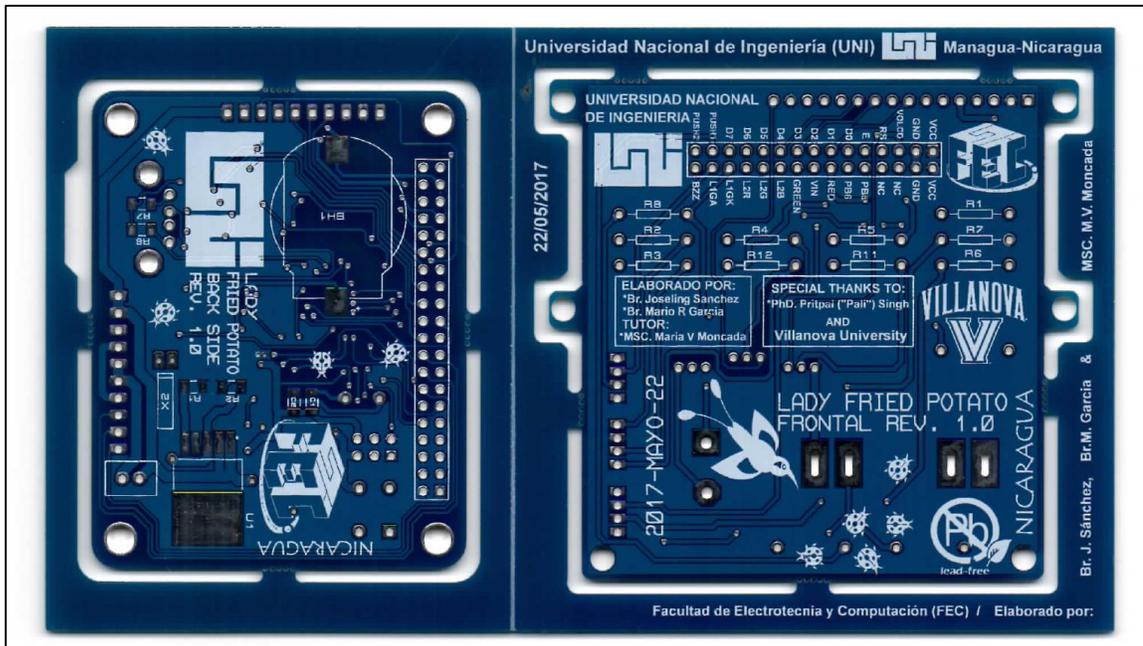


Figura AX.17 Resultado final escaneado detalles de atrás.

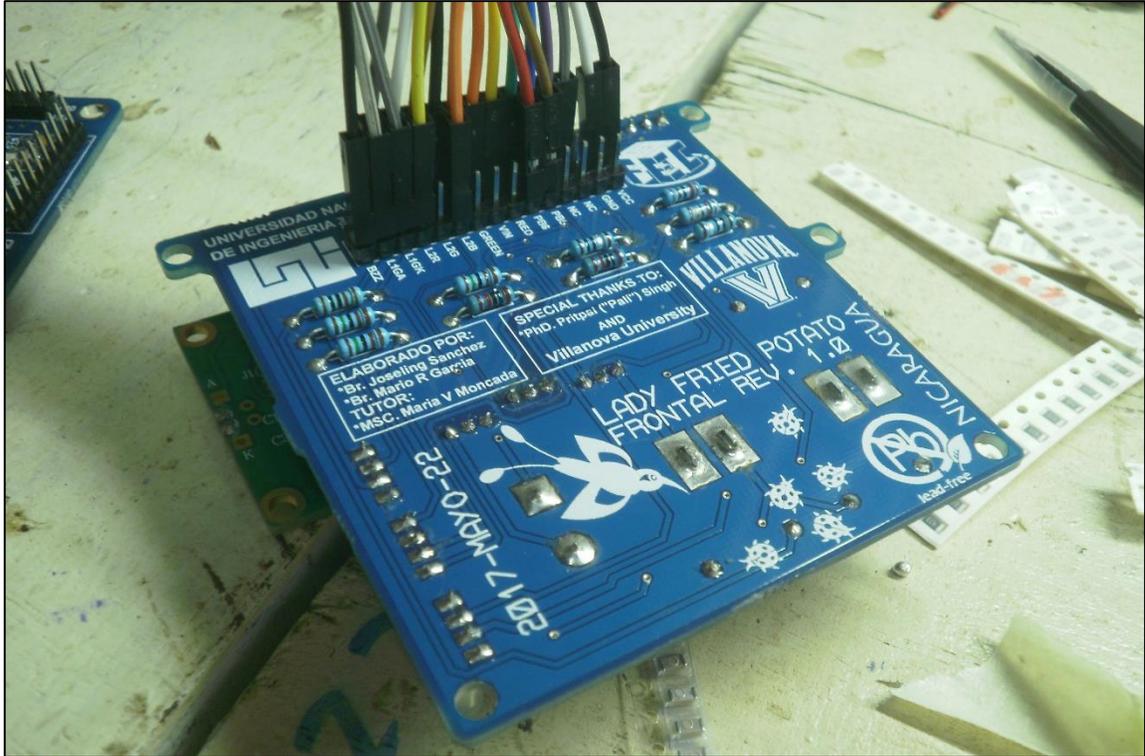


Figura AX.18 Montaje de los componentes en el PCB de interfaz de usuario (atrás).



Figura AX.19 Montaje de los componentes en el PCB de interfaz de usuario (adelante).

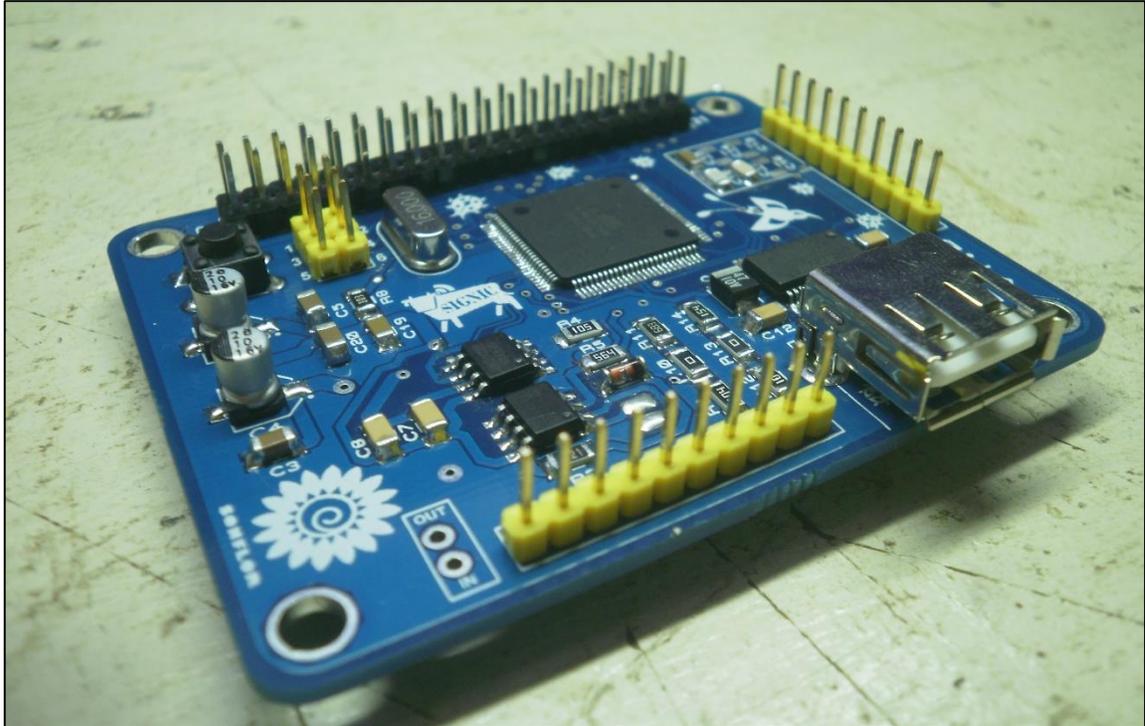


Figura AX.20 Montaje de los componentes en el PCB de interfaz de control (adelante).

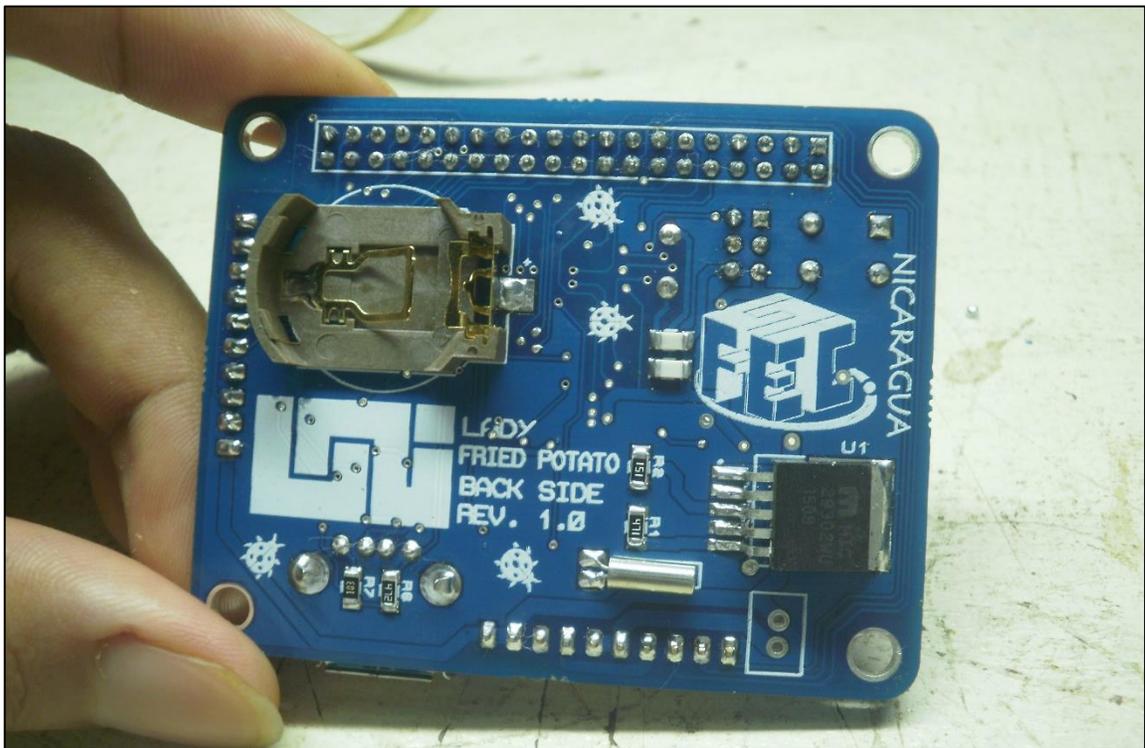


Figura AX.21 Montaje de los componentes en el PCB de interfaz de control (atrás).

Anexo XI: Costos de fabricación

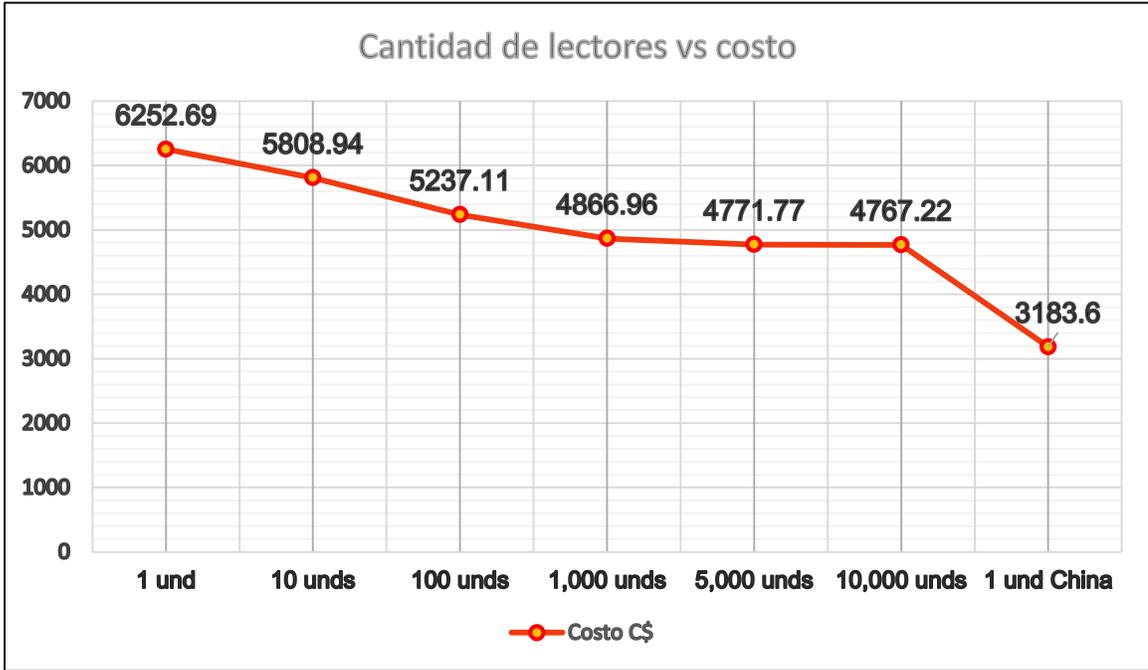


Figura AXI.1 Costo de fabricar el lector RFID ISO 11784/85 en córdobas nicaragüenses.

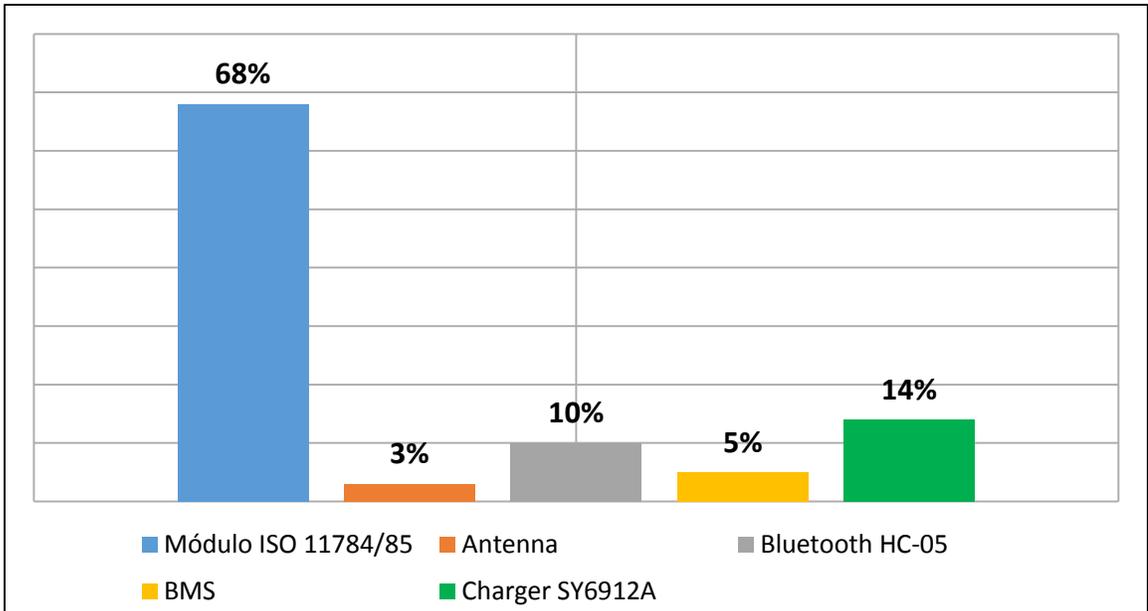


Figura AXI.2 Distribución porcentual de los costos de los insumos modulares utilizados en el lector RFID ISO 11784/85.

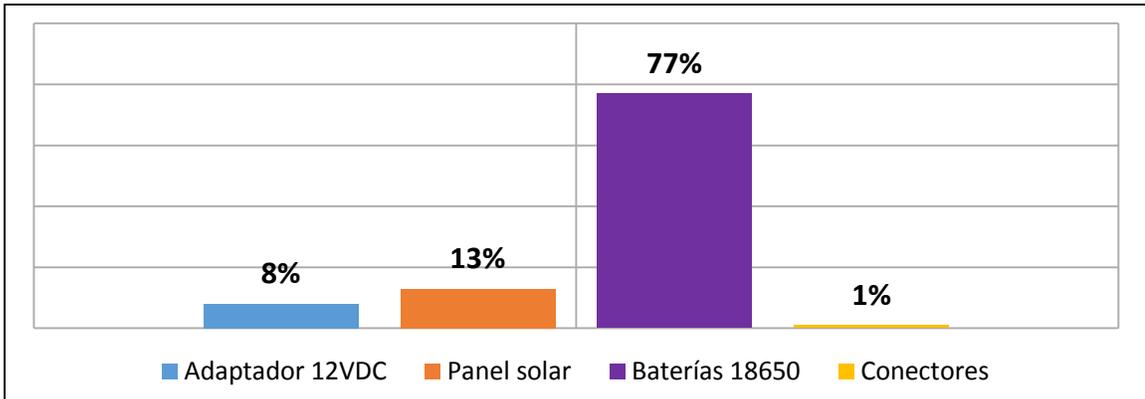


Figura AXI.3 Distribución porcentual de los costos de la fuente de poder utilizada en el lector RFID ISO 11784/85.

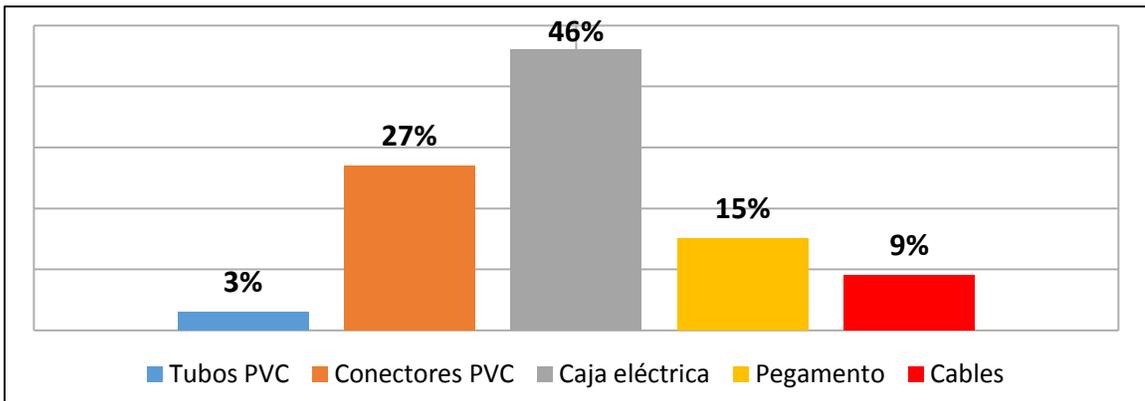


Figura AXI.4 Distribución porcentual de los costos de la carcasa utilizada en el lector RFID ISO 11784/85.

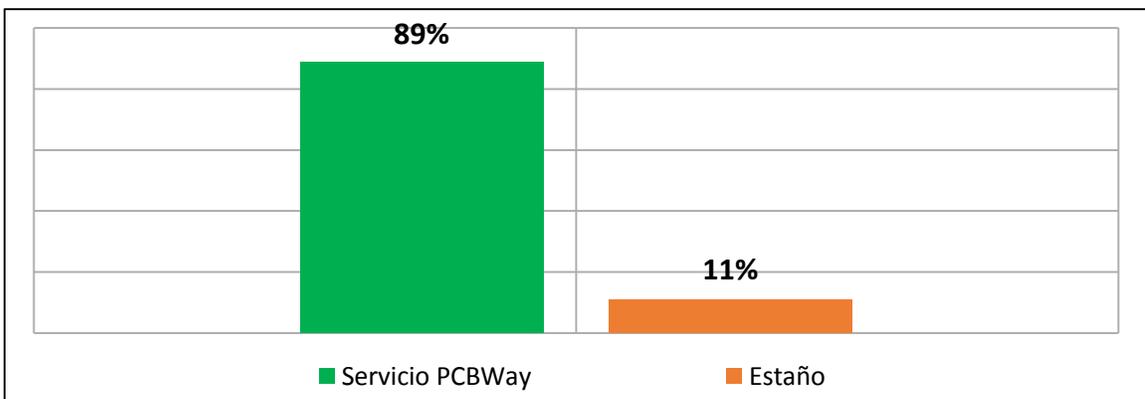


Figura AXI.5 Distribución porcentual de los costos de manufactura de las PCBs utilizadas en el lector RFID ISO 11784/85.

Anexo XII: Trazabilidad bovina

I. Relación entre APPCC y Trazabilidad

Para poder conocer la relación existente entre **APPCC** y trazabilidad, lo primero que debemos saber es que es **APPCC**. Las siglas APPCC en español, significan: *Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico*, y sus siglas en inglés son: **HACCP**, las cuales significan: “*Hazard analysis and critical control points*”.

APPCC: Es un sistema metódico, con base científica y enfoque eminentemente preventivo empleado en la identificación, evaluación y control de puntos existentes durante la transformación, almacenamiento y distribución de los alimentos, con el objeto de producir alimentos sanos e inocuos para el consumidor. (Figura AXII.1)



Figura AXII.1 Palabras clave del sistema APPCC

APPCC es básicamente un sistema de autocontrol llevado a cabo por una empresa y constituido por una serie de planes o prerrequisitos tales como: limpieza y desinfección, control de plagas, formación de manipuladores, mantenimiento de maquinaria e instalaciones, trazabilidad, control de desperdicios, etc, que han de ser implantados por todas las entidades implicadas en la cadena alimentaria. Igualmente, es aplicable a todos los sectores relacionados con la alimentación, como establecimientos de comida preparada, restaurantes, cafeterías, fábricas, comedores colectivos, pescaderías, carnicerías, panaderías, pastelerías, etc. **APPCC** tiene como fin asegurar la inocuidad de los alimentos permitiendo la identificación, evaluación y prevención de peligros

físicos, químicos o microbiológicos que pueden afectar la salud humana. Este sistema de autocontrol tiene un archivo de registros que facilita en gran medida la inspección sanitaria, mejorando de esa manera, las relaciones que el empresario alimentario tiene con la administración. Asimismo, la trazabilidad no es un sistema de autocontrol aparte, sino que se encuentra integrado dentro del sistema de autocontrol de puntos críticos, siendo este uno de sus prerrequisitos.

Como ya hemos mencionado en las definiciones anteriores, la trazabilidad se trata de un sistema de seguimiento de un producto determinado a lo largo de toda la cadena alimentaria a través de la información que se va generando a lo largo de este del proceso de fabricación o producción. En contraste con la trazabilidad, el sistema **APPCC** recopila los datos del entorno en el cual ese producto se desarrolló. Para comprender mejor, supongamos que en una empresa dedicada a la cría de ganado vacuno hay un problema de salud con las reses. El responsable de la calidad tendría que averiguar de dónde viene ese problema para tomar las acciones correctas pertinentes y subsanarlo. La mejor forma de comenzar a investigar sería recopilar los registros generados por las reses afectadas, primero a nivel de trazabilidad y luego si con la trazabilidad no se descubre el problema en entonces debe recurrirse tanto al registro **APPCC**. Esto es debido a que la trazabilidad

aporta información de toda la materia prima usada en el ganado como alimentos ingeridos, vacunas, edad, peso etc. y el sistema *APPCC* aporta información del origen y estado de la materia prima utilizada. Esto significa que si en algún eslabón de la cadena alimentaria, dentro del ámbito de una empresa determinada, se rompe la **cadena informativa** del *APCC*, el sistema de trazabilidad se quebrará, perdiéndose la efectividad y como consecuencia habrá un caso de **intrazabilidad**. En definitiva, la trazabilidad necesita la información recopilada por el sistema de *APPCC* para poder funcionar y este último no está completo si no va acompañado de un sistema de trazabilidad, pues ante cualquier problema no podremos rastrear el camino completo que ha seguido el producto y sus componentes dificultando en gran medida la resolución del mismo.

II. Icono de trazabilidad

En la producción moderna no se concibe un producto sin sus datos de trazabilidad. Como ya lo hemos mencionado anteriormente, es uno de los prerrequisitos del manual de *APPCC*. Sin embargo la implantación y mantenimiento del sistema de trazabilidad, supone un punto de esfuerzo para determinadas empresas, sobre todo para las empresas alimentarias pequeñas y familiares. Por ello, las empresas que tengan implantados el sistema de trazabilidad pueden mostrar el icono que se muestra en la **Figura AXII.2** que identifica y garantiza sus productos.



Figura AXII.2 Símbolo distintivo que llevan los productos que son trazados.

III. Métodos *No Electrónicos de identificación ganadera*

A. Hierro caliente

El herrado de animales con hierros calientes ha sido usado por 4000 años como muestra la **Figura AXII.3**. Si bien, poner una marca permanente en el animal ha sido de utilidad durante mucho tiempo, este método tiene desventajas. A continuación enumeramos algunas.

- La limitación de tamaño hace que el número de símbolos que pueden ponerse en la piel del animal sea limitado y la identificación individual no pueda realizarse.



Figura AXII.3 Marcando un animal con hierro caliente.

- El herrado daña y devalúa el cuero del animal entre más grande la marca, mayor el daño y la pérdida financiera.
- Un herrado deficiente o el uso de símbolos ambiguos afecta negativamente la legibilidad de la marca. El uso de series de símbolos codificados usados en la práctica moderna hace la legibilidad difícil.
- El “Borrado” de marcas vuelve las nuevas marcas ilegibles.
- El crecimiento normal de los animales deforma las marcas aplicadas durante la juventud, de manera que cuando el animal alcanza edad adulta, la marca es ilegible.
- Diferentes propietarios pueden intencionalmente usar o no marcas iguales o similares para causar confusión.

A pesar de las obvias desventajas del herrado, la técnica es barata y por esta razón todavía es usada para hacer la identificación del propietario, inclusive, en el país aún es exigido usar este método. Si los hierros tienen algún uso, es para identificar al dueño del animal pero no pueden usarse para propósitos de manejo y trazabilidad.

B. Hierro frío



Figura AXII.4 Marcación con hierro frío.

Para este método se requiere el uso de hierros, que trabajan por súper congelación, y destruyen la pigmentación de las células. Este sistema no destruye los tejidos, su incidencia es sobre las células melanóforas de la piel, creando una decoloración pilosa. Los elementos que se utilizan son nitrógeno líquido o dióxido de carbono en alcohol o acetona. Este sistema tiene las mismas desventajas que el herrado con calor, excepto que se presume que es menos doloroso. Es también caro y difícil de aplicar y por ende está fuera del alcance del pequeño productor. La **Figura AXII.4** muestra un animal siendo marcado con hierro frío.

C. Tatuaje

El uso de tatuajes tiene como filosofía básica la identificación de la propiedad del animal, como en el caso de herrado. No existe un control central sobre la aplicación de tatuajes. No obstante, La cantidad de símbolos que pueden ser usados no permite la identificación individual y lo más importante su lectura es un gran problema. A los animales normalmente se les tatúa dentro de las orejas lo cual significa que el animal tiene que ser capturado y examinado, para ver si no ha sido marcado o para descifrar los símbolos que

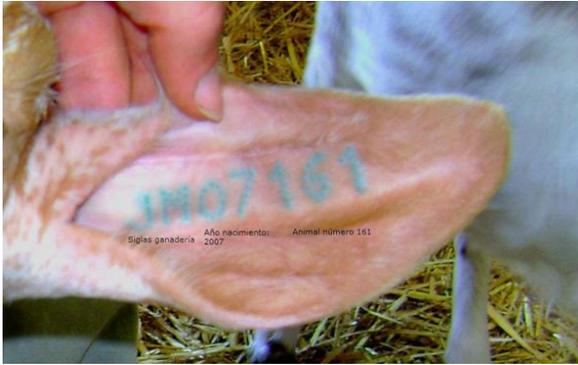


Figura AXII.5 Tatuaje en la oreja de animal.

se usaron en el tatuaje. Estas dificultades hacen el tatuaje útil sólo para la confirmación de propiedad. Otra desventaja surge al identificar dueños sucesivos, mientras que el herrado puede hacerse en varias partes del cuerpo por dueños sucesivos, en el caso del tatuaje sólo hay dos orejas disponibles para tatuar. La **Figura AXII.5** muestra un animal de corral tatuado en la oreja.

D. Arete simple

Identificar animales con aretes plásticos en las orejas se ha usado por décadas. El método consiste en comprar los aretes ya impresos o comprarlos blancos y escribir con marcador el número que se desee añadir a cada animal. Este tipo de identificación es la “*visual-visual*” que actualmente se utiliza en el país. Estos aretes se ponen en la oreja del animal de corral con herramientas especiales para perforar, además, cada arete posee un macho y hembra. Generalmente el conector macho va siempre por detrás de la oreja sujetando el lado hembra que queda frontal a la oreja accesible a la vista. Una característica muy importante es que una vez que el conector macho se une al hembra es casi imposible separarlos. La duración de estos aretes se ha cuestionado, especialmente si los aretes se caen, se borran o se hacen ilegibles. Las **Figura AXII.6** y **Figura AXII.7** muestran este tipo de aretes.

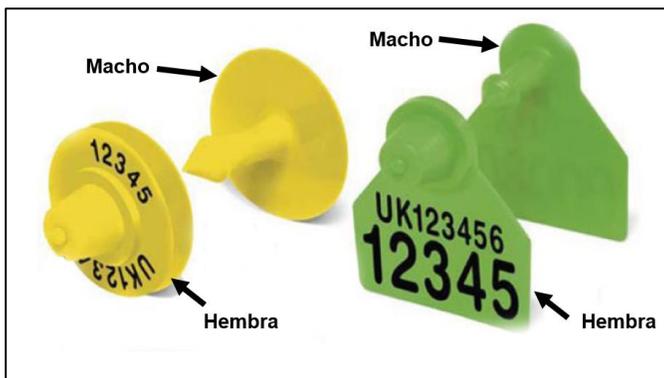


Figura AXII.6 Aretes plásticos de ganado para identificación y trazabilidad manual.

Por otro lado, en la producción de estos aretes se han hecho grandes progresos y actualmente se encuentran disponibles aretes dobles a prueba de adulteración que son impresos con tecnología láser, los cuales tienen alta tasa de retención y permanecen legibles por muchos años. Estos aretes pueden imprimirse con códigos alfanuméricos de varios caracteres para identificar de manera efectiva y única a cada animal individual, y además son claros y legibles desde una distancia de alrededor de 2 metros. Los aretes pueden durar toda la vida de un animal para sacrificio y se pueden usar para registrar su progreso en todos los pasos de la cadena de producción. Dentro de sus propios sistemas de manejo, los productores pueden establecer fácilmente bases de datos con esta

identificación para monitorear su progreso en términos de ganancia de peso y conversión alimenticia. Se han desarrollado aretes en varias formas y tamaños para diferentes especies animales, los más usados son los aretes grandes de plástico para bovinos y búfalos y los aretes pequeños plásticos o metálicos son más apropiados para ovinos y caprinos. La principal desventaja aquí es que el registro de la identidad animal a través de la cadena de producción se debe hacer manualmente y puede estar sujeta a errores de transcripción.



Figura AXII.7 Ganado con aretes dobles.

IV. Legislaciones y normativas relacionadas con la trazabilidad bovina

Al visitar **APEN** en Managua, recibimos asesoría en cuanto a las legislaciones que existe en el país, y si bien es cierto que no somos estudiantes de derecho, se nos aclaró que es necesario conocer los principios legislativos que fundamentan los sistemas de trazabilidad y sanidad agropecuaria con tal de saber que estrategias tomar al momento de presentar un diseño. Esto quiere decir que mucho de lo que los principios legislativos mencionen, puede convertirse en futuros requerimientos de diseño para el lector. A continuación enumeramos las legislaciones existentes y luego presentaremos una breve reseña de cada una⁶³:

- **Ley 291:** *Ley de Salud Animal y Sanidad Vegetal.*
- **Normativa Ministerial** “Manual de BPP en la producción primaria” (Resolución 117 – 2004).
- **Acuerdo Ministerial N° 001 – 2009.** *Creación Programa Trazabilidad Agroalimentaria y N°001- 2009 Art. 1 Crease Subprograma de Trazabilidad bovina.*
- *Nuevo Código Penal. Proyecto de Ley 641. 13 de Noviembre 2007.*
- *NTON de Trazabilidad Bovina publicada en Gaceta Octubre, 2011.*
- **LEY No. 862** “LEY CREADORA DEL INSTITUTO DE PROTECCIÓN Y SANIDAD AGROPECUARIA”

⁶³ Estas legislaciones no son exclusivas de la trazabilidad bovina y aplican a otras trazabilidades.

A. Ley 291: Ley de Salud Animal y Sanidad Vegetal

Esta ley deja claro lo siguiente:

Que es responsabilidad y función del Estado velar, promover y preservar el patrimonio agropecuario, acuícola y pesquero de la Nación, así como responsabilidad de éste, proporcionar la protección y bienestar de la salud humana, la salud animal, la sanidad vegetal, la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente en general y un desarrollo económico integral de la Nación.

Esta ley no está directamente relacionada con la trazabilidad, pero si con la sanidad animal y vegetal lo cual se alcanza con ayuda de los sistemas de trazabilidad. Por ello, esta ley apoya de manera indirecta la implementación de sistemas de trazabilidad.

B. Normativa Ministerial “Manual de BPP⁶⁴ en la producción primaria” (Resolución 117 – 2004)

Esta norma establece los principios esenciales de buenas prácticas pecuarias en la producción primaria aplicables a lo largo de la cadena productiva, hasta su traslado a los establecimientos de procesamiento o distribución, a fin de lograr que los alimentos sean inocuos y aptos para el consumo humano según el uso para el cual se destinen.

C. Acuerdo Ministerial N° 001 – 2009. Creación Programa Trazabilidad Agroalimentaria y N°001- 2009 Art. 1 Crease Subprograma de Trazabilidad bovina

Esta es una normativa para trazabilidad escrita en la Gaceta y sirve para establecer el ‘Sistema de Registro de Establecimientos’, identificación y movilización de ganado bovino.

D. Nuevo Código Penal. Proyecto de Ley 641. 13 de Noviembre 2007

Los artículos más relevantes en esta ley relacionados con la trazabilidad son los siguientes:

- **Art. 338.** *Contaminación y expendio de carne no apta para el consumo humano. Pág. 97. Inciso a) y c).*
- **Art. 339.** *Sacrificio de animales sin control sanitario. Capítulo IV Artículo 391. Maltrato de animales.*

Esta ley penaliza (con cárcel o multas) el expendio y sacrificio de animales que no cumplen con las buenas practicas sanitarias.

⁶⁴ BPP: Buenas Practicas Pecuarias.

E. NTON⁶⁵ de Trazabilidad Bovina publicada en Gaceta Octubre, 2011

Esta es una norma jurídica de nuestro país de la categoría norma técnica en el sector agropecuario y tiene como objetivo:

- Establecer las disposiciones para el Sistema de Registro de Establecimiento Rural o Finca, Identificación y Movilización de los Animales Bovinos.

Lo cual quiere decir que se requiere un control en los animales bovinos en el país.

F. LEY No. 862 “LEY CREADORA DEL INSTITUTO DE PROTECCIÓN Y SANIDAD AGROPECUARIA”

Esta ley fue creada en el 2014 con la finalidad de crear la entidad **IPSA**, encargada de lo siguiente:

El Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria tendrá por objeto facilitar, normar, regular e implementar las políticas y acciones sanitarias y fitosanitarias que conlleven o se deriven de la planificación, normación y coordinación de las actividades nacionales vinculadas a garantizar, mantener y fortalecer la sanidad agropecuaria, acuícola, pesquera y forestal.

G. Análisis de las legislaciones

Como se observó anteriormente, las leyes, normativas y disposiciones del país, todas apuntan a que los sistemas de trazabilidad son necesarios para el país, ya que regulan la identificación, el movimiento, la salubridad y el proceso ganadero. No obstante, el talón de Aquiles hasta el momento ha sido en los aspectos técnicos de cómo manejar esa información y hacerla converger en un mismo punto.

⁶⁵ **NTON**: NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE.

Anexo XIII: Fotos variadas del trabajo realizado

