



**Unidad Ejecutora:**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA E INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS

**Título del proyecto de investigación:**

Utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados

**Código del proyecto:**

C194

**Programa de acreditación:**

PROINCE

**Director del proyecto:**

Lupi Oreste Daniel

**Co-Director del proyecto:**

Zaradnik, Ignacio José

**Integrantes del equipo:**

Slawiski, Javier; Canziani, Mónica; Turconi, Diego; Campero, Ignacio; Dominguez, Facundo

**Fecha de inicio:**

01/01/2016

**Fecha de finalización:**

31/12/2017

**Informe Final**

**Sumario**

1. Resumen.....	p.nº2
2. Memoria descriptiva.....	p.nº3
3. Introducción.....	p.nº4
4. Desarrollo.....	p.nº7
5. Conclusiones.....	p.nº44
6. Bibliografía.....	p.nº45
7. Anexos.....	p.nº47

## 1. Resumen

El objetivo general de este trabajo es la formación de recursos humanos capacitados en un área tecnológica de punta como es la electrónica impresa, que utilizando métodos de fabricación innovadores más rápidos y económicos, brinda una solución a las necesidades de sensores y componentes electrónicos de bajo costo y alta calidad abriendo así el camino a aplicaciones que van desde la trazabilidad de productos hasta la denominada Internet de las Cosas. Para ello se investigará en:

- Las distintas interfaces electrónicas para la utilización práctica de la electrónica impresa creada en base al empleo de cabezales inkJet que utilizan tintas basadas en nanopartículas específicas de acuerdo a las propiedades del circuito requerido.
- La aplicación de electrónica impresa para el estudio y evaluación de los sistemas de trazabilidad de productos industriales existentes en el medio fabril local añadirá al proyecto una visión centrada en la realidad productiva nacional.
- Se desarrollarán las interfaces electrónicas para aplicar los componentes obtenidos en aplicaciones concretas tales como trazabilidad de productos y comunicación entre objetos en base a transponders de distintas frecuencias. Los modelos obtenidos se utilizarán para interpretar los distintos comportamientos en función del material de sustrato y de los parámetros.

Esta tecnología abre la posibilidad de nuevas aplicaciones, como por ejemplo, pantallas flexibles, etiquetas y envases inteligentes (que informan sobre el producto, vencimiento y su conservación y permiten su seguimiento y logística), libros interactivos, carteles decorativos dinámicos o un tablero capaz de dar luz o ser un sensor de presión o temperatura, etc. Además, por el tipo de equipamiento involucrado permite reducir notablemente el tiempo de fabricación y los costos de producción, ya que no necesita una sala limpia como en el caso de la microelectrónica.

Palabras clave: Electrónica impresa, nanopartículas, Trazabilidad, Internet de las cosas, RFID.

## **2. Memoria descriptiva**

### **2.1. Periodo 2017.**

El grupo de trabajo se desempeñó de forma muy satisfactoria, logrando cumplir la mayoría de los objetivos propuestos así como las actividades asociadas a ellos. Adquiriendo en el transcurso de dicho proyecto conocimientos y técnicas de gran utilidad para la industria.

Las actividades 5 y 7 que se habían resuelto en forma parcial durante el primer año fueron finalizadas, así como las actividades 8, 9, 10, 11 y 12 propuestas para el segundo año.

La actividad 6, Diseño e implementación de un “Banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance”, no logró finalizarse a raíz de las dificultades que se presentaron en la interpretación de las normas asociadas. Los componentes para el banco fueron totalmente elaborados, tal como se detalla en la sección 4.6.2, no lográndose hacer los ajustes necesarios para realizar las pruebas sobre los dispositivos desarrollados.

Si bien casi el total de las actividades fueron llevadas a cabo, tal como se detalla en el párrafo anterior, los objetivos de diseño y escritura sobre distintos envases y fabricación de las primeras etiquetas no lograron cumplirse en su totalidad. Esto se debió a problemas técnicos sufridos por el equipo de impresión de tintas (CeraPrinter X-Serie) que se encuentra en las instalaciones de la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN), lo que requirió de especialistas del exterior para su reparación. Dichos problemas generaron demoras considerables en los objetivos propuestos, a pesar de ello se lograron realizar las primeras pruebas de impresión, tal como se documenta en la sección 4.3.2.6.

La finalización de la puesta en marcha del banco de ensayos, así como las pruebas sobre las etiquetas desarrolladas en impresos convencionales y la implementación y pruebas de etiquetas sobre distintos materiales se finalizarán en el marco de un proyecto PICTO, en el cual el grupo continúa investigando la temática planteada en este proyecto.

En lo referido a transferencia, a continuación se detalla la actividad desarrollada:

“Sistema de visualización de precios para supermercados”. Lupi, Daniel; Zaradnik, Ignacio; Turconi, Diego; Dominguez, Facundo. Congreso Argentino de Sistemas Embebidos 2017 (Case 2017), Buenos Aires, Argentina. ISBN: 978-987-46297-3-9.

“Procesos Tecnológicos, Tintas y Sustratos empleados en Electrónica Impresa”. Canziani, Monica; Zaradnik, Ignacio; Tantignone, Hugo; Lupi, Daniel; Villares Had, Bernardo. VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada 2017 (uEA 2017), Córdoba, Argentina.

“Ensayos de impresión con CeraPrinter X-Serie”. Villares Had, Bernardo; Lupi, Daniel; Zaradnik, Ignacio; Slawiski, Javier; Campero, Ignacio. Congreso de Investigación Aplicada y Desarrollo en nanotecnología - 2017. Buenos Aires, Argentina.

### **2.2. Periodo 2016.**

El grupo de trabajo se desempeñó bien. En lo referente a las actividades planteadas para este primer año, se ha cumplido con las actividades 1, 2, 3 y 4, y en forma parcial con las actividades 5, 6 y 7.

Los fondos correspondientes a la primera cuota del presupuesto fue asignada a fines de noviembre, con lo cual se han encarado la compra de equipamiento para el armado del banco de trabajo y el sistema propuesto (actividades 6 y 7).

Los primeros días de diciembre, se han incorporado dos docentes y un graduado. La incorporación de los docentes fue contemplada al momento de la realización de GANTT inicial, para la realización de las actividades del segundo año. La incorporación de alumno graduado permitirá encarar cualquier dificultad técnica que se presente.

En lo referido a transferencia, a continuación de detalla la actividad desarrollada:

“Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos”  
Canziani, Monica; Lupi, Daniel; Ortiz, Juan José; Slawiski, Javier; Zaradnik, Ignacio VII Congreso de Microelectrónica Aplicada 2016 (uEA 2016), San Luis, Argentina. ISBN 978-987-733-068-7

### **3. Introducción**

#### **3.1. Selección del Tema**

La electrónica impresa es una tecnología que combina la fabricación de productos electrónicos y de impresión de texto/gráfico. Por esta combinación, se pueden fabricar productos electrónicos de alta calidad que son delgados, flexibles, usables y ligeros, de diferentes tamaños, ultra rentables y ecológicos. Con estas ventajas en mente, se plantea la utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados.

#### **3.2. Definición del Problema**

Desde hace más de una década la clásica impresora de oficina conocida como “chorro de tinta” o “inkjet” se ha empleado en distintas investigaciones aprovechando sus características tecnológicas que le permiten disparar muy pequeñas gotas de tinta hacia una posición bien determinada del sustrato a imprimir.

Hoy en día la gran mayoría de los cabezales de impresión funcionan por el método denominado “drop-on-demand”, donde las gotas son generadas por diversos métodos de alta velocidad de respuesta: ya sea por efectos térmicos, electrostáticos o piezoeléctricos.

La impresión por chorro de tinta se ha impuesto sobre otros métodos principalmente por ser un proceso de un solo paso y que utiliza un equipo compacto y económico que se utiliza para todo tipo de sustratos. Además de la utilización para diversos tipos de conductores esta tecnología permite “graficar” con distintos tipos de materiales funcionales: OLEDs (organic light emitting diodes), cerámicos, biomateriales, y aún complicados objetos 3D.

En el campo de la electrónica impresa, la tecnología por chorro de tinta permite diagramar con muy alta resolución del orden de los 10 micrómetros, lo que lo aleja de las técnicas competidoras. Esto permite a la industria electrónica la fabricación de displays flexibles, identificadores por radio frecuencia (RFID), celdas solares, mini-baterías, etc.

En el caso puntual de identificadores por radio frecuencia (RFID), actualmente la tecnología más difundida en la identificación y seguimiento de objetos y productos industriales es el sistema de código de barras, su bajo costo y facilidad de fabricación ha ayudado a su masificación. Este se basa en la lectura óptica de un conjunto de líneas paralelas de distinto ancho y separadas a distancias variables, estas son iluminadas y reflejan parte de esta luz la cual es captada por un sensor. El sistema de código de barras presenta varios inconvenientes como lo son la baja capacidad de almacenamiento de datos y la imposibilidad de ser reprogramado, ya que no permite la reescritura, además está limitado su funcionamiento en ambientes sucios.

#### **3.3. Justificación del Estudio**

Tal como se comentó en la sección 3.1, la electrónica impresa es una tecnología que combina la fabricación de productos electrónicos y de impresión de texto/gráfico, pudiéndose fabricar productos electrónicos de alta calidad que son delgados, flexibles, usables y ligeros, de diferentes tamaños, ultra rentables y ecológicos. La misma lleva más de 60 años en desarrollo, no obstante, en las últimas décadas, la tecnología de impresión ha crecido con relación a los avances logrados por la tecnología de fabricación electrónica. Asimismo, existe potencial para ampliar significativamente el campo de utilización, mediante la combinación de esta tecnología con los diversos avances en nanomateriales para aplicaciones de electrónica.

Con esto en mente, se generó un proyecto que busca la formación de recursos humanos capacitados en esta área tecnológica de punta, que utilizando métodos de fabricación innovadores

más rápidos y económicos, brinda una solución a las necesidades de sensores y componentes electrónicos de bajo costo y alta calidad, abriendo así el camino a aplicaciones que van desde la trazabilidad de productos hasta la denominada Internet de las Cosas. A fin de estudiar los procesos, técnicas, materiales y otros se decidió tomar como aplicación testigo los sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos, aplicación en la cual la electrónica impresa se puede emplear para la fabricación de las antenas de los mismos.

### **3.4. Limitaciones**

Como limitaciones para el desarrollo de este proyecto nos encontramos con los siguientes temas:

- Disponibilidad del software y el equipamiento para la realización de impresiones electrónicas en el predio de la Universidad.
- Acceso a instalaciones e instrumental adecuado para realizar las pruebas y ensayos asociados a las normas de aplicación.
- Heterogeneidad de conocimientos en los miembros del grupo.
- Disponibilidad de recursos económicos.
- Disponibilidad de puerto de comunicación libres (TCP/UDP) para el tráfico de información por internet.

### **3.5. Hipótesis**

La electrónica impresa permite la realización de dispositivos electrónicos mediante técnicas de impresión gráfica, tales como la serigrafía y el de "chorro de tinta " o inkjet, pudiendo utilizar tintas conductoras, semiconductoras, magnéticas o piezoeléctricas. La utilización de esta técnica permite imprimir elementos como resistencias, condensadores, bobinas, transistores y todos los componentes electrónicos presentes en los circuitos convencionales sobre soportes muy diversos, como tejidos o plásticos.

En los últimos años la tecnología de código de barra ha comenzado a ser reemplazada por los dispositivos de identificación por radio frecuencia (RFID siglas en inglés de Radio Frequency Identification), estos sistemas utilizan una comunicación de corto alcance por medio de radiofrecuencia. El sistema se basa en adherir al objeto o producto a identificar un chip mediante un elemento (etiquetas adhesivas o tag) que puede almacenar y transmitir, sin necesidad de contacto físico o visual, la información por radiofrecuencia hacia un lector.

### **3.6. Objetivos**

El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de sensado y detección de productos manufacturados a través de la tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID); adaptada a los ambientes fabriles existentes en nuestro país.

Durante el transcurso del proyecto se desarrollaran los subsistemas de comunicación (emisor-receptor) y las etiquetas adhesivas que se colocaran a los bienes a detectar. A través de las conclusiones brindadas por la búsqueda bibliográfica y estado del arte se obtendrán los valores más apropiados de frecuencia de trabajo y tecnologías más convenientes para el desarrollo de las etiquetas adhesivas y de las fuentes de emisión y recepción de datos.

### **3.7. Alcances del Trabajo**

Se realizará la adquisición, compilación y estudio de normas internacionales. Búsqueda de información a través de múltiples canales (Antena Tecnológica, MinCyT, etc). Se analizarán las tecnologías de corto alcance y sus aplicaciones.

Así mismo, durante el proyecto se diseñará e implementará un “Banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance” para llevar nuevos productos al mercado lo antes posible, es importante demostrar el cumplimiento de principios y la interoperabilidad mediante pruebas exhaustivas, el banco de pruebas en HF sin contacto es una herramienta de prueba para los dispositivos microelectrónicos analógico / digital a desarrollar en las sucesivas capas de diseño hasta la capa de aplicación dirigida tanto a las tarjetas y lectores (según normas la OACI, ISO14443, PayPass y similares). Adecuación edilicia del laboratorio para el banco de ensayos.

Se realizará el diseño, modelado y simulación de los componentes de lectura y activación del sistema de sensado. Desarrollo de los modelos virtuales utilizando los paquetes de software, CeraSlice, DropAnalyser y FabAnalyser, los mismos pertenecen a la Fundación Argentina de Nanotecnología que los aporta al proyecto.

Evaluación de las tintas más usadas en la producción de antenas impresas sin contacto con el sustrato, selección del procedimiento de curado para cada caso.

Estudio de las diversas opciones de etiquetas sobre diferentes sustratos, etiquetas adhesivas, variantes sobre los tipos de adhesivos. Escritura directa sobre los envases, pruebas sobre distintos tipos de embalaje (Packaging and labeling).

Desarrollo de una base de datos de información sobre productos industriales para estas tecnologías de impresión.

Fabricación de los primeros prototipos de etiquetas.

## **4. Desarrollo**

### **4.1. Material y Métodos**

El trabajo realizado durante el año 2016 fue de investigación y diseño de circuitos impresos. Para llevar a cabo estas tareas se requirió de los siguientes materiales:

- Computadoras.
- Software de diseño de circuitos impresos.

Independiente de las computadoras de uso personal que se hayan utilizado para la investigación, se utilizaron una computadora perteneciente al grupo de inteligencia ambiental, dentro del ámbito de la Universidad, así como las disponibles en el PRAMIN (Área de trabajo común destinada a las tareas de investigación)

A fin de estudiar los procesos, técnicas, materiales y otros se decidió tomar como aplicación testigo los sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos, aplicación en la cual la electrónica impresa se puede emplear para la fabricación de las antenas de los mismos. Y por lo tanto comenzar con un estudio del estado del arte de las tecnologías asociadas. Este estudio no se enfocó a ninguna aplicación en particular, a diferencia de otros trabajos, los cuales se centran en aplicaciones particulares o ámbitos especiales [15][16][17][18], sino tan solo a ejemplificar algunos usos de ellas, sus principios de funcionamiento y las normativas asociadas. Importantes estos últimos al momento de validar los dispositivos desarrollados por técnicas de electrónica impresa.

### **4.2. Lugar y Tiempo de la Investigación**

La investigación fue llevada a cabo en el Laboratorio Abierto de la Carrera de Ingeniería Electrónica, el cual es parte del Laboratorio de Electrónica del departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de la Matanza, y en el PRAMIN.

### **4.3. Descripción del Objeto de Estudio**

#### **4.3.1. Electrónica Impresa**

La información que se presenta a continuación es un resumen de Informe de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva en Tecnologías de Electrónica Impresa elaborado para la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) [22]. Dicho informe tiene fecha de Enero del 2016, por lo que los datos presentados deben tener en cuenta dicha fecha. Para la realización del mismo se utilizó: Guía Nacional de Vigilancia e Inteligencia Estratégica (MINCyT), Patent Inspiration, Espacenet, Science Direct, Scopus, Carrot2, Google Trends, Antena Tecnológica, Cordis, BIDg, entre otros, donde a partir de las mismas se pudo generar un corpus de información de un total de 2.494 registros entre documentos de patentes y de publicaciones científicas.

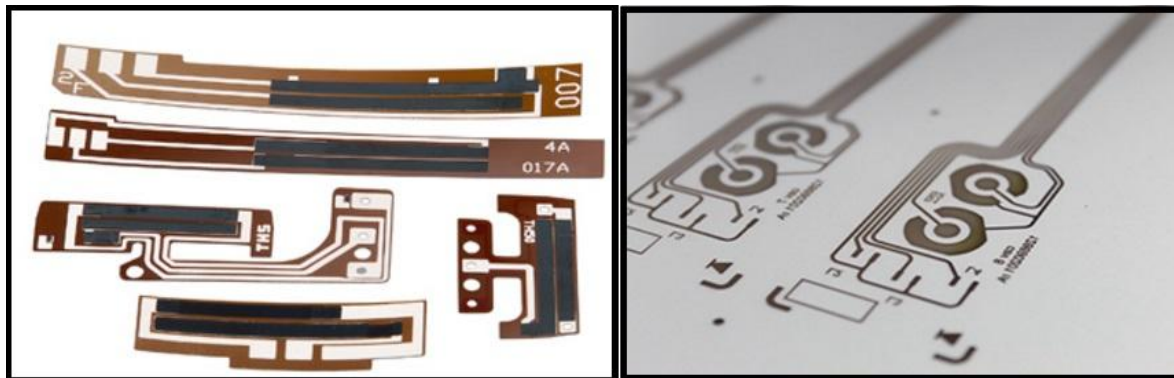
##### **4.3.1.1. Marco Teórico**

Como se mencionó en la introducción, la electrónica impresa no es una idea nueva que apareció en el siglo XXI; sino que creció gradualmente como parte de la electrónica de fabricación en el siglo XX. En la actualidad existen muchos productos de electrónica en el mercado y se han desarrollado grandes avances en la última década debido a la fusión de la tecnología de impresión con las tecnologías de nanomateriales.

La electrónica impresa también llamada electrónica orgánica es un conjunto de métodos de impresión utilizados para crear dispositivos eléctricos en varios sustratos. Permite la fabricación cualquier tipo de dispositivo electrónico a muy bajo costo en sustratos delgados, flexibles y de bajo



peso. Siendo usada en numerosas aplicaciones. Se puede mencionar como ejemplo: integrados, sensores, teclados, memorias, células fotovoltaicas, baterías, células solares, etiquetas identificativas de radio frecuencia (RFID), pantallas flexibles, iluminación, dispositivos de diagnóstico médico de usar y tirar, o simples productos de consumo o juegos. Objetos inteligentes (p.ej. envases inteligentes integrando dispositivos impresos), o ropa interactiva, pueden ser solamente unos ejemplos adicionales de aplicaciones exitosas en el campo de la electrónica impresa u orgánica, la figura N°4.1 nos muestra circuitos y sensores de la empresa Methode [23].



**Figura N° 4.1-** Ejemplos sensores basados en electrónica impresa.

Sus características principales son:

- **Flexibilidad:** Al imprimirse sobre sustratos plásticos, tejidos, papel, etc. Se comporta con total adaptabilidad a formas y situaciones.
- **Robustez:** Se trata de un conjunto integrado y robusto más resistente a golpes y caídas que las clásicas placas de circuitos.
- **Bajo Consumo Energético:** La impresión a escalas micro de los materiales conductores utilizados, permite unos consumos energéticos mínimos.
- **Respetuosa con el medio ambiente:** Los materiales utilizados, principalmente orgánicos disponen de una degradación natural y un mínimo impacto en el Medio.

La electrónica impresa permite la impresión de dispositivos electrónicos y fotónicos mediante técnicas propias de las artes gráficas, como por ejemplo la serigrafía e inkjet, con la particularidad de que utiliza tintas conductoras o semi conductoras. El desarrollo de esta técnica permite imprimir elementos como resistencias, condensadores, bobinas, transistores y todos los componentes electrónicos presentes en los circuitos convencionales sobre soportes diversos, como tejidos o plásticos.

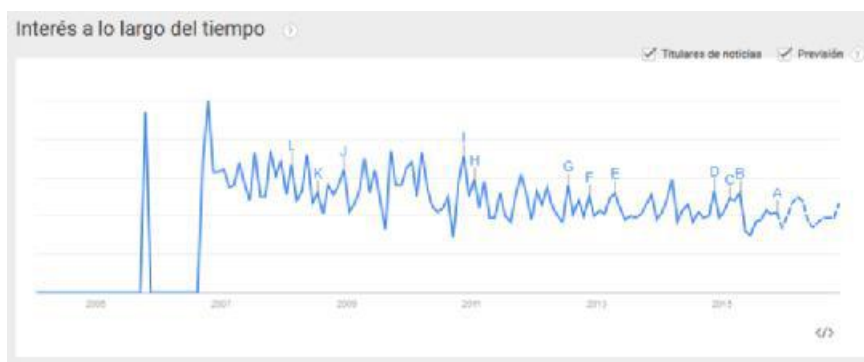
Además reduce notablemente el tiempo de fabricación y los gastos de producción, ya que no necesita una sala blanca como en el caso de la microelectrónica, pues únicamente es necesario imprimir en serie (en hojas o en rotativas) el diseño proporcionado por la ingeniería sobre el soporte escogido. Por tanto, el poder aprovechar todo el potencial de la electrónica impresa dependerá de la aportación de nuevas ideas, uniendo creatividad y tecnología.

Los materiales usados para imprimir son, generalmente, muy finos, ligeros, flexibles y se pueden integrar en líneas de producción existentes de los productos impresos.

Ya no es solo una tecnología experimental. Se puede considerar como una realidad que abre múltiples posibilidades y que tiene un gran potencial, ya que permite otorgar nuevas funcionalidades y propiedades diferenciales a muchos productos que ya se encuentran en el mercado. Es de fácil integración, tiene la capacidad para adaptarse a entornos muy diferentes.

El interés por la temática de la electrónica impresa se puede observar en la Figura N°4.2, donde se muestra la evolución que ha tenido a lo largo del tiempo y se nota claramente que a partir del año 2006 se ha mantenido bastante estable.

En la figura N°4.3 se muestra que los países con mayor intervención en el tema, son Alemania, Estados Unidos, la India y Reino Unido:



**Figura N° 4.2-** Evolución de los términos electrónica impresa. Fuente: Google Trends



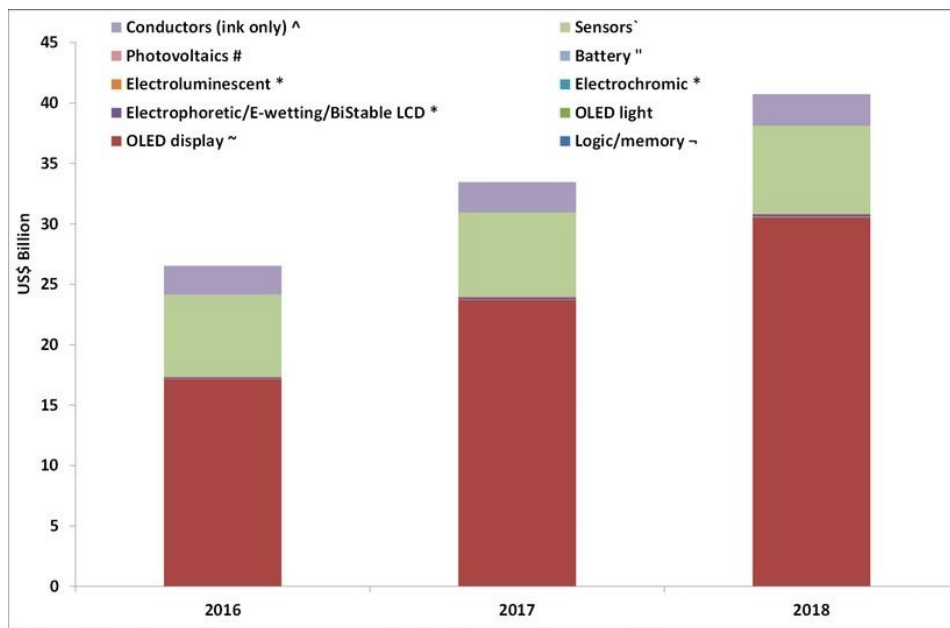
**Figura N° 4.3 -** Países con mayor mención en el tema electrónica impresa. Fuente: Google Trends

Como complemento a la información brindada por el informe de la FAN, se presenta la información publicada por la empresa IDTechEx [24] en referencia al tema. La figura N°4.4 presenta proyección de uso de la electrónica impresa en distintos tipos de dispositivos electrónicos y en la figura N°4.5, que tomando como ejemplo el crecimiento potencial en la fabricación de sensores, muestra el crecimiento por tipo de sensor.

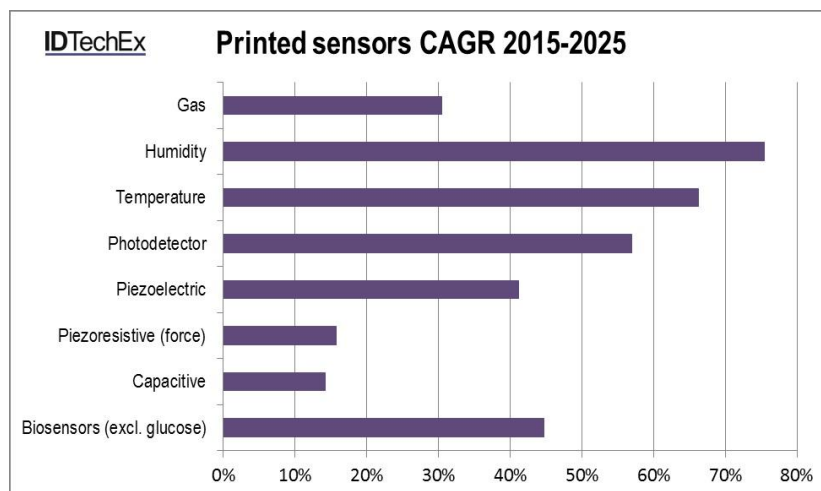
#### 4.3.1.2. Evolución tecnológica de la electrónica impresa a nivel mundial

En los últimos 10 años sobre la temática de electrónica impresa se realizaron 850 patentes, siendo en 2014 el año que registra el mayor pico en patentes, con un total de 143 registros. Entre los países líderes en patentamiento de tecnologías vinculadas a la electrónica impresa se encuentran Estados Unidos (272 patentes), China (130 patentes), Japón (109 patentes), Corea (83 patentes) y Alemania (49 patentes). Y los solicitantes con mayor cantidad de registros de patentes relacionadas con la electrónica impresa son Ricoh Kk , Xerox Corp y Hewlett Packard Development Co. En el caso de **Ricoh KK**, se trata de una empresa japonesa, dedicada a la fabricación de medios térmicos, equipos ópticos, dispositivos semiconductores y componentes electrónicos, entre otros productos y servicios (<https://www.ricoh.com/>). **Xerox Corp**, se trata de una empresa

estadounidense, dedicada a la fabricación de impresoras para diferentes aplicaciones, entre otros productos y servicios (<http://www.xerox.com/>). **Hewlett Packard Development Co.**, se trata de una empresa estadounidense, dedicada a la fabricación de Notebooks, Desktops, Impresoras, Cartuchos, Tóners, etc. (<http://www8.hp.com/ar/es/home.html>).



**Figura Nº 4.4** - Proyección de uso de la electrónica impresa en distintos tipos de dispositivos electrónicos.



**Figura Nº 4.5** - Crecimiento por tipo de sensor

Las áreas tecnológicas con mayor cantidad de registros de patentes de acuerdo a lo monitoreado en relación a la electrónica son:

- Aparatos o procedimientos para la fabricación de circuitos impresos
- Circuitos impresos
- Sistema de indexación relativos a los circuitos impresos cubiertos por H05K1/00
- Sistema de indexación relativos a los circuitos impresos cubiertos por H05K1/00
- Dispositivos de estado sólido que utilizan materiales orgánicos como parte activa

- Disposiciones de entrada para la transferencia de datos destinados a ser procesados en una forma utilizable por el computador; Disposiciones de salida para la transferencia de datos desde la unidad de procesamiento a la unidad de salida
- Metalistería
- Stock de material o artículos diversos
- Sistema de indexación para instalaciones o métodos para conectar o desconectar los cuerpos semiconductores o de estado sólido cubierto por H01L24 / 00
- La generación de energía a través de fuentes de energía renovables

Las áreas de interés principal fueron: Operaciones y transportes, Química y metalúrgica, Física, Electricidad y Nuevas tecnologías.

De igual forma se realizó una búsqueda de publicaciones científicas, obteniendo en esta búsqueda 1.644 publicaciones científicas a nivel mundial, habiendo en el año 2014 un pico 313 publicaciones. Entre las revistas científicas con mayor publicaciones en las temáticas de electrónica impresa se pueden enunciar: Organic Electronics Physics Materials Applications, ACS Applied Materials and Interfaces, Advanced Materials, Ink world, Advanced Functional Materials, entre otras. Los países que están investigando este tipo de tecnologías son: en mayor magnitud Estados Unidos y en forma decreciente Corea del Sur, China, Japón, Alemania, Reino Unido, Finlandia, entre otros. Las principales áreas de estudio de las publicaciones científicas, encontradas referidas a la temática electrónica impresa, son ciencia de los materiales, ingeniería, física, astronomía y química, apareciendo en menor proporción ingeniería química, ciencias de la computación, bioquímica y genética, entre otras.

#### **4.3.1.3. Evolución tecnológica de tintas utilizadas para el proceso de impresión**

En los últimos 10 años se han registrado 54 patentes, viéndose un crecimiento pronunciado a partir del año 2011 sobre el tema en estudio en materia de patentabilidad, siendo 2015 el año que registra el mayor pico en patentes, con un total de 20 registros. Entre los países líderes en patentamiento de tecnologías vinculadas a las tintas para la electrónica impresa se encuentra China con una marcada diferencia respecto al resto (17 patentes), luego le sigue Estados Unidos (8 patentes), Corea (4 patentes), Israel (2 patentes), Japón (3 patentes), Hong-Kong (2 patentes) y Reino Unido (2 patentes), los demás países marcados en el gráfico tienen 1 patente registrada.

Las áreas tecnológicas con mayor cantidad de registros de patentes de acuerdo a lo observado son:

- Tintas
- Circuitos impresos
- Sistema de indexación relativos a los circuitos impresos cubiertos por H05K1/00
- Aparatos o procedimientos para la fabricación de circuitos impresos
- Conductores o cuerpos conductores caracterizados por los materiales conductores utilizados; Empleo de materiales específicos como conductores
- Stock de material o artículos diversos
- Sistema de indexación relativos a los circuitos impresos cubiertos por H05K1 / 00
- Nano-tecnología de materiales o la ciencia de superficies
- Dispositivos semiconductores

Dentro de la búsqueda de patentes de tintas para la electrónica impresa se hallaron usos y aplicaciones para los temas presentados en la tabla N°4.1

Así mismo se realizó una búsqueda de publicaciones científicas, lo que arrojó un total de 160. Las revistas técnicas con mayores publicaciones en las temáticas de electrónica impresa son: Nanotechnology (11), ACS Applied Materials and Interfaces (9), Ink Word (8), Journal of Material

Chemistry C. (6), entre otras. Los países que están investigando este tipo de tecnologías en mayor magnitud son Estados Unidos principalmente, continuando en forma decreciente Corea del Sur, China, Japón, Reino Unido, Alemania, Finlandia, entre otros.

Las principales áreas de estudio de las publicaciones científicas encontradas referidas a la temática de tintas para la electrónica impresa, sobre un total de 160 (ciento sesenta) documentos son: Ciencia de los Materiales, Ingeniería, Química, Física y Astronomía e Ingeniería Química, entre otros.

Aplicaciones	Nº	Aplicaciones	Nº
RFID antennae	6	wearable electronic devices	2
Sensors	5	portable flexible electronic devices	1
intelligent package	2	flexible electronics	4
Transistors	1	PCB (printed circuit board)	4
wireless frequency identification electronic tags	1	electrical circuits	2
identity recognition card	1	film switches	1
smart cards (non-contact chip cards)	1	touch switches	1
passport	1	conductive circuits	1
organic thin film transistor (OTFT)	1	lithium ion battery conductive agent	1
authentication device	1	electronic resist soldering coating layer	1
electronic tag of goods	1	integrated circuits	1
smart labels	1	photodetectors	1
organic light emitting diodes (OLEDs)	2	memory elements	1
light emitting diodes (PLEDs)	1	logic circuits	1
backplanes for displays	1	electromagnetic wave shielding field	1
large area display	1	film type batteries	1
writing instrument	1	anti-electromagnetic interference (EMI)	1
organic photovoltaic (OPV) cells	2	anti-electrostatic materials	1
solar cell	2		

Tabla 4.1. Usos y aplicaciones de tintas para electrónica impresa.

#### 4.3.1.4. Tipos de tintas utilizados en las impresoras ink-jet

Sobre el análisis de tintas para impresoras ink-jet, se detectaron 19 patentes publicadas concentradas en los años 2012 al 2015. Entre los países líderes en patentamiento de tecnologías vinculadas a las tintas para ink-jet en electrónica impresa se encuentran China con 8 patentes, luego Estados Unidos con 3 patentes, Israel con 2 patentes y 5 países más con 1 patente registrada cada uno (España, Japón, Reino Unido, Hong Kong y Corea). Ejemplos de estas patentes son:

- 08/2015 - Silver-catalytic colloid ink for ink-jet printing of copper pattern on flexible substrate surface and preparation method thereof

- 08/2014 - Ionic metal ink for ink-jet printing preparation of copper circuit graphs on printed board surface and its preparation method and printing method

Además de analizó las publicaciones científicas sobre el tema. En los últimos 10 años, hubo un crecimiento sobre el tema tintas para ink-jet en electrónica impresa. Los países que más trabajaron en estas temáticas son Estados Unidos con 11 artículos publicados y China con 10 artículos. Luego le Siguen Corea del Sur (7), Japón (5), Italia (4), Taiwán (4), entre otros con menos número de publicaciones en los últimos 10 años. Algunos ejemplos de trabajos publicados son:

- 12/2015 - Ink-jet printing of graphene for flexible electronics: An environmentally-friendly approach
- 08/2015 - Synthesis of polyaniline-based inks for inkjet printed devices: Electrical characterization highlighting the effect of primary and secondary doping
- 01/2014 - Hybrid Ag-based inks for nanocomposite inkjet printed lines: RF properties
- 09/2012 - Ag nanoparticle-based inkjet printed planar transmission lines for RF and microwave applications: Considerations on ink composition, nanoparticle size distribution and sintering time

#### **4.3.1.5. Reflexión final**

Según la Ing. María Laura Lefevre, quien elaboró el informe para la FAN, “La electrónica impresa representa un mercado en rápido crecimiento según lo observado al investigar las nuevas tecnologías desarrolladas en esa temática, representando así un futuro prometedor”.

## 4.3.2. Procesos Tecnológicos, Tintas y Sustratos empleados en Electrónica Impresa

### 4.3.2.1. Introducción

En la actualidad no se puede concebir la vida sin la participación de dispositivos electrónicos, los cuales han logrado que la vida sea mucho más confortable. Pero la tecnología en la cual están basados estos dispositivos electrónicos, la tecnología del silicio, está encontrando límites para una mayor adopción. Uno de ellos, y tal vez el más difundido, es la escala de integración, por la cual el tamaño de transistores que integren los dispositivos tiene un límite, lo que a su vez limita la cantidad de transistores por unidad de superficie y por lo tanto el tamaño del dispositivo final.

En las notas [31] [32] esta problemática es presentada así como las alternativas que se están evaluando. Sin embargo existen otros limitantes que están frenando la mayor integración de la electrónica en nuestros días, entre ellos podemos nombrar la superficie de trabajo disponible, un factor de forma flexible, el bajo consumo de operación, el peso, el requiere de materiales no contaminantes, entre otros. Como solución a estos limitantes se presenta la electrónica impresa, la cual es un conjunto de métodos de impresión utilizados para crear dispositivos eléctricos en varios sustratos.

El trabajo "A Circuits and Systems Perspective of Organic/Printed Electronics: Review, Challenges, and Contemporary and Emerging Design Approaches" [33] presenta un resumen comprensivo y crítico de la electrónica impresa con énfasis en circuitos y sistemas.

Mientras que el trabajo "*Printed electronics: the challenges involved in printing devices, interconnects, and contacts based on inorganic materials*" [34] presenta un resumen de los trabajos realizado al 2010 en el campo de la electrónica impresa y los materiales químicos involucrados. Con un enfoque particular en el uso de tintas con contenido de metales y óxidos de metales en la preparación de contactos e interconexiones. En el mismo se destaca que la fabricación de dispositivos electrónicos y circuitos por procesos de impresión aditivos ofrece una serie de ventajas en términos de simplicidad y coste en comparación con las técnicas convencionales de fabricación basadas en PCB. En primer lugar, dado que muchos componentes de un circuito requieren los mismos materiales, tales como metal para contactos e interconexiones, la impresión permite fabricar componentes múltiples simultáneamente, con relativamente pocos pasos de procesamiento y pocas fuentes de materiales.

La investigación sobre este tema no es nueva ya lleva 60 años, pero actualmente con el desarrollo de nuevas tecnologías de impresión con tintas conductoras de nanopartículas de distintos materiales, se ha encontrado un gran potencial de futuras aplicaciones.

Con el desarrollo de nuevas tintas y sustrato se plantean novedosas aplicaciones en sectores existentes y otros de reciente surgimiento entre ellas podemos nombrar: energía fotovoltaica, electrodos de borde de la pantalla, electrónica del automóvil, e-textiles y electrónicos portátiles, electrónica impresa en tres dimensiones, el reemplazo de ITO, TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO, dispositivos para RFID, Sensores Piezorresistivo, capacitivos y biosensores impresos, OLED y un gran sector de la iluminación LED [35][36][37].

Por lo tanto se ha planteado la formación de un grupo de investigación en esta temática, el objetivo de dicho proyecto es la formación de recursos humanos en electrónica impresa, la cual brinda una solución a las necesidades de sensores y componentes electrónicos de bajo costo y alta calidad. Además, permite reducir el tiempo de fabricación y los costos de producción, ya que no necesita una sala limpia como en el caso de la microelectrónica. A fin de estudiar los procesos, técnicas, materiales y otros se decidió tomar como aplicación testigo los sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos. Esta decisión representa una excelente área de estudio, a raíz del inagotable campo de aplicaciones que pudimos observar, como por ejemplo aplicaciones agropecuarias, médicas e industriales, que nos permite una gran variedad de

ámbitos para el estudio de los procesos, las técnicas y los materiales asociados a la electrónica impresa.

Como parte del proyecto se planteó: un estudio del estado del arte de la tecnología asociada a los sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados[38] ; un estudio de las distintas tintas, sustratos y materiales empleados en electrónica impresa, lo que nos aboca en este trabajo; el desarrollo de una metodología para el diseño de las antenas; la elaboración de un banco de pruebas para las antenas diseñadas; y la implementación de una aplicación concreta de la tecnología [39].

### 4.3.2.2. Procesos de fabricación

El resumen previamente nombrado [33] presenta una revisión de circuitos electrónicos impresos, abarcando circuitos digitales (inversores, osciladores, compuertas lógicas, registros de desplazamiento, microprocesadores, etc) circuitos analógicos (amplificadores, comparadores), circuitos de señal mixta (convertidores analógicos digitales y digitales analógicos) y, por último, varios "sistemas" de Electrónica Impresa (sistemas RFID, OLED, array de micrófonos). Y en cada uno de ellos hace referencia a los procesos de fabricación de los mismos, haciendo en un primer lugar una división entre procesos Aditivos y Sustractivos. La figura N°4.6 muestra los pasos a realizar en ambos procesos.

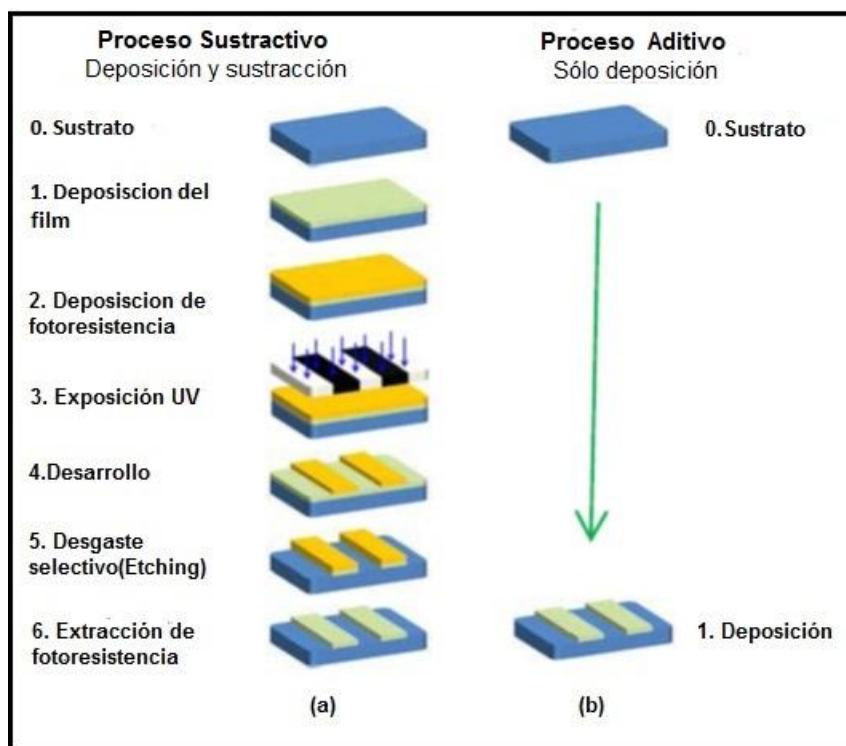


Figura N°4.6. Comparación de procesos aditivos y sustractivos.

En general, debido a que los procesos sustractivos requieren grabado (etching) y / o despegue (lift-off) , las etapas de procesamiento no sólo son complejas y requieren una infraestructura sofisticada / intensiva, sino que también implican el uso de productos químicos tóxicos/corrosivos (los cuales son costosos y generalmente generan desechos), suelen trabajar a altas temperaturas (PET de bajo costo no se puede utilizar), son lentas (no a la carta), y a menudo no escalables (por ejemplo, no se puede imprimir tamaño de papel tapiz). Sin embargo, los procesos sustractivos a menudo producen un mejor rendimiento en términos de movilidad del portador, mayor resolución y variaciones reducidas.



La figura N°4.7 resume los diferentes procesos de impresión de electrónica impresa, clasificándolos como aditivos y sustractivos. En el eje “x” del grafico se presenta el grado de resolución que puede obtener la tecnología. Una menor resolución, al igual que con el silicio resoluciones más pequeñas siempre son deseadas, ya que esto implica menores parámetros parásitos, lo que permite mayores velocidades de trabajo. En el eje “y” se representa el rendimiento de la tecnología, el cual esta medido en m<sup>2</sup>/s y representa que tan rápido es el proceso de impresión.

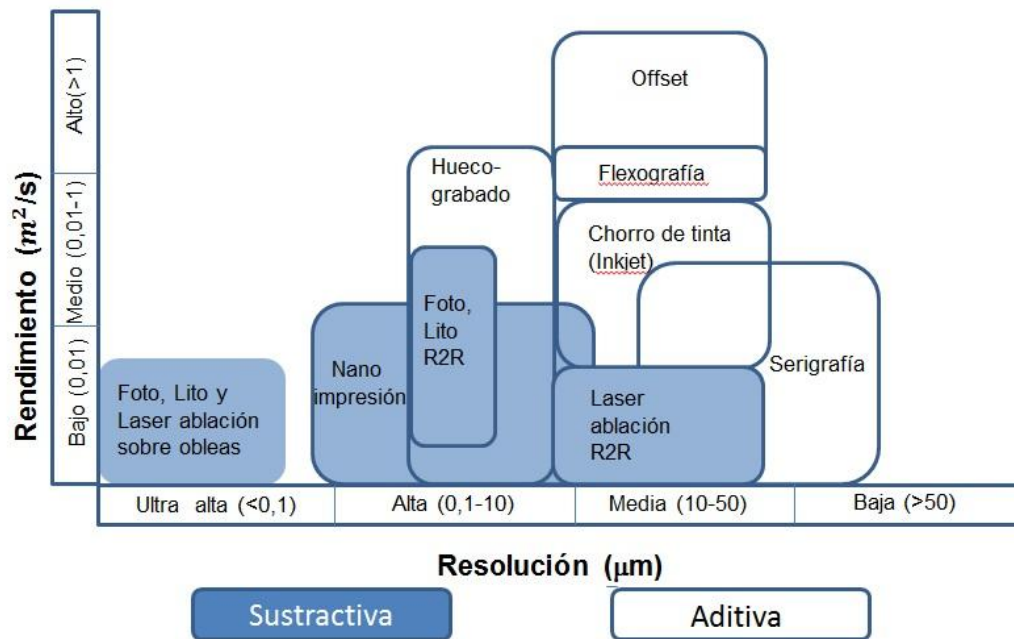


Figura N°4.7. Comparación de procesos de impresión electrónica.

La tabla N°4.2 resume las principales características de los procesos presentados en la figura N°x, y de esta se desprende que los procesos pueden ser clasificados en termino del contacto que realizan, es decir se pueden clasificar como procesos de impresión por contacto y sin contacto. En la mayoría de los procesos de impresión (tales como flexografía y huecogravado) un contacto físico es necesario entre el sustrato o material base y el material a ser imprimido. Este contacto puede causar efectos no deseados, tales como contaminación y perturbación de la estructura física del sustrato. Unos pocos procesos (impresión inkjet y aerosoljet) son adecuados para imprimir sin contacto físico con el e sustrato.

La figura N°4.8 presenta un grafico donde se pueden ver las distintas tecnologías clasificadas según si realizan un contacto físico con el material base o no [40].

Los procesos de impresión pueden también ser clasificados como analógicos o digitales. Procesos analógicos (tales como impresión por flexografía o huecogravado) típicamente usan mascarar/patrones para los patrones de capas mientras que los procesos digitales (tales como impresión Inkjet o aerosoljet) no lo hacen. A diferencia de las tecnologías de impresión convencionales, la impresión digital funciona sin una placa de impresión maestra pregrabada física e imprime sin una fuerza de impacto significativa sobre el sustrato o la subcapa. La premisa básica de la impresión digital es el posicionamiento preciso de una gotita de líquido o sólido de un volumen microscópicamente pequeño directamente correlacionado con la presencia de información en cada unidad binaria de la imagen a ser reproducida. Como resultado, la impresión digital no tiene las principales desventajas de la impresión convencional, los complejos pasos de trabajo para lograr el dispositivo impreso [41]. El beneficio más importante de la impresión digital es su bajo costo de fabricación. Esto permite su uso en más aplicaciones [42], por ejemplo en sistemas RFID, que

como se mencionó el proyecto está orientado a la construcción de antenas RFID que permiten la identificación sin contacto de productos comercializados. Además se utiliza en la impresión de diodos emisores de luz sin afectar su rendimiento [43].

<b>Printing Process*</b>	<b>Subtractive /Additive</b>	<b>Pattern type</b>	<b>Contact</b>	<b>Analog/digital</b>	<b>Scalable</b>
Photolithography	Subtractive	Indirect	Photolithography	Analog	No
Photolithography R2R	Subtractive	Indirect	Photolithography	Analog	Yes
Laser ablation	Subtractive	Indirect	Non-contact	Digital	Partially
Laser ablation R2R	Subtractive	Indirect	Non-contact	Digital	Yes
Imprinting	Subtractive	Indirect	Contact	Analog	Yes
Nanoimprint lithography	Subtractive	Indirect	Contact	Analog	Yes
Inkjet	Additive	Direct	Non-contact	Digital	Partially
Aerosol jet	Additive	Direct	Non-contact	Digital	Partially
e-jet (electro-hydrodynamic)	Additive	Direct	Non-contact	Digital	No
Flatbed screen	Additive	Direct	Usually contact	Analog	Yes
Rotary screen	Additive	Direct	Contact	Analog	Yes
Flexography	Additive	Direct	Contact	Analog	Yes
Gravure	Additive	Direct	Contact	Analog	Yes
Gravure offset (Pad)	Additive	Direct	Contact	Analog	Yes
Offset lithography	Additive	Direct	Contact	Analog	Yes
Soft lithography (e.g., micro contact)	Additive	Direct	Contact	Analog	Partially

Tabla N°4.2. Principales características de los procesos de la figura N°x

La escalabilidad es otro atributo que puede usarse para clasificar los procesos de impresión. La escalabilidad es importante porque si bien hay un impresionante número de trabajos reportado sobre materiales e impresión, pero muchos de ellos son difíciles de escalar. Los procesos más escalables son probablemente los procesos de bobina a bobina (roll to roll – R2R) que pueden presentar alto rendimiento y formatos grandes.

Otra consideración imperativa es la temperatura de procesamiento, aunque no existe una definición definitiva de "baja temperatura", una definición razonable de baja temperatura es  $\leq 120\text{C}$ , ya que es la temperatura máxima tolerada por los sustratos de PET baratos (tereftalato de polietileno).

En general, hay intercambios entre los diferentes atributos de los diferentes procesos. Por ejemplo, los procesos aditivos suelen tener un alto rendimiento, pero sufren de una resolución relativamente baja, mientras que los procesos sustractivos presentan una resolución más alta, pero generalmente sufren un bajo rendimiento. Alto rendimiento es imprescindible para bajo costo. Idealmente, la

impresión debería ser totalmente aditiva, All-Air (sin presión o gases especiales), de baja temperatura, sin contacto, digital, escalable y con alto rendimiento, es decir de bajo costo, verde, con posibilidad imprimir en cualquier lugar, bajo demanda y escalable similar a la impresión prensa. Aunque no hay un proceso "ideal", el proceso de impresión "ideal" más cercano es, sin duda, el chorro de tinta, pero hay limitaciones, incluida la fiabilidad de las boquillas y un alto rendimiento. Por lo tanto, no es sorprendente que la inyección de tinta ha recibido el mayor interés para la creación de prototipos, y en el ámbito de la investigación.

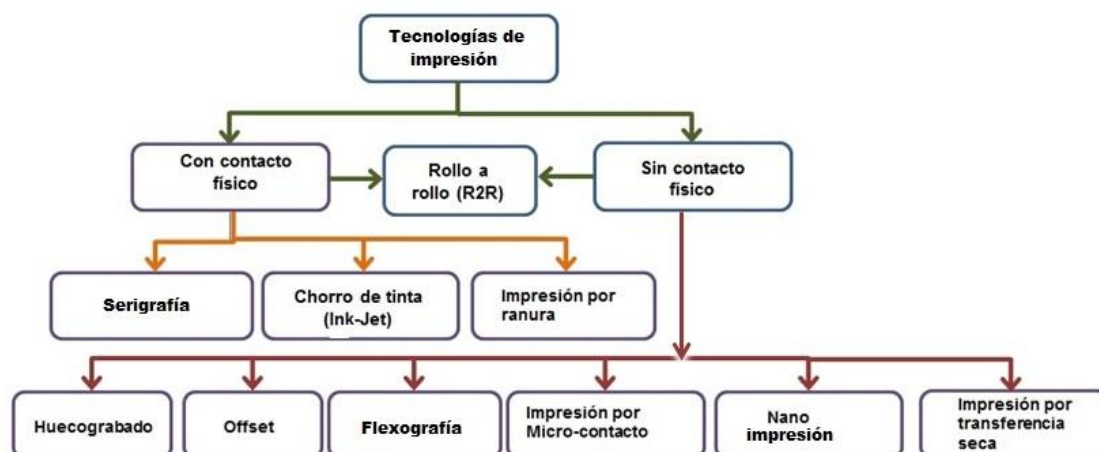


Figura N°4.8. Clasificación del los procesos según contacto físico

Para la fabricación de dispositivos electrónicos los métodos más utilizados son [44][43][40]:

- Serigrafía.
- Impresión a chorro de tinta (ink jet).
- Huecograbado.
- Impresión flexográfica
- Impresión off-set.

Dependiendo de la naturaleza de los productos de electrónica impresa, se debe tomar una decisión adecuada con respecto a la elección el tipo de impresión, de la tinta, el sustrato, la estructura del dispositivo diseñado, el patrón geométrico, la velocidad de fabricación, el rendimiento, la calidad y el costo de producción.

A continuación se dará una breve descripción de los métodos de impresión mencionados:

#### 4.3.2.2.1. Serigrafía

La serigrafía es una técnica de impresión empleada para la reproducción de documentos e imágenes sobre cualquier material, y consiste en transferir una tinta a través de una malla tensada en un marco, el paso de la tinta se bloquea en las áreas donde no habrá imagen, mediante una emulsión o barniz, quedando libre la zona donde pasará la tinta ,estas zonas representan las áreas de impresión en contacto con el sustrato que se va a imprimir [47].

La malla que opera de matriz de permeabilidad selectiva, está compuesta de un material sintético, como polyester, nylon, acrílicos o puede ser de metal. Originalmente era de seda, de allí viene el nombre del sistema.

En la figura N° 4.9 se muestra un diagrama de sistema de impresión serigráfico rotativo de avance automático (arriba) y uno rotativo cama plana de avance automático (abajo).

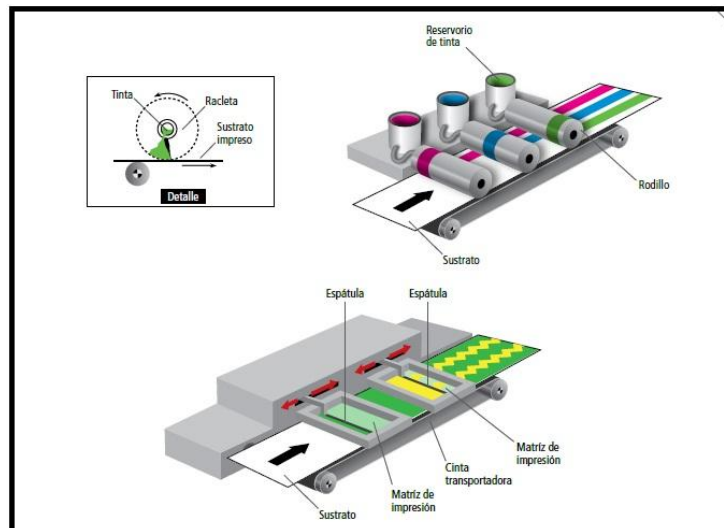


Figura N° 4.9- Diagrama de sistema de impresión serigráfico.

El sistema de impresión es repetitivo, una vez que el primer modelo se ha logrado, la impresión puede ser repetida cientos y hasta miles de veces sin perder definición.

Posee múltiples nichos de aplicación entre los cuales se encuentran el mercado artesanal, donde se imprimen textiles, maderas, cerámicos, vidrios y otros; en el artístico, donde se utiliza para reproducir obras de arte con fiel reproducción de color y en la industria que usualmente imprime etiquetas, envases, señalética y todo producto cuya geometría permita ser impresa por este medio.

La serigrafía es uno de los métodos de impresión más comunes y se ha utilizado durante muchos años en la fabricación de productos electrónicos. La característica más distintiva de la serigrafía, en comparación con otros métodos de impresión, es la alta relación de aspecto de los objetos impresos. El espesor habitual de una imagen serigrafiada está en el rango de varias decenas de micras, pero especialmente cuando se usa una malla gruesa, el espesor puede exceder las 100 micras con una sola pasada de la impresión, la cual no se puede obtener por cualquier otro método de impresión [43].

En electrónica es apropiada para la fabricación de dispositivos electrónicos a escala industrial, debido a su capacidad de producir capas de espesor de materiales en forma de pasta. Este método puede producir líneas conductoras eléctricas a partir de materiales inorgánicos (por ejemplo, para las antenas de las etiquetas RFID), pero también se puede conseguir el aislamiento o la pasivación de zonas en las capas conductoras de un dispositivo electrónico, el espesor de la capa y la resolución de 100 micras conseguida es similar a la inyección de tinta y es escalable a grandes áreas de hasta cientos de metros cuadrados. Este sistema es también muy versátil y relativamente sencillo, se utiliza no solo para las capas conductoras y dieléctricas, sino también para los semiconductores orgánicos, por ejemplo, para OPVC, e incluso fabricar OFET [49].

De las tecnologías enumeradas, la aplicación mediante serigrafía de tintas polímeras de capa gruesa (PTF), es la más introducida en el mercado, por la simplicidad y su bajo costo, permitiendo sustituir a procesos mucho más caros y complejos [50]. Se utiliza para la impresión y posterior grabado de placas para circuitos impresos, y en la impresión de paneles de aparatos electrónicos.

#### 4.3.2.2.2. Impresión rápida (impresión flexográfica y de huecograbado-Impresión Offset)

La impresión flexográfica se utiliza para impresiones de alta velocidad en la electrónica impresa y es más atractiva que la huecograbado y offset para patrones de alta resolución [51]. Este tipo de

impresión permite el uso de una amplia variedad de tintas (tintas de curado por rayos UV a base de solventes, a base de agua, tintas de curado químico en dos partes, etc.), utiliza patrones elevados en una placa de caucho o polímero realizados por fotolitografía, los cuales se unen a un cilindro como se muestra en la figura N° 4.10.

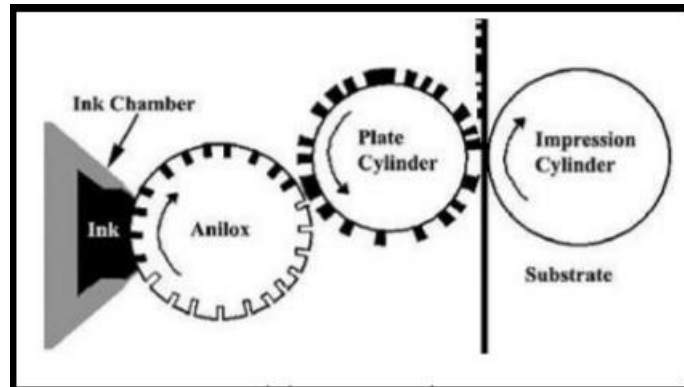


Figura N°4.10. - Impresión flexográfica.

El cilindro Anilox recoge la tinta de solución, la transfiere al cilindro de placa que tiene estructuras elevadas, quien transfiere la tinta sobre los sustratos que corren entre la placa y los cilindros de impresión. Es un método de impresión en relieve muy rápido, ha sido ampliamente utilizado para la impresión de pantalla plana. El mecanismo de impresión flexo es adecuado para sustratos flexibles debido a que la presión de impresión no es fuerte. La viscosidad de las tintas de impresión flexo son bastante bajas en comparación con las de serigrafía y la impresión offset; por lo tanto, la impresión flexo se ha aplicado en una gran área de recubrimiento, siendo este delgado y uniforme [40]. Este proceso también se utiliza para la impresión de etiquetas autoadhesivas en rollo, las cuales se pueden imprimir en papel, películas y plásticos.

La impresión por hueco grabado realiza una transferencia de tintas funcionales a través del contacto físico de estructuras grabadas o patrones con el sustrato. Se utiliza mucho en el proceso R2R (impresión en rollos de sustratos). Las herramientas de huecogrado consisten en un cilindro grande recubierto con cobre, donde se graba la matriz de impresión mediante procedimientos electromecánicos o usando laser. En la figura N° 4.11 se ve un esquema de impresión por huecogrado y una impresión en sustrato flexible [53].

La impresión offset por huecogrado es una versión avanzada de impresión por huecogrado en la que una manta figura N°4.12 [53] se utiliza para evitar daños en el cilindro debido al contacto directo con el sustrato.

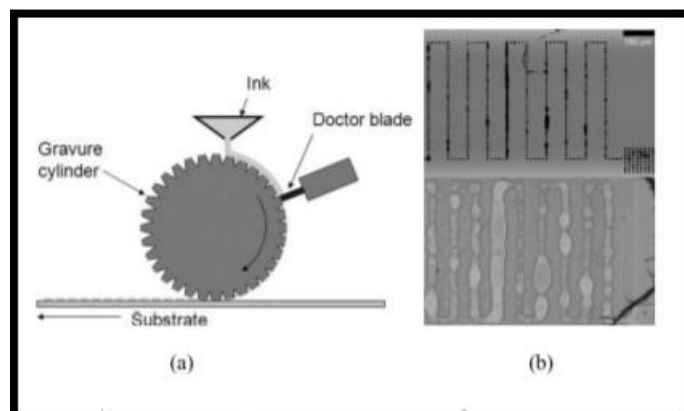


Figura N° 4.11. Esquema Impresión por huecogrado.

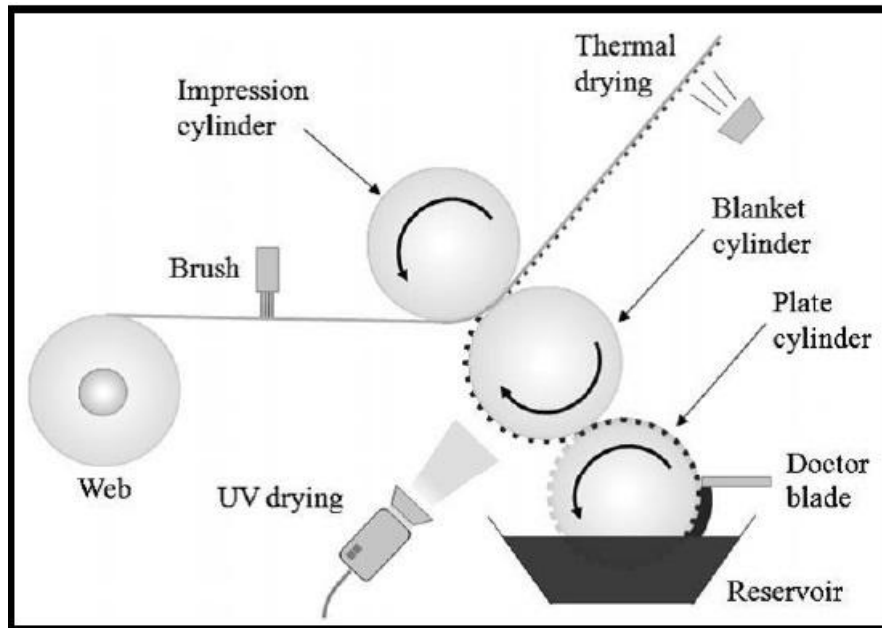


Figura N° 4.12. Esquema Impresión por offset -huecograbado

#### 4.3.2.2.3. Inkjet

Las impresoras Inkjet son las elegidas en la actualidad, para su uso en impresiones electrónicas. Han logrado una gran integración de dispositivos en áreas reducidas gracias a los avances en nanotecnología. Estas impresoras funcionan con inyector, pequeños tubos, que expulsan gotas microscópicas de tinta en un lugar preciso para ir formando el circuito o el dispositivo. Cada impresora tiene su forma de expulsar la microgota de acuerdo a sus características, poseen softwares que permiten manejar sus parámetros para desarrollar una impresión de precisión y calidad [55].

La tecnología de inyección de tinta, ha existido durante muchos años y su mecanismo de eyección de gota, son conocidos. El tamaño de la gota, la forma, la velocidad y la uniformidad de una impresora de inyección de tinta varía de un cabezal de inyección de tinta a otro, o tal vez de una boquilla a otra, incluso en un solo cabezal de inyección de tinta. Tras la eyección de gotitas, no sólo la viscosidad de la tinta y la humectabilidad de la tinta sobre el material de la cabeza (orificio) afectan a la cantidad y la forma de la gota expulsada, sino también el tamaño y la forma de la punta de la boquilla. La forma y la dirección de las gotas durante el vuelo varían mucho dependiendo de las condiciones de expulsión. Por lo tanto, estos parámetros de eyección deben ser controlados con precisión en cada boquilla.

En la figura N° 4.13 se presenta un ejemplo de especificaciones de las gotas en dos procesos de impresión Inkjet, el proceso "a" es de goteo continuo de tinta y el "b" es de goteo por demanda. Dichas especificaciones se refieren al tamaño de la gota, su velocidad y su frecuencia.

Así mismo se pueden mencionar dos tipos de inyección de tinta en el proceso de goteo por demanda, bastante parecidos en su funcionamiento: inyección por burbuja de tinta e inyección por tecnología piezoeléctrica. La primera consiste en calentar el conducto donde se encuentra la tinta hasta formar una burbuja y esta, al estallar, impulsa una gota hasta el papel. La segunda consiste en producir una descarga eléctrica que deforma momentáneamente un conducto que hace que la tinta se expulse sin ser calentada previamente. En la figura N° 4.13.b se pueden ver estos funcionamientos.

Esta tecnología de impresión por chorro de tinta, en cualquiera de sus formas, produce gotas de la tinta contenidas en el canal de fluido, con diámetros comprendidos entre 10 y 150  $\mu\text{m}$ , que corresponde aproximadamente al diámetro de la boquilla. El volumen de las gotitas está en el rango de picolitros. Se considera una tecnología adecuada para la electrónica impresa debido a las siguientes razones: es un proceso sin contacto que deposita selectivamente una amplia gama de materiales sobre una amplia gama de sustratos de una manera gota a gota; los requisitos de espacio en laboratorio o industria, la inversión inicial y el tiempo de puesta en marcha para ejecutar una instalación de impresión por chorro de tinta son inferiores a la mayoría de las tecnologías de impresión; es adecuado para una amplia gama de escalas de producción, desde el prototipo hasta la producción industrial a gran escala; el consumo de tinta y el desperdicio de material son mínimos; es flexible con respecto a su posicionamiento dentro de una cadena de proceso y además puede producir películas finas estampadas, un requisito clave para la electrónica orgánica [56].

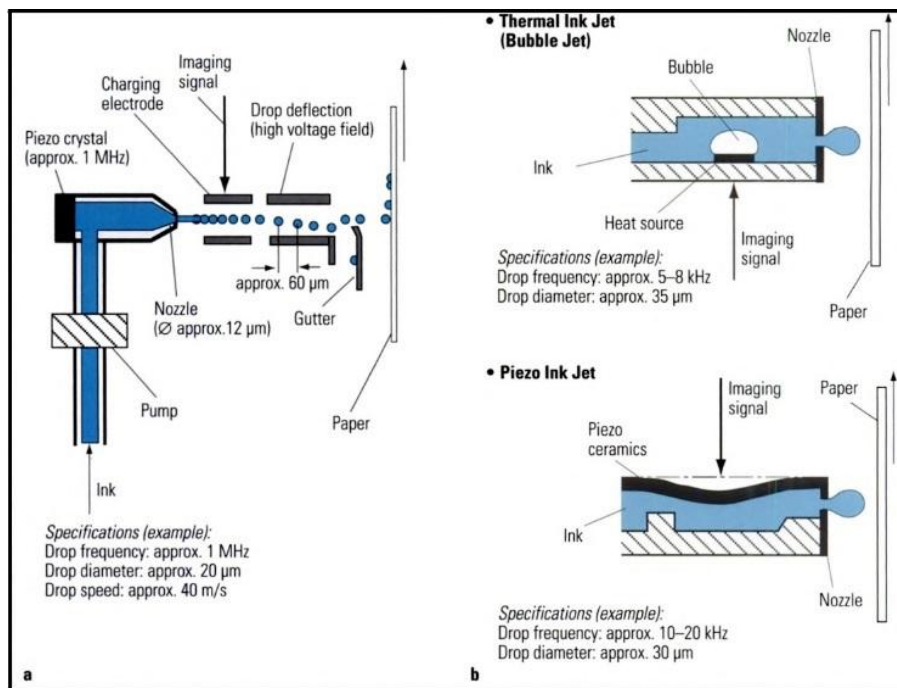


Figura N°4.13. Parámetros característicos de la gota en procesos de impresión Inkjet: a- Goteo continuo. b- Goteo por demanda.

Finalmente, es posible añadir funcionalidades utilizando la impresión por chorro de tinta sobre un sustrato que ya tiene estructuras y dispositivos electrónicos fabricados utilizando cualquier otra tecnología. Su naturaleza sin contacto, sin máscara y sin maestro, junto con la libertad de colocar el cabezal de impresión directamente encima de cualquier coordenada 3D del sustrato, permiten realizar lo mencionado anteriormente.

Algunas características y ventajas de este tipo de impresión en comparación con otras técnicas son:

- Se pueden usar tintas de baja viscosidad.
- El fenómeno de la eyección de gotas permite diferentes accionamientos
- La impresión puede ser térmica, piezoelectrica y electrostática,
- Realiza una deposición específica de gotas
- Es de muy bajo el desperdicio del material.

Además posee las ventajas de toda impresión digital entre ellas no requiere de una placa maestra disminuyendo tiempo en los procesos de elaboración, evitando complejos pasos de trabajo y costos

elevados. La impresión se realiza directamente al sustrato. Ha permitido hacer más accesible la impresión, por ejemplo de placas de circuitos impresos.

Las desventajas es que a veces se produce presión periódica de líneas con alto ángulo de contacto entre las gotas, la velocidad es más lenta porque hay inyectoros trabajando en paralelo, se pueden generar fallas de encendido o de obstrucción, puede haber pixelación como inconveniente en la demanda de caída de microgotas, en alta frecuencia las gotas pueden generar salpicaduras.

#### 4.3.2.3. Impresoras Inkjet

En la actualidad la mayoría de centros de investigación y universidades sobre todo en Estados Unidos, Japón, Corea, Inglaterra y Alemania están apostando por la tecnología de impresión inkjet de última generación para la impresión de electrónica orgánica [57]. Estas impresoras no imprimen sólo de manera convencional sobre papel, sino también sobre películas, textiles y otros; sobre estos sustratos son aplicadas las tintas con propiedades conductoras o polímeros orgánicos para producir circuitos electrónicos impresos flexibles, estructuras fotovoltaicas, RFIDs, etiquetas inteligentes, secuencias de material genético o sensores químicos y biológicos entre otras muchas aplicaciones [58]. Hay una amplia variedad de materiales funcionales imprimible por Inkjet como conductores resistente a los rayos UV, polímeros, materiales orgánicos de película fina, dieléctricos, nano-tubos de carbono, nano-partículas. En función de los materiales utilizados se pueden desarrollar las distintas aplicaciones.

Empresas como Hp, Minolta, Fujifim Dimatix, Epson han desarrollado impresoras a chorro de tinta que pueden fabricar dispositivos electrónicos. Un ejemplo es la impresora de Materiales Dimatix (DMP) [59], la cual es un sistema de deposición de materiales de mesa diseñado para inyectar con micro precisión una variedad de fluidos funcionales en virtualmente cualquier superficie, incluyendo plástico, vidrio, cerámica y silicio, al igual que sustratos flexibles de membranas, geles y películas delgadas en productos de papel. La figura N°4.14 nos muestra una imagen de la misma.



Figura N°4.14. Dimatix DMP 2800.

En la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) se dispone de la impresora **CeraPrinter X-Serie** de la empresa Ceradrop, Figura N° 4.15, [<http://www.ceradrop.com/en/products/x-serie/>], una impresora similar posee el Instituto de Microelectronica de Barcelona. [55][60]. Entre las aplicaciones electrónicas que pueden desarrollarse con ella se pueden mencionar: antenas HF, OLED, memorias impresas, RFID, fotodetectores, capacitores multicapa actuadores piezoeléctricos, entre otros.



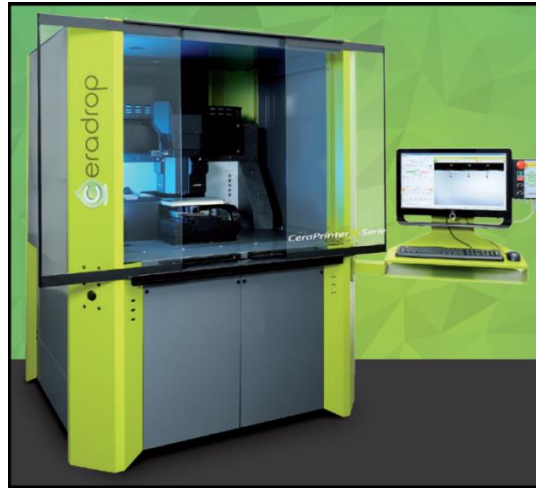


Figura N° 4.15- Impresora CeraPrinter X-Serie

En la figura N° 4.15 se ve la impresora mencionada anteriormente, es un equipo de alta precisión que posee sistemas para deposición de múltiples materiales. Tiene tres cabezales de impresión que pueden trabajar con distintos tipos de tintas acuosas, biológicas, solventes y basadas en curado UV. Puede realizar el curado de áreas completas en cada paso de impresión y trabaja con sustratos de hasta 305 mm x 305 mm de área imprimible con espesor de hasta 10 mm.

Su alta precisión se relaciona con sus cinco ejes de movimiento, tres ejes de traslación y dos de rotaciones motorizadas, con resolución de impresión ajustable, alineación del sustrato ( $\pm 2 \mu\text{m}$ ) y auto calibración de los inyectores ( $\pm 3 \mu\text{m}$ ).

Para realizar las impresiones posee soportes para distintos tipos de cabezales de inyección. Se mencionaran como ejemplos: los de boquilla, los Cartuchos Dimatix de bajo costo, de distintas marcas como Dimatix, Konica-Minolta y otros a petición (Xaar, Kyocera, Ricoh, Toshiba, Seiko ... etc.).

Específicamente, en la impresora que se dispone en la FAN los cabezales son de marca Dimatix Fujifilm clase Q de 30 pico litros de volumen nominal de gota, son de carácter industrial, tienen 256 boquillas y soportan solventes base acuosa y orgánicos gracias a su arquitectura de Zafiro, Figura N° 4.16. Dos de los requerimientos más importantes son la viscosidad y el tamaño máximo de partícula con el que se puede trabajar. El rango de viscosidad, según hoja técnica, es de 8-20 cP y el óptimo es de 10-14 cP. El tamaño de partícula máximo es  $0.90 \mu\text{m}$  [61]. La capacidad de los cartuchos de depósito de tinta puede variar de 2 ml a 50 ml, son compatibles con disolventes agresivos, trabajan hasta  $60^\circ\text{C}$  y se limpian en forma automática.

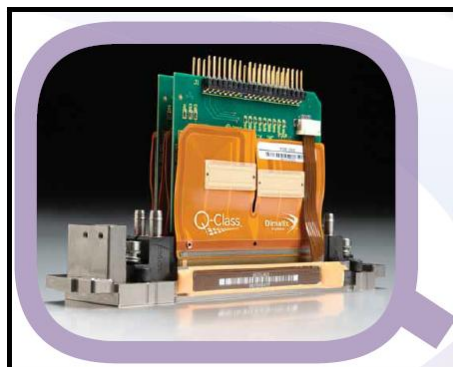


Figura N° 4.16- Q-Class cabezal de impresión.

Además, tiene dos cámaras con diferentes fuentes de luz que le permite controlar el chorro de tinta, alinear el sustrato y analizar todas las partes de los componentes impresos.

Las impresiones se pueden realizar de tres modos diferentes: modo Raster-Scan (X o Y), Vector Mode (XY) y Single Pass (X o Y). Una parte fundamental de esta impresora es su software exclusivo CAD/CAM (CAD:Diseño Asistido por computadora Computer-Aided Design / CAM:Fabricación Asistida por Computadora Computer-Aided Manufacturing FAC.) que permite importar, editar, simular y secuenciar la impresión de una amplia gama de productos electrónicos impresos y diseños inteligentes de impresión 3D. Dicho programa soporta formatos de archivo DXF, STEP, Gerber, GDSII, BMP (como opción a través de la herramienta de conversión). También puede editar trabajos directamente desde archivos CAD estándar a través de la herramienta CAD / CAM.

El software puede simular paso a paso, material por material todo el proceso, siendo este completamente personalizable. Posee una serie de patrones precargados, como por ejemplo: transistores cuadrados, transistores circulares, multicapa; condensadores, inductores, bobinas, etc. y además, como ya se mencionó, toma diseños creados por el usuario.

Con respecto a los parámetros de impresión, estos son ajustables en cada proceso, como por ejemplo realiza el control automático del chorro de tinta analiza el volumen de la gota, su velocidad, la rectitud del chorro, detecta si hay boquillas obstruidas, calibra las posiciones de los inyectores automáticos, brinda un informe detallado gota a gota y paso a paso del proceso.

Una vez terminada la impresión, el software, controla la impresión realizada analizando las distintas capas y las medidas configuradas, como distancia y área de impresión.

#### **4.3.2.4. Tintas**

Las tintas y los recubrimientos son un factor clave en la electrónica impresa, con tecnologías que van desde los metales como la plata y el cobre a los nanotubos de carbono. Debido al potencial de este mercado, los grandes y pequeños fabricantes de tintas están desarrollando productos con las grandes multinacionales como Sun Chemical y DuPont para crear nuevas empresas bien financiadas como Plextronics, Kovio y Polyl.

Existen en el mercado una gran variedad de tintas para impresión electrónica, entre las que se encuentran las tintas conductoras (compuestas por partículas de Plata, Cobre, Grafeno, polímeros, etc.), las dieléctricas o aislantes y las semiconductoras.

##### **4.3.2.4.1. Tintas Conductoras**

Hay dos tipos de tintas principalmente usadas. El primer tipo de ellas es una suspensión de nanopartículas, y es conocida una tinta de nanopartículas (NP). El segundo tipo es conocido como de descomposición metalorgánica (MOD), un ejemplo de esta es la disolución de una sal de plata en un solvente adecuado. Cada tipo de estas tintas tienen sus ventajas y desventajas. Las tintas MOD, por ejemplo, reduce la obstrucción de boquillas (en el caso del proceso Inkjet), y no requiere de estabilizadores coloidales. Las tintas NP tienen usualmente un mayor contenido de partículas, poseen menor resistencia de contacto y son las más ampliamente disponibles en el mercado [62][63].

Las tintas con nanopartículas de Ag tienen como características su alta capacidad de conductividad, buena adhesión a distintos sustratos de plástico y vidrio y además una amplia gama de temperatura de curado.

Distintas Universidades y empresas, se dedican a la investigación y desarrollo de estos productos debido al campo de aplicación tan amplio que puede tener en la industria electrónica. El objetivo de optimizar el rendimiento de las AgNP en sus distintas aplicaciones, siendo vital alcanzar un entendimiento sobre su forma, estado de agregación tamaño y superficie.

Las nanopartículas de cobre no se pueden usar directamente para la elaboración de tintas conductoras debido a que se oxidan fácilmente. Sin embargo, si estas se recubren con una delgada capa de plata, pueden permanecer estables por mucho tiempo y presentan mejor conductividad que las nanopartículas de cobre estabilizadas con polímeros, carbono o sílica. Esta combinación reduce el costo de producción de este tipo de tintas ya que solo se usa una pequeña capa de plata para recubrir el cobre.

Aunque la principal aplicación de las nanopartículas Cu@Ag es la fabricación de tintas conductoras, hay trabajos que demuestran un efecto sinérgico de las propiedades antimicrobiales de ambos metales, lo cual hace que tengan un alto potencial como agentes antimicrobiales con aplicación en recubrimientos, funcionalización de diversos polímeros, textiles, etc [64]. Las tintas conductoras de grafeno tienen muchas aplicaciones, desde las que requieren control de la electricidad estática hasta las que tienen que ver con placas solares, pasando por dispositivos electrónicos y todas aquellas que requieren barnices o films conductivos que puedan variar en transparencia dependiendo de la aplicación. En el mercado se las encuentra con base acuosa o con base de solvente con o sin aglutinante [65].

El grafeno es carbono, igual que en un diamante o en el grafito de nuestros lápices, pero que en lugar de tener una estructura tridimensional, está en forma de una red hexagonal bidimensional, del grosor de un sólo átomo. Este hecho es el que le da las impresionantes características de dureza, flexibilidad, resistencia, transmisión de calor y electricidad entre otras.

En la figura N°4.17 se muestra la red hexagonal de átomos de grafeno:

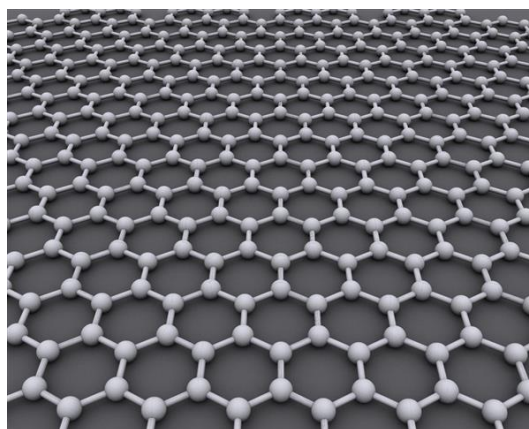


Figura N° 4.17. -Red hexagonal de átomos de grafeno

El uso de grafeno en tintas para aplicaciones en impresiones para la electrónica, es investigado en forma continua por distintas universidades y empresas en todo el mundo.

En la Universidad de Cambridge investigadores, dirigidos por el Profesor Andrea Ferrari han demostrado recientemente una técnica para tintas imprimibles para inkjet basadas predominantemente en pequeñas (<1µm) escamas de grafeno de una sola capa.

Esta tecnología ofrece alta transparencia (>85%), temperatura de curado baja (120°C) y moderada resistencia eléctrica (<30 kΩ/sq). Los niveles de conductividad se pueden comparar con las

pastas de carbono. Se espera que en corto y mediano plazo, las tintas de grafeno se utilicen como conductores transparentes impresos de bajo costo y resistente [66].

La tinta se ha optimizado de tal manera que se puede depositar usando impresoras de inyección de tinta estándar, sin necesidad de modificaciones personalizadas. Se investiga también, su uso con otras técnicas de impresión, tales como huecograbado y flexografía. Fundamentalmente, la tinta mencionada tiene el potencial para estar disponible a bajo precio en una escala multi-tonelada, debido a que el material precursor es el grafito común, que está ampliamente disponible a precios muy bajos.

Inicialmente, las tintas ocuparán el espacio entre las pastas de carbono de baja conductividad de bajo costo y las películas gruesas de polímero de escamas de plata de alto costo y alta conductividad. A largo plazo, sin embargo, las tintas de grafeno pueden mejorar para convertirse en una alternativa viable de bajo costo sustituto de óxido de estaño indio (ITO). Esto sería particularmente atractivo en aplicaciones que requieren flexibilidad mecánica.

En la Fundación IMDEA Nanociencia y la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid, ambas instituciones localizadas en el Campus de Excelencia Internacional de Cantoblanco, se desarrolla un avanzado y amplio programa de investigación científica en grafeno que goza de gran reconocimiento internacional y que realiza un intenso trabajo de investigación avanzada en ciencia y tecnología de superficies, se están desarrollando tintas a base de grafeno que son conductoras, transparentes y tolerantes a la flexión [67] [68].

Los investigadores del laboratorio de Jonathan Claussen en la Universidad del Estado de Iowa (EE.UU.), han estado buscando maneras de usar el grafeno y sus propiedades sorprendentes en sus sensores y otras tecnologías. Se introduce un procedimiento de láser pulsado que puede irradiar selectivamente el óxido de grafeno reducido impreso por chorro de tinta (RGO) y mejorar la conductividad eléctrica del grafeno impreso sin dañar el sustrato. En la Figura N°4.18 se muestra el proceso utilizado:

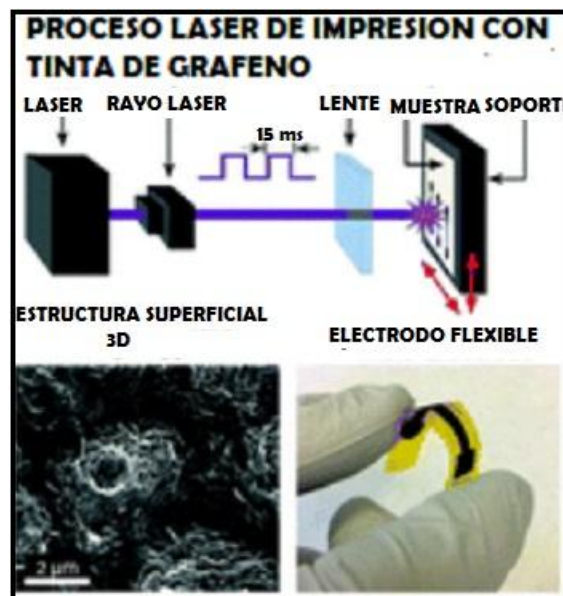


Figura N° 4.18 – Proceso de impresión láser con tinta de grafeno.

Este trabajo prepara el camino no sólo para la electrónica basada en papel con circuitos de grafeno, sino que permite la creación de electrodos electroquímicos basados en grafeno de bajo costo y desechables para innumerables aplicaciones incluyendo sensores, biosensores, células de combustible y dispositivos de radioterapia [69].

Entre las aplicaciones de las tintas conductoras encontramos: dispositivos de identificación por radio frecuencia (RFID), celdas fotovoltaicas, sensores para la industria automotriz, circuitos impresos flexibles, transistores de efecto de campo, conductores transparentes, etc. [46] [48] [54]. Imitando la conductividad metálica tenemos los materiales conductores orgánicos cristalinos tales como películas de poliacetileno combinadas con dopantes tipo p o tipo n. Estos materiales conductores orgánicos se clasifican como polímeros conductores intrínsecos. Saleem Khan et al. [39] presenta un interesante resumen sobre estos, sus características y aplicaciones, tanto en el empleo de tintas conductoras como semiconductoras, mientras que Erika Hrehorova et al. [52] presenta un estudio de la interacción de ellos con sustratos de papel.

#### 4.3.2.4.2. Semi conductoras

Tintas basadas en materiales semiconductores son muy importantes para el desarrollo de electrónica activa y de dispositivos de sensado, como ejemplo tenemos: sensores de temperatura y humedad, energía solar e iluminación, dispositivos flexibles, pantallas de cristal líquido (LCD) y diodos orgánicos emisores de luz (OLED)[ 70][71][72] .

Los materiales semiconductores pueden ser inorgánicos u orgánicos. Los materiales inorgánicos poseen propiedades superiores en término de desempeño y estabilidad, pero el trabajo con ellos conlleva procesos poco compatibles con las técnicas de impresión usuales, entre las que podemos nombrar deposición en vacío y deposición química de vapor (CVD). Además el procesado de estos materiales en soluciones requiere altas temperaturas (entre 300-750°C, dependiendo el material), las cuales son poco compatibles con los sustratos flexibles. Como ejemplo de estos podemos nombrar el Silicio (Si), óxidos de metales de transición y Calcogenuro [40].

Los semiconductores orgánicos presentan una buena solubilidad y la adecuada dispersión, parámetros importantes desde el punto de vista de la capacidad de impresión. Los mismos se pueden dividir en tres grupos principales: polímeros conjugados, cadenas u oligómeros cortos de polímero, e híbridos orgánicos e inorgánicos. Siendo su principal diferencia la movilidad de cargas, un detalle sobre sus estructuras y las características de cada uno de estos grupos se encuentra detallada en trabajo de Nurdan Demirci Sankir [73].

Los compuestos poliméricos, son la mezcla de un polímero como material base, un solvente, y una fase funcional, que proporciona las características buscadas. La fase funcional está formada por partículas de un metal (Ag, Au, Cu, carbón), un material resistivo (carbón, grafito) o un material dieléctrico [74].

Para ello los investigadores han probado añadir al conjunto *moléculas dopantes*, que aportan carga eléctrica al polímero. El tamaño y la posición geométrica de la *molécula dopante* influye en la eficiencia del semiconductor. Los científicos han descubierto que esta molécula se puede acoplar a los átomos del material con diferentes orientaciones, se trata de escoger la orientación que más conductividad proporcione a la mezcla [75].

#### 4.3.2.4.3. Aislantes o Dielectricas

Las tintas y revestimientos dieléctricos juegan un papel importante en la protección y mejora de los materiales conductores. Cuando están diseñados para ser compatibles con tintas conductoras específicas crean una capa aislante y pueden proporcionar enlaces cruzados que hacen que las tintas de plata impresas sean más duraderas. Las características de esta tinta proporcionan funcionalidades para aplicaciones específicas, incluyendo el aislamiento en tintas conductoras de película gruesa de polímero en la fabricación de interruptores de membrana y circuitos flexibles.

Algunos de los materiales dieléctricos orgánicos utilizados comúnmente en la electrónica impresa son: 4-vinilfenol (PVP), Metacrilato de metilo, Tereftalato polietileno, Poliamida, Alcohol polivinílico (PVA) y Poliestireno [39].

Ejemplos concretos del uso de tintas dieléctricas podemos encontrar en: el desarrollo de un capacitor sobre una prenda textil con el uso de una tinta dieléctrica basada en un nuevo polímero (4-vinylphenol) [76]; el desarrollo de transistores de película delgada basados en una nueva tinta dieléctrica obtenida de una dispersión de  $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$  [77] y el desarrollo de una nueva tinta dieléctrica para aplicaciones de electrónica impresa general con la propiedad de curado a temperatura ambiente [78].

#### **4.3.2.4.4. Parámetros característicos de las tintas**

Para la selección de la tinta a utilizar en un proyecto, una vez definida su aplicación se deben considerar los parámetros que la caracterizan a continuación resumiremos algunos de ellos:

##### **Función:**

Básicamente si se trata de una tinta conductora, semiconductor o dieléctrica (aislante).

##### **Material:**

Es decir de que compuesto es la tinta, en el caso de las tintas conductoras podemos hablar plata (Ag), cobre (Cu), alguna aleación como Plata (Cloruro de plata (Ag/AgCl)), en el caso de tintas dieléctricas solemos hablar de distintos polímeros. Asociado a cada uno de estos materiales están sus características físicas/químicas como ser la conductividad eléctrica y térmica, la constante dieléctrica, la solubilidad en agua, etc.

##### **Proceso de impresión:**

Tal como vimos antes, existen distintos procesos para realizar la impresión de electrónica, cada uno de estos procesos poseen características particulares, por lo tanto las tintas a ser empleadas deben ser aptas para el proceso en cuestión.

##### **Sustrato:**

De forma similar que existen tintas especiales para cada proceso de impresión, las hojas de datos detallan para que tipo de sustratos son recomendadas las tintas. Muchas veces íntimamente relacionado con el proceso de impresión.

##### **Tamaño de partícula:**

Las tintas son una disolución de un material (conductor, semiconductor o dieléctrico) en un solvente. En dicha disolución el material esta en forma de partículas. El tamaño de estas partículas es muy importante dependiendo de la resolución que se quiere obtener en la impresión, así como también del proceso de impresión que se utiliza. Es muy importante en procesos de impresión Inkjet ya que los cabezales de impresión tienen un tamaño máximo de partícula.

##### **Solvente:**

El solvente es aquella sustancia que permite la dispersión de otra en su seno. Es el medio dispersante de la disolución. Normalmente, el disolvente establece el estado físico de la disolución, por lo que se dice que el disolvente es el componente de una disolución que está en el mismo estado físico que la disolución. También es el componente de la mezcla que se encuentra en mayor proporción. Se puede mencionar entre los solventes más usados el agua y algunos solventes polares como el Ethyl, el Alcohol e IPA (alcohol isopropílico). El solvente de una tinta es de importancia porque según sus características y especificaciones, se debe hacer la elección del sustrato a utilizar .

##### **Contenido sólido wt%:**

Es el porcentaje del peso del material en la solución.

**Viscosidad (cps):**

La viscosidad es definida como la resistencia de un líquido a fluir, a pesar de que la composición química de la tinta puede variar, el líquido final debe tener una viscosidad específica (consistencia) para ser propiamente eyectado del cartucho. El dispositivo mecánico de eyección, tiene un resorte de precisión en el cartucho diseñado para contener la tinta en el interior más allá del punto de goteo del rociador. Si la tinta es muy líquida, puede chorrear desde los rociadores a destiempo, si por el contrario es muy espesa, el cartucho no liberará la tinta sobre el sustrato.

**Tiempo de vida:**

Es el tiempo durante el cual la tinta mantiene las propiedades especificadas, luego de este tiempo las partículas disueltas en el solvente tienen a aglutinarse.

**Condiciones de secado:**

Este parámetro especifica cómo debe ser realizado el proceso de secado de la tinta, es decir a que temperatura, durante cuánto tiempo y si debe ser aplicado algún proceso especial, como por ejemplo una luz ultravioleta. La temperatura de secado depende mucho del solvente usado y es muy importante al momento de seleccionar el sustrato a utilizar, se debe analizar la temperatura de Curie del material. Además la temperatura tiene una gran influencia sobre los comportamientos de los fluidos y modifica muchísimo la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del líquido. Mientras mayor es la temperatura de un líquido mucho menor es su viscosidad. Existen tintas diseñadas para temperaturas bajas de secado (ej. Novacentrix) cuyo rango varía entre 25°C (temperatura ambiente) y 180°C.

**Cobertura (cm<sup>2</sup>/g):**

Este parámetro indica la superficie en cm<sup>2</sup> que puede cubrir cada gramo de tinta.

**Energía superficial:**

Es la fuerza que existe en la superficie de los líquidos, las moléculas en la capa superficial se ajustan apretadamente entre ellas, creando el fenómeno de tensión superficial. Cuando hay poca adhesión es necesario subir la tensión superficial del sustrato o reducir la tensión superficial de la superficie de la tinta [79].

**Densidad:**

Este parámetro indica la cantidad de tinta por unidad de volumen. Se mide en g/ml.

**Tensión laminar (ohm/sq) Depositada:**

Es la tensión de la superficie de tinta cuando se imprime sobre el sustrato.

**Tensión laminar (ohm/sq) Tras prensado:**

Se refiere a la tensión de la superficie de tinta después de los procesos de secado.

Como ejemplo se detallan los parámetros de la Pasta de polímero de plata conductora C2080415P2 de la firma Gwent Group (Figura N° 4.19), se presenta esta pasta en particular por estar disponible en el INTI.

En ella se puede apreciar el tipo de tinta, es decir su función, el material (Pasta de polímero de plata conductora), el proceso para el cual puede ser empleada (serigrafía), sobre los sustratos donde puede usarse (poliamida, PET, PEN), el contenido de sólidos (44.75% - 45.25%), la viscosidad (0.72 - 1.78 Pa s), la cobertura (250 - 270 cm<sup>2</sup> per g), el proceso de secado (entre 10 y 30 minutos a una temperatura de entre 130°C y 150°C) y el tiempo de vida (6 meses). Así como también por tratarse de una tinta conductora se especifica la resistividad (925.68 Ωcm a 60°C).

Por otro lado la Figura N°4.20 presenta una parte de la hoja de datos de una pintura dieléctrica de la empresa Dupont, en esta se puede apreciar la constante dieléctrica del material.

<b>C2080415P2</b>
<b>Conductive Silver Polymer Paste</b>

**PRODUCT DESCRIPTION**

This product is a thermoplastic screen printing ink, developed for use in membrane touch switch applications as well as counter electrode in electrochemical sensors and conductive tracks. It may be screen printed on to flexible polymeric substrates, such as Polyimide, PEN and PET substrates, to create a highly conductive track for general circuitry. The ink has undergone electrical and mechanical testing which has shown that it is very flexible.

**Product Benefits**

Low silver content paste presenting low resistivity, good flexibility and good adhesion on the mentioned substrates.

**PROCESSING**

**Screen Printing Equipment**

Semi-Automatic, manual

**Ink Screen Life**

>3 hours

**Screen Types**

Suitable for use with polyester or stainless steel meshes in the range of 156 to 325 tpi.

**Typical Drying Conditions**

Dry at 130°C - 150°C for 10-30 minutes or on a belt dryer with air flow that sees 130°C - 170°C for 5-10 minutes.

**Clean Up Solvent**

Ethoxy Propanol or Sericol

**Substrate**

Polyimide, PET, PEN and can also be printed on more rigid substrates such as Alumina

**Storage**

The product should be kept sealed, in its container, and stored at a temperature between 15°C - 25°C

**Shelf Life**

In a sealed container, stored correctly, the shelf life is minimum 6 months from despatch.

**Diluent/ Thinner**

S2081111D1.

**PHYSICAL PROPERTIES**

<b>Solids Content</b> at 700°C	44.75% - 45.25%
<b>Viscosity</b> Haake RS1 C20/2° TIL at 230 sec <sup>-1</sup> at 25°C.	0.72 - 1.78 Pa s
<b>Coverage</b> Using a 230 mesh stain- less steel screen	250 - 270 cm <sup>2</sup> per g
<b>Pencil Hardness</b> ASTM	5B
<b>Volume Resistivity</b> 60°C 130°C	925.68 Ω cm 527.45 Ω cm
<b>Flash point</b>	90°C

**PHYSICAL PROPERTIES PRINTED ON POLYESTER FILM**

<b>Sheet Resistivity</b> Printed onto 125µm PET film	15-20mΩ/square at 25µm 30-45mΩ/square at 10µm
<b>Bending Tests *</b> Printed onto 75µm PET film	Ink survived 3 cycles
<b>Double Curing</b> Printed onto 125µm PET film	Aging factor of -0.7% after double curing at 150C for 15min
<b>Hot water Test</b> Printed onto 125µm PET film	Aging factor of -0.2% after boiling for 1hour.

**\*Bending Tests**

Substrate is creased and bent internally and externally with a 2kg weight. The test piece has failed when the resistance reaches 10 times the initial value.

**Note:** Please mix well the paste without introducing air bubbles prior to screen printing.

**SAFETY AND HANDLING**

These inks are intended for industrial use by trained personnel. It is important for workers to avoid overexposure to chemicals contained in these products.

ad the Material Safety Data Sheet (MSDS) and product labels before using the products. Keep product container closed when not in use to prevent solvent evaporation and spilling hazard

Issued by Gwent Group March 2017  
Issue 9

All values reported here are results of experiments conducted in our laboratories and are intended to illustrate the products performance. They are not intended to represent the products specifications

Gwent Electronic Materials Ltd.  
Applied Enzyme Technology Ltd.  
Gwent Biotechnology Systems Ltd.  
Gwent Sensors Ltd.  
LRH Ltd.

Telephone +44 (0) 1495 750505  
Telefax +44 (0) 870 052 8250  
E-Mail [sales@gwent.org](mailto:sales@gwent.org)  
Web Site <http://www.gwent.org>

Monmouth House  
Mamhilad Park  
Pontypool  
Torfaen  
NP4 0HZ  
United Kingdom



Figura N° 4.19. Hoja de datos de Pasta de polímero de plata conductora C2080415P2 Gwent Group





**Technical Data Sheet**

**Product Description**  
 DuPont 5018 is a UV curable, solvent less, screen printable composition used in encapsulant and crossover applications for both rigid and flexible circuit manufacture. It offers the advantages of rapid cure and excellent processing latitude while maintaining excellent electrical and physical properties after cure, including excellent crosshatch adhesion to print-treated and good adhesion to non-print-treated PET substrate and conductor. It is fully compatible with DuPont's 5000's Series conductor compositions.

- Product Benefits**
- Fast UV cure
  - Zero VOC when properly cured

- Processing**
- **Screen Printing Equipment**  
 Semiautomatic and manual
  - **Substrates**  
 Polyester, polyimide, epoxy glass
  - **Ink Residence Time on Screen**  
 > 2 hours
  - **Screen Types**  
 Polyester, stainless steel
  - **Optimum Cure Conditions for Flexibility**  
 40 ft/min in air<sup>1</sup>  
 500 - 1500 mJ/cm<sup>2</sup>\*
  - **Typical Thickness (after cure per print)**  
**Printed with 200 - 280 mesh stainless steel screen**  
 1- 1.2 mil
- Two prints of dielectric are strongly recommended to achieve maximum circuit reliability.

**Table 1  
 Typical Physical Properties and Electrical Properties on Polyester Film**

Test	Properties
Adhesion Crosshatch (ASTM D3359-78) Dielectric to Polyester Scotch Tape#600	No Transfer (5B)
Conductor to Dielectric	No transfer
Abrasion Resistance, Pencil Hardness (ASTM D3363-74) [H]	≥ 1
Operating Use Temperature (°C)	At least 70
Flexibility (180° crease over DuPont 5007)	No opens
Breakdown Voltage (ASTM D150)[V/mil DC]	≥ 500
Dielectric Constant (ASTM D150)[@ 1KHz]	4.4
Insulation Resistance [GΩ/sq/mil]	> 10
Change in Physical Properties after Environmental Tests*	Insignificant
Change in Electrical Properties after Environmental Tests*	May drop up to one order of magnitude
<small>* Environmental Tests            Thermal Shock (+85°C to -40°C, 30 min. each, 5 cycles)            Dry Heat (+85°C, 10 days)            Humidity (+40°C, 95% RH, 10 days) [MIL Std 202E, method 103, cond. A]            Salt Spray (+35°C, 5% salt, 10 days) [ASTM B117]</small>	
<small>Table 1 &amp; 2 show anticipated typical physical properties for DuPont 5018 based on specific controlled experiments in our labs and are not intended to represent the product specifications, details of which are available upon request.</small>	

Figura N° 4.20. Hoja de datos de tinta dielectrica.

**4.3.2.4.5. Empresas fabricantes de tintas**

Existen varias empresas que pueden ofrecer tintas para electrónica impresa, entre ellas encontramos Dupont [80] la cual ofrece:

- Tintas flexibles para wearebles
- Tintas de conductoras de plata para Inkjet
- Tintas de baja temperatura

La tabla N°4.3 presenta los distintos productos que ofrece Dupont, su aplicación, su compuesto y su principal característica.

APPLICATION	COMPOSITION	PRODUCT CODE	FEATURES
Printed Electronics	● Silver	5064H	Very high conductivity
Printed Electronics	● Carbon	7105/7102	Low cost carbon
Printed Electronics	● Dielectric	5018	Cross-over or encapsulant
Printed Electronics	● Ag composite	PE825/PE826	Low silver circuitry 37%/ 18% Ag
Printed Electronics	● Silver	PE410	High conductivity nano-Ag for ink-jet printing
RFID	● Ag Alloy	PE815	Low silver 27% Ag, photonic cure, laminate or calendar
RFID	● Silver	5064H/5029	High conductivity for printed HF antennae
RFID	● Copper	PE510	Low cost copper for photonic curing, UHF antennae
Biomedical	● Silver	5025	Signal lines and sensor pads
Biomedical	● Ag / AgCl	5880/ 5874	Stable reference electrodes
Biomedical	● Carbon	BQ226	High sensitivity electrodes
Biomedical	● Gold	BQ331	Inert surface electrodes
Biomedical	● Platinum	BQ321	High activity electrodes
Biomedical	● Dielectric	BQ10	Fast cure high resolution flexible insulator
In-Mold Electronics	● Silver	ME60x	Formable conductors
In-Mold Electronics	● Dielectric	ME77x	Formable dielectric, UV and solvent cure
In-Mold Electronics	● Transparent	ME801	Formable transparent conductor
In-Mold Electronics	● Silver	ME901	Conductive adhesive for LED attach
OLED Lighting	● Silver	9169	Bus lines, good adhesion to ITO
OLED Lighting	● Silver	PE410	Ink-jet nano-Ag for bus and grid lines
LED Lighting	● Silver	502x/5064H	High conductivity signal lines
LED Lighting	● Dielectric	5056	Flexible solder mask and white reflector
LED Lighting	● Ag / ● Cu	CB230	Solderable contact pad
Heaters	● Carbon	7292	PTC composition for self-limiting heaters
Heaters	● Silver	Kapton™ KA801	High temperature operation
Touch Panels	● Silver	9169	Good adhesion to ITO glass
Wearables	● Silver	PE873	Stretchable, washable conductor
Wearables	● Dielectric	PE773	Stretchable, washable encapsulant
Wearables	● Carbon	PE671	Stretchable, washable sensor
Wearables	● Ag / AgCl	PE971	Stretchable, washable sensor
Electroluminescent	● Phosphor	815xB/815xL	White, blue-green and yellow-green
Electroluminescent	● Dielectric	8153	High dielectric constant
Electroluminescent	● Silver / ● Carbon	9145/8144	Rear electrode / Front bus bar
Electroluminescent	● Translucent	7162	Front translucent electrode
Smartpackaging	● Silver	PE827/PE828	Low temperature curing (60° C – 100° C)
Thin Film Photovoltaic	● Silver	PV41x	High conductivity and adhesion on TCOs

Tabla N°4.3. Productos Dupont.

Otra de las empresas que ofrece tintas es APN Materials (Advanced Nano Products) [81], quien ofrece:

- Pasta con nano partículas de plata
- Tintas para Inkjet de nano partículas de plata

En la figura N° 4.21 se muestran las especificaciones de los distintos tipos de tintas con AgNP que ofrece APN Materials.

La empresa Novacentrix [82] es una empresa dedicada a brindar soluciones para el desarrollo y la manufactura de aplicaciones de electrónica impresa, entre sus productos ofrece:

- Sistemas de curado fotonico
- Software de simulación de curado fotonico
- Tintas conductoras
- Nano polvos


La tabla N°4.22 se presentan las distintas tintas que ofrecen [83], las mismas se encuentran separadas por el tipo de proceso para el cual fueron elaboradas. Encontramos tintas para impresoras Inkjet y para huecograbado entre otras.

Product Specification

Properties	Product Categories				
	DGP 40LT-15C	DGP 40TE-20C	DGP 45HTG	DGH 55LT-25C	DGH 55-HTG
Solid Content(%)	30 ~ 35			50 ~ 60	
Viscosity(cPs)	10~17 (adjustable)			7~16	
Surface Tension	35~38 (adjustable)			27~30	
Solvent	TGME(Triethylene glycol monoethyl ether)			Tetradecane	
Washing Solvents	Polar Solvents:Ethyl Alcohol, IPA etc.			Non-Polar Solvents:Xylene, Hexane, Octane etc.	
Curing Temp.(°C)	120~150	180~200	400~550	250	400~550
Specific Resistivity( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	11~12	5~9	2~3	2.4~3.0	2.0~2.5
Substrate	Plastic films	ITO Glass Bare Glass	ITO Glass Bare Glass	Polymide film	ITO Glass Bare Glass

- \* Alcohol, Water also usable as dispersion solvent upon customer's request.
- \* Viscosity and surface tension can be modified upon customer's request.

Figura N° 4.21. Especificaciones Tintas de AgNP (ANP)



**Order NovaCentrix Inks Online**  
 NovaCentrix inks can be purchased in sample quantities directly on our web store at [store.novacentrix.com](http://store.novacentrix.com) or from our website at [www.novacentrix.com](http://www.novacentrix.com).

### Inks Summary

Ink	Pigment	Loading Weight %	Substrates	Thermal cure minimum (C)*	Usage comments	Example application areas
<b>INKJET INKS</b>						
JS-B40G	Silver nanoparticles	40	non-porous (plastics, glass)	180	Dimatix, Xaar, others	circuits on glass or ITO, e.g. proximity switches
JS-B25HV	Silver nanoparticles	25	porous (Novole, photo paper)	25	Dimatix, Xaar, others	circuits on coated plastic, e.g. membrane switches
JS-B25P	Silver nanoparticles	25	porous (Novole, photo paper)	25	Desktop piezoelectric printers	tamper proof seals
ICI-002HV	Copper oxide nanoparticles	16	porous (Novole)	NA	Dimatix, Xaar, others; requires PulseForge processing	UHF antenna on coated plastic
ICI-003	Copper oxide nanoparticles	10	porous (Novole)	NA	Desktop piezoelectric printers; requires PulseForge processing	Plasmonic reflectors
JR-DEV	Carbon nanoparticles	3 - 5	porous / non-porous	varies	Dimatix, Xaar, Epson, others; developmental inks	On board heaters / electrochemical sensors
<b>FLEXOGRAPHIC INKS</b>						
PFI-722	Silver nanoparticles	60	porous / non-porous (plastics)	80		Conductive grid pattern on plastic
<b>GRAVURE INKS</b>						
PFI-722	Silver nanoparticles	60	porous / non-porous (plastics)	80	Some hazing present	
<b>SCREEN INKS</b>						
HPS-021LV	Silver micron flake	75	porous / non-porous (plastics, glass)	120		HF RFID antenna
HPS-030LV	Silver nano flake	75	porous / non-porous (plastics, glass)	175		Solar cell collection grid
PSI-211	Silver nanoparticles	42	porous / non-porous (plastics)	80		Battery electrode
PSI-219	Silver nanoparticles	41	porous / non-porous (plastics)	80		Embedded electronics into graphics
ICI-021	Copper oxide nanoparticles	60 - 70	porous (paper)	NA	Requires PulseForge processing	UHF RFID antenna on paper
HPS-DEV	Silver micron / nano flake	varies	porous / non-porous (plastics, glass)	120	Developmental inks	Solderable prints; solvent-resistant circuits
HPN-DEV	Nickel micron flake	varies	porous / non-porous (plastics, glass)	varies	Developmental inks	Magnetic switches
HPR-DEV	Carbon nanoparticles	varies	porous / non-porous (plastics, glass)	varies	Developmental inks	Large area printed heaters
<b>AEROSOL JET INKS</b>						
HPS-030AE1	Silver nano flake	55	porous / non-porous (plastics, glass)	175	Pneumatic system	Printed faraday cages / ground planes; antennae
PSP1-1000	Silver nanoparticles	38	porous / non-porous (plastics)	80	Pneumatic system	3D antennae
<b>SPRAY INKS</b>						
PSP1-1000	Silver nanoparticles	38	porous / non-porous (plastics)	80		Large area electrodes

Tabla N° 4.22 –Tintas Novacentrix

La empresa Sigma-Aldrich [84], la cual posee un gran número de productos químicos, entre los cuales hay productos para electrónica impresa.

Clasifican las tintas conductoras comunes en tres categorías: metales nobles, polímeros conductores, y los nanomateriales de carbono.

Entre los metales nobles, la plata es el conductor usado más frecuentemente en impresiones debido a su alta conductividad y resistencia a la oxidación, se puede imprimir usando cualquiera de las tintas basadas en nanopartículas de plata (736465, 736473, 736481,736503 y 736511).

Estas tintas ofrecen la más alta conductividad entre los materiales impresos, pero se basan en precursores caros. La empresa también dispone de tintas de cobre, pero requieren diseños de nanopartículas core-shell o tratamientos especializados de recocido fotónico para producir patrones conductores. Los polímeros conductores, tales como PEDOT PSS ( 739316 , 768650 , 768642 ), se han desarrollado para aplicaciones de electrónica de impresos. Estos materiales ofrecen una conductividad modesta a bajo coste, pero son limitados en términos de estabilidad química y térmica.

Los nanomateriales de carbono, incluyendo nanotubos de carbono (791490 , 791504 y 792462 ) y grafeno, ofrecen una alternativa de bajo costo con excelente estabilidad ambiental y la conductividad deseable, junto con propiedades únicas adecuadas para determinadas aplicaciones.

Para finalizar tenemos la empresa Methode [85]. Entre sus productos ofrece las siguientes tintas: 9101 ,6105 y la serie 3800. Las 9101 es una tinta plateada conductiva a inyección acuosa. Está diseñada para todas las tecnologías de descenso del cabezal de impresión según la necesidad, así como para una variedad de sustratos flexibles y rígidos. Contiene nanopartículas de plata conductivas y logra resistencias eléctricas mínimas de 200 milliohms por cuadrado en minutos de impresión. No requiere un curado secundario o proceso adicional en muchos de los sustratos con revestimiento. Se puede imprimir sobre sustratos flexibles como poliéster, láminas de polímeros sintéticos, papeles revestidos y sustratos rígidos. Ofreciendo resoluciones tan finas como líneas y espaciado de 100 micrones, la tinta es apta para el uso en el mercado de componentes electrónicos impresos, incluyendo sensores, indicadores flexibles, campos fotovoltaicos, RFID, seguridad e iluminación.

La 6105 es una tinta imprimible serigráfica de plata altamente conductiva ,tiene relativamente pocos requisitos de curado, incluso menos de 3 miliohmios por mil cuadrado en sustratos de mayor temperatura y menos de 5 miliohmios por mil cuadrado en sustratos de menor temperatura como poliéster, poliimidas, otros plásticos, papel estucado y FR-4. Esto permite un proceso de curado o secado en hornos de convección estándar o en hornos infrarrojos.

La Serie 3800 son tintas a chorro de carbono resistivo .Las fórmulas acuosas a chorro de Methode están diseñadas para todas las tecnologías de descenso del cabezal de impresión según la necesidad. Las tintas contienen nanopartículas de carbón conductivas y logran resistencias eléctricas mínimas de 2000 Ohms por mil cuadrado. Los sustratos pueden ser flexibles y rígidos como poliéster, láminas de polímeros sintéticos, papeles revestidos y acrílicos. Ofreciendo resoluciones tan finas como líneas y espaciado de 100 micrones, la tinta es apta para usar en el mercado de componentes electrónicos impresos, incluyendo sensores, embalajes seguros, iluminación, blindaje RF y juguetes.

En la Figura N° 4.23 se presenta como ejemplo las características de la tinta conductiva 9101 de Methode Electronics:



## Conductive Inkjet Ink 9101

### Product Description

An aqueous, silver nano-particle ink designed for both thermal and piezo inkjet printing systems. Secondary curing or processing is not required to achieve excellent adhesion and electrical conductivity on multiple compatible substrates.

### Features

- Applied via thermal or piezo printheads
- Cures at ambient temperature immediately after orienting on coated media
- RoHS compliant
- Custom formulations

### Typical Ink Properties

-Viscosity	3.5 cps Brookfield DV-E #1 spindle, 60 rpm
- Density	1.2 grams/ml
-Surface Energy	55 dynes/cm SITA Bubble Pressure Tensiometer

### Typical Printed Properties

-Print Thickness	1 Micron
-Line Width	75 micron lines and spaces (depending on drop size)
-Electrical Resistance	25 milliohms per square as printed (depending on drop size)
-Color	Metallic Gold
-Flex Resistance	Excellent
-Adhesion	Excellent
-Rub Resistance	Excellent



Methode is...  
possibilities

Methode Development Company  
7401 West Wilson Avenue  
Chicago, Illinois 60706  
Web: [www.methode.com/inks](http://www.methode.com/inks)  
Email: [infomdc@methode.com](mailto:infomdc@methode.com)

Disclaimer: The product information and recommendations contained herein are based on data obtained by tests we believe to be accurate, but the accuracy and completeness thereof is not guaranteed. No warranty is expressed or implied regarding the accuracy of this data, the results obtained from the use hereof, or that any such use will not infringe any patent. Methode Development Company assumes no liability for any injury, loss, or damage, direct or consequential arising out of its use by others. This information is furnished upon the condition that the person receiving it shall make their own tests to determine the suitability thereof for their particular use, before using it. User assumes all the risk and liability whatsoever in connection with their intended use. Methode Development Company's only obligation shall be to replace such quantity of the product proved defective

September 2012

Tabla N° 4.23 – Methode Electronics.

#### 4.3.2.4.6. Análisis de proveedores

A continuación se presenta una tabla N°4.4 con un análisis de distintos proveedores de tintas que realizó la gente de la FAN.

Function	INK	MANUFACTURER	MODEL	Particle size	SOLIDS (%)
Conductive	Ag	Dupont	PE410		45,2
	Ag	ANP	DGP 40LT-15C		30-35
	Ag	ANP	DGP40TE-20C		
	Ag	ANP	DGP45HTG		
	Ag	ANP	DGH55 LT-25C		
	Ag	ANP	DGH55 HTG		
	Ag	Methodo	Series 9201-02-03		
	Ag	Methodo	Series 9101-02-03-04		
	Ag	Novacentrix	JS-B40G	60-80 nm	40%
Dielectric	Epoxy resin, silica precursor	Politronica	<a href="#">InkA-I220</a>	<100 nm	30 % wt
	SU-8-negative tone photo-epoxy for layers from 3 to 8 µm	Gersteltec	GM 1050		
Resistive	nCarbon	Methodo	#3800		
	nCarbon	Sigma-Aldrich	793663		2.00 - 2.85 %

Tabla N°4.4-parte 1. Análisis de proveedores de tintas.

VISCOSITY (cP)	SHELF LIFE	SOLVENT	WASHING SOLVENT	COLOR	SURFACE ENERGY	DENSITY
20 to 40	3 months (5°C)	Water?		Dark brown		2.74 g/cc
10 to 17		TGME (Triethylene glycol monoethyl ether)	Polar Solvents : Ethyl Alcohol, IPA etc.		35~38 (adjustable)	
10		Aqueous		Metallic silver	27 dyn/cm	1,25 g/ml
8-12cP		Aqueous		Dark brown	28-32	1,56
13,4 cP			Ethanol	Colourless	30÷35 mN/m	
Up to 12 cp	Passes ASTM 2243	Water	Water	Black	25 - 55 dynes/cm*	1.0 grams/ml
8 - 15 Cp	6 months			Black		

Tabla N°4.4-parte 2. Análisis de proveedores de tintas.

RESISTIVITY	SUBSTRATES	DRYING CONDITIONS	PRICE (FOB)	PPU (Price per unit)
≤ 5 at 130°C ≤ 4 at 150°C ≤ 3 at 190°C (mΩ/sq/25μm)	PET (eg. Melinex® ST504), Glass, PEN, ITO	Box Oven: 130°C for 20 minutes	85 g - 531,24 u\$d	6,24 u\$d/g - 15,4 u\$d/ml
11~12 (μΩ•cm)	Plastic films	120 ~ 150°C	100 g - 950 u\$d	9,5 U\$d/g -
25 per square		thermal and/or photo sintering on non- porous substrates	125 g - 1200 u\$d	9,6 u\$d/g - 12 u\$d/ml
500 milli-ohm/square > 10E11 Ω*cm	Polyester; Polycarbonate Polyimide, silicon, glass, Pyrex®	Thermal processing (min 180°C required) UV 320 nm or 80°±90°C for 240 min, Relative humidity: 90%, Slightly acid environment	156 g - 300 u\$d	
20k/10k/5k Ohms per squar		NOT require	100 g- u\$d 200	

Tabla N°4.4-parte 3. Análisis de proveedores de tintas.

#### 4.3.2.5. Sustratos

Se pueden encontrar una gran cantidad de materiales como sustratos para electrónica impresa, este se puede apreciar en los distintos productos que ofrece la empresa Sigma-Adldric, la cual ha cambiado su nombre a Merck. En su página web [86] bajo la categoría “Organic and Printed Electronics” encontramos la categoría “Sustrates and Electrode Materials” donde en “Sustrates” encontramos alternativas de: vidrio de óxido de estaño dopado con flúor (FTO), sustratos (vidrio, silicio, Mica) recubiertos de oro, sustratos (vidrio, plástico/polímeros) revestidos de óxido de estaño de indio (ITO), obleas de silicio y sustratos cristalinos simples (Óxido de Aluminio, Arseniuro de Galio, Titanato de estroncio, etc). Sin embargo para el caso de electrónica flexible, las opciones no son tantas y los materiales usados como sustratos deben cumplir ciertas propiedades: ópticas (transparencia, birrefringencia); aspereza de la superficie (cuanto más fina es la película del dispositivo, más sensible su funcionamiento eléctrico a las asperezas); propiedades térmica y termomecánicas (temperatura de trabajo, coeficiente de expansión térmica (CTE)); propiedades químicas (resistencia a solventes y propiedades de barrera para la humedad y los gases); propiedades mecánicas y propiedades eléctricas y magnéticas [87].

Son tres los sustratos disponibles para aplicaciones flexibles, vidrio delgado, películas de metal y plásticos (polímeros). En la tabla N°4.5 presenta las características típicas de películas de vidrio, plásticos (polímeros) y acero inoxidable de 100um de espesor [87].

Actualmente, son utilizados paneles de vidrio como sustrato en tecnología de pantallas planas. Los paneles de vidrio se convierten en flexibles cuando su espesor es reducido a varios cientos de micrones. Estas hojas de vidrio mantienen todas las ventajas de los paneles: transmitancia óptica >90% en el rango visible, bajo índice de birrefringencia (low stress bire), superficie suave, bajo coeficiente de expansión térmica (aprox.  $4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ), resistencia a la mayoría de los procesos químicos, impermeabilidad al oxígeno y el agua, resistencia a los rasguños y la aislación eléctrica.

Sin embargo son frágiles y difíciles de manejar, por lo cual para reducir la rotura durante el manejo, las hojas de vidrio se pueden laminar con plástico, aplicar un fino y duro recubrimiento o aplicar un recubrimiento plástico (polímero) [87].

Los sustratos de láminas de metal de espesor menor que 125µm son flexibles. El acero inoxidable, por ejemplo, ha sido usado ampliamente en investigación (celdas solares principalmente) debido a su alta resistencia a la corrosión y procesos químicos. Además soporta temperaturas altas, del orden de los 1000°C, es dimensionalmente estable, es una excelente barrera contra la humedad y el oxígeno, puede servir como disipador térmico y proveer blindaje magnético. La principal desventaja que presenta en la aspereza de su superficie, la que en el mejor de los casos puede llegar a 100nm, en contraste el vidrio posee una aspereza menor que 1nm. Para asegurar la integridad eléctrica de un dispositivo de película delgada de este material, la lámina de acero debe ser pulida o aplanada con algún recubrimiento (orgánico o inorgánico) [40][87].

Refiriéndonos ahora a los polímeros, estos son altamente flexibles, pueden ser económicos, y permiten procesos R2R. Sin embargo, son térmicamente y dimensionalmente menos estables que los sustratos de vidrio y son fácilmente permeables al oxígeno y el agua. Es esencial que la temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , sea compatible con la temperatura del proceso del dispositivo. Otros factores importantes son la estabilidad dimensional y el coeficiente de expansión térmica (CTE). Diferencias entre los CTE del sustrato y el material del dispositivo puede producir la rotura del dispositivo. Algunos candidatos para sustratos flexibles incluyen los polímeros semicristalinos termoplásticos: el tereftalato de polietileno (PET) y el naftalato de polietileno, polímeros nanocristalinos termoplásticos: policarbonato (PC) y Polisulfona (PES), y materiales del alta  $T_g$ : Poliariolato (PAR), Olefina policíclica (PCO), y poliamida (PI) [87]. Un caso particular de este último polímero es el Kapton, el cual es una capa poliamida desarrollada por DuPont que es estable en un rango de temperatura amplio, que va desde -269°C hasta los 400°C [87].

En la tabla 4.5 se presenta las características típicas de hojas de vidrio, plásticos (polímeros) y acero inoxidable de 100µm de espesor [87].

La tabla N°4.6 detalla las propiedades de varios sustratos plásticos (polímeros).

El Poli (tereftalato de etileno)-hoja (PET) es una opción común, debido a su estabilidad, bajo costo y soporta temperaturas en un rango de 150° C a 200°C en periodos cortos de tiempo.

El Poli (etileno naphthalate)-(PEN) y el Poly(imide)-hoja (PI) son otras alternativas. Papel de múltiples aplicaciones y bajos costos hacen un sustrato atractivo, sin embargo, su rugosidad alta y gran capacidad de absorción hace que sea problemático su uso para la electrónica.

El Kapton es una capa poliamida desarrollada por DuPont la cual es estable en un rango de temperatura amplio, que va desde 0°C hasta los 400°C.

ITO es un material optoelectrónico compuesto por óxido de indio y estaño que se aplica ampliamente como sustrato en la investigación y en la industria. En la electrónica las películas delgadas de ITO son usadas como sustrato flexible de alta calidad. Sus aplicaciones más conocidas son como revestimiento conductor transparente para pantallas de cristal líquido, pantallas planas, pantallas táctiles y tinta electrónica. Se utilizan películas delgadas de ITO también para dispositivos como diodos orgánicos emisores de luz, células solares. Con el agregado de la nanotecnología se han fabricado células solares de bajo costo, con sistemas de impresión rápida y flexibles, brindando una amplia gama de aplicaciones en iluminación OLED y celdas solares.



Propiedades	Unidades	Vidrio (1737)	Plásticos (PEN,PI)	Acero inoxidable (430)
Espesor	um	100	100	100
Ancho	g/cm <sup>2</sup>	250	120	800
Radio de curvatura seguro	cm	40	4	4
Procesable R2R ?	-	Imposible	Posible	Si
Visiblemente transparente	-	Si	A veces	No
Máxima temperatura de proceso	°C	600	180-300	1000
CTE	ppm/°C	4	16	10
Modulo de elasticidad	Gpa	70	5	200
Permeabilidad con el oxígeno, agua o vapor		No	Si	No
Coefficiente de expansión de hidrólisis	ppm/%RH	Ninguno	11,11	Ninguno
Requiere horneado?	-	A veces	Si	No
Requiere planarización?	-	No	No	Si
Conductividad eléctrica	-	Ninguna	Ninguna	Alta
Conductividad térmica	W/m.°C	1	0,1-0,2	16
Deformación después de fabricación	-	No	Si	No

Tabla 4.5. Características típicas de sustratos.

Property	PET	PAcr	PEN	PC	PS	PI
Tg (°C)	70	105	120	145	203	270
Upper Tm (°C)	115	175	268	115-160	180-220	250-320
CTE (ppm/°C)	33	70	20	75	54	8-20
% Transparency	90	>90	88	92	89	35-60
Water Absorption (%)	0.6	0.2	0.4	0.25	1.4	2-3
Y. Modulus (10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup> Gpa)	2-2.7	2.4-3.4	0.1-0.5	2.6	-	2.5
Solvent Resistance	Good	Good	Good	Poor	Poor	Good
Surface Roughness	Poor	Fair	Poor	Good	Good	Good
Dimensional Stability	Good	Good	Good	Fair	Fair	Fair

Tabla 4.6. Comparación de sustratos poliméricos.

En el gráfico N° 4.24 se puede ver el rango de temperaturas en las que trabajan algunos sustratos plásticos [88].

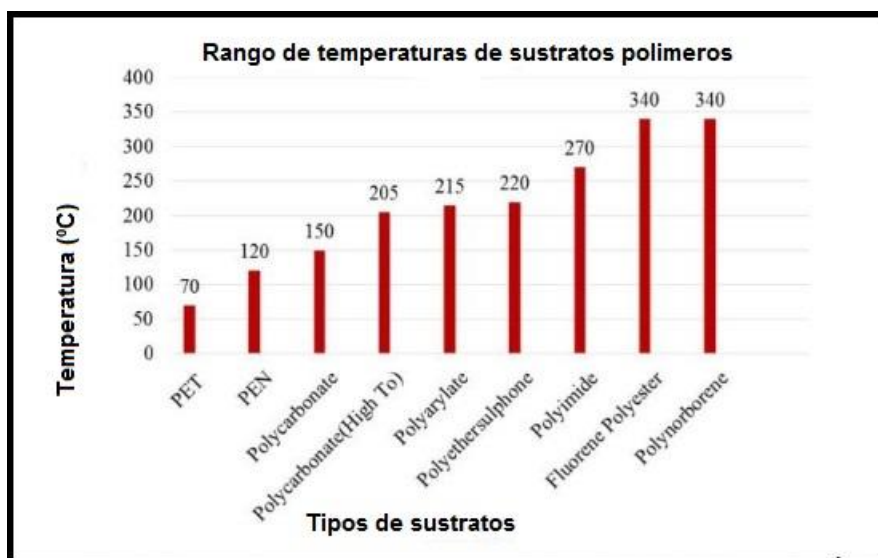


Figura N° 4.24 – Temperaturas de transición vítrea de los sustratos plásticos usados más comúnmente en la impresión de sensores y dispositivos electrónicos.

En la tabla N° 4.7 se presenta un cuadro comparativo de las propiedades de dos de los sustratos más utilizados en electrónica flexible:

Propiedad	Unidad	PEN	PET
Temperatura de transición vítrea	°C	122	80
Temperatura de uso mecánico continuo	°C	160	105
Módulo de Young	MPa	5200	3900
Resistencia a la tracción	MPa	60	45
Permeabilidad al O <sub>2</sub>	cm <sup>3</sup> .mm/m <sup>2</sup> .dia.atm	0,6	2,4
Permeabilidad al CO <sub>2</sub>	cm <sup>3</sup> .mm/m <sup>2</sup> .dia.atm	2,4	12,2
Transmisión de vapor de agua	g.mm/m <sup>2</sup> .dia.atm	0,2	0,7
Resistencia a la hidrólisis	Horas	200	50
Resistencia a la radiación	Mgy	11	2
Absorbancia a la luz UV a 360 nm	%	17	1
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,36	1.34
Punto de fusión	°C	269	250
Contracción húmeda a 100°C	%	1	5
Contracción seca a 150°C	%	0,6	1,3
Extracción de oligómero	mg/m <sup>2</sup>	0,8	20
Retención de tenacidad 45min. a 150°C	%	99	45

Tabla N° 4.7 – Comparación de las propiedades de los Sustratos PET PEN Fuente: BP p.l.c.[89]

Aunque los polímeros poseen un costo y flexibilidad muy atractivos, estas dos características presentan limitaciones. Los costos para pequeñas cantidades y prototipos no son tan económicos y la flexibilidad que pueden tener los sustratos está limitada a 3 o 6 veces el espesor del mismo, lo que imposibilita doblar o plegar estos circuitos para crear estructuras en tres dimensiones. Para

estos casos el papel se presenta como una alternativa de sustrato ya que ofrece un conjunto de características que lo hacen adecuado: es un material que fácilmente se puede encontrar en cualquier lado; pueden plegarse, desplegarse y doblarse para su almacenamiento en espacios reducidos o para formar estructuras tridimensionales autosustentables; puede ser mecanizado con tijeras o perforadoras fácilmente; es liviano y delgado; son porosos lo que permite su utilización en electrodos médicos adhesivos; se pueden combinar con dispositivos analíticos micro-portátiles o microfluídicos en papel (mPADS) para analizar muestras [90] .

El papel es un sustrato que a pesar de ser flexible y compatible con métodos de impresión rápidos, tiene una superficie rugosa y es un material bastante absorbente. Estas irregularidades provocan que se produzca en los caminos del circuito impreso con la tinta pérdida de conducción en algunos sectores. Esto obliga al uso de recubrimientos especiales en los papeles buscando mejorar esas características. El uso del papel como base para circuitos y dispositivos supone otro gran avance a futuro respecto al desarrollo de recubrimientos para evitar la rugosidad y absorción del sustrato [<http://cidei.net/electronica-flexible-camino-a-la-miniaturizacion/>].

Adam C. Siegel et al. [90] caracterizan varias propiedades de los circuitos electrónicos basados en papel, incluyendo la relación entre la conductividad superficial de conductores metálicos y la aspereza de la superficie; y la estabilidad mecánica de los conductores en función del ángulo de pliegue y el número de ciclos de doblaje u desdoblaje del mismo.

Por otro lado, los productos tradicionales basados en papel y cartón, como los que se utilizan en el embalaje, requieren altas propiedades de barrera contra gases y líquidos. Si el papel se va a utilizar como sustrato en aplicaciones funcionales, las propiedades de barrera requeridas contra solventes y ácidos deben ser muy bien analizadas y estudiadas.

Actualmente se desarrollan papeles con una estructura de revestimiento multicapa en los cuales, es el revestimiento superior el que determina la capacidad de impresión de las tintas funcionales. En esa capa de recubrimiento las propiedades que pueden influir en la capacidad de impresión de las tintas funcionales son el grosor, la porosidad y el volumen del poro, energía superficial y rugosidad. Estos se pueden ajustar mediante la elección del pigmento, su forma, tamaño y sus distribuciones.

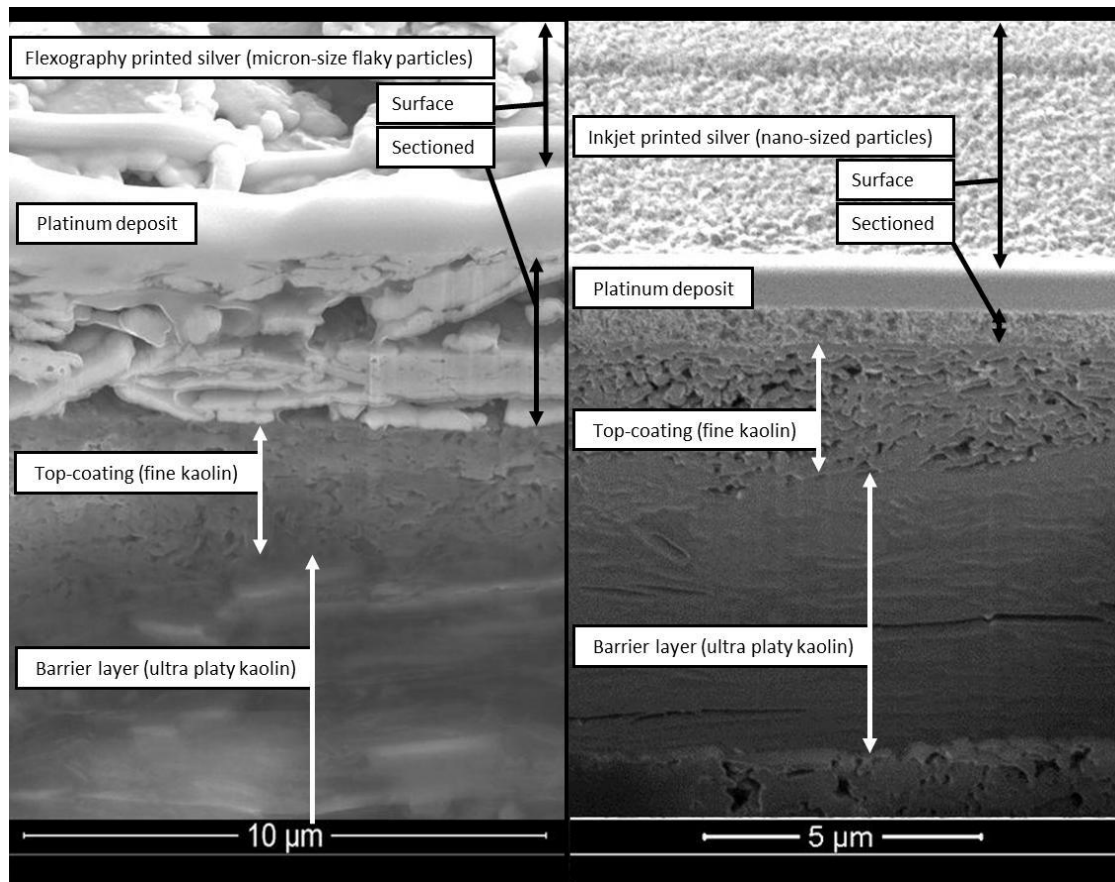
La figura N°4.25 presenta el corte con haz de iones enfocado en las secciones transversales de un sustrato de papel con revestimiento multicapa, mostrando flexografía impresa en plata de tamaño micrométrico (IZQUIERDA) e impresa con inyección de tinta plata de nanopartículas (DERECHA) [91].

La formación de capas conductoras por partículas de escamosas de plata de varios micrómetros de diámetro es sensible al tamaño del poro como también a la variación de la rugosidad, mientras que una fina capa de plata formada por nanopartículas es muy dependiente del tamaño del poro. En el caso donde una delgada capa de caolín es usada como recubrimiento, el poro es lo suficientemente pequeño para mantener las nanopartículas en la superficie, permitiendo la impresión de una capa conductora uniformemente gruesa (1µm).

Los procesos de recubrimientos de papel son unos de los factores más importantes a considerar, las características del pigmento establecen la distribución del tamaño de partícula y la forma de la partícula afectan las propiedades del papel final, tal como las propiedades ópticas y estructurales pero también imprimibles.

#### **4.3.2.5.1. Parámetros característicos de los sustratos**

Para la selección del sustrato a utilizar en un proyecto, una vez definida su aplicación se deben considerar los parámetros que la caracterizan a continuación resumiremos algunos de ellos.



La figura N°4.25.

**Tg - Temperatura de transición vítrea:**

Es un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del materia. En esa temperatura un polímero disminuye su densidad, dureza y rigidez, además su porcentaje de elongación disminuye de forma drástica.

**Módulo de elasticidad (Modulo de Young):**

El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

**Resistencia a la tracción:**

Es el máximo esfuerzo que puede soportar un sustrato antes de romperse.

**Resistencia a la hidrólisis:**

Capacidad de no descomponerse en soluciones acuosas.

**Resistencia a la radiación:**

Es la capacidad de ser resistentes a daños o funcionamientos erróneos causados por la radiación ionizante (radiación de partículas y electromagnética de alta energía).

**Rugosidad superficial:**

Conjunto de las irregularidades superficiales de paso relativamente pequeño, correspondiente a las huellas dejadas en la superficie real por el procedimiento de elaboración u otras influencias.

**Porosidad:**

Es la propiedad por el cual todos los materiales en este caso los sustratos, poseen en el interior de su masa, espacios que se llaman poros o espacios intermoleculares, que influyen en la mayor o menor capacidad de absorción.

**Propiedades ópticas específicas:**

Las Propiedades ópticas de los materiales son las que se ponen de manifiesto al incidir sobre ellos la luz. Un material utilizado como sustrato puede ser transparente, translucido u opaco.

**Área superficial específica de un sólido:**

Es definida como el área intersticial de la superficie de los poros por unidad de masa y es uno de los principales parámetros para evaluar la capacidad absorción de los sólidos.

**4.3.2.5.2. Empresas fabricantes de sustratos**

Así como sucedió con las tintas, en lo que respecta a los sustratos existen un gran número de empresas, entre ellas podemos encontrar Arjowiggins Creative Papers [92], quien posee una línea de papeles para la impresión electrónica llamada PowerCoat. Este sustrato representa una forma sencilla de integrar la electrónica con productos de uso diario, tales como envases, entradas para eventos, tarjetas y revistas, así como con las aplicaciones más sofisticadas y componentes incluyendo materiales sensibles a la presión, la iluminación o pantallas. PowerCoat es un sustrato electrónico increíblemente suave y altamente sostenible, que muestra una excelente estabilidad térmica, un comportamiento de sinterización y una compatibilidad con los variados procesos de impresión que se puedan ser elegidos. Es puro, celulósico y no contiene plásticos en absoluto. Con su polímero suave, ofrece la superficie perfecta para la conductividad óptima. Entre las distintas variantes de PowerCoat podemos encontrar:

- PowerCoat HD
- PowerCoat XD
- PowerCoat ALIVE 2-up.

PowerCoat HD: tiene una superficie notablemente suave se ha desarrollado para producir patrones de alta precisión, como por ejemplo:

- Sensores de fuerza o presión
- Transistores de película delgada (TFT)
- Resistencias, condensadores, autoinducción y otros componentes pasivos productos interactivos con batería y sensores
- Sistemas de seguridad sofisticados en documentos físicos
- Circuitos de iluminación y pantalla flexible para diversas aplicaciones
- Memoria impresa
- Células solares

PowerCoat XD: sustrato celulósico de rango medio para la impresión de circuitos electrónicos, más específicamente aplicaciones de alto rendimiento que requieren menos definición y restricciones de deposición de material.

- Billetes o etiquetas inteligentes
- Envases inteligentes y otros productos interactivos de papel
- Transmisores integrados de seguridad y rastreadores
- Los medios de publicidad interactiva y de papel
- Sensores y dispositivos médicos o biomateriales
- Iluminación LED sin baterías

PowerCoat ALIVE 2-up: es el primer papel NFC listo para usar en la impresión gráfica y el acabado profesional, inaugurando una nueva era en medios de impresión inteligentes, embalajes y otras aplicaciones. La figura N°4.26, presenta la estructura de este [93].

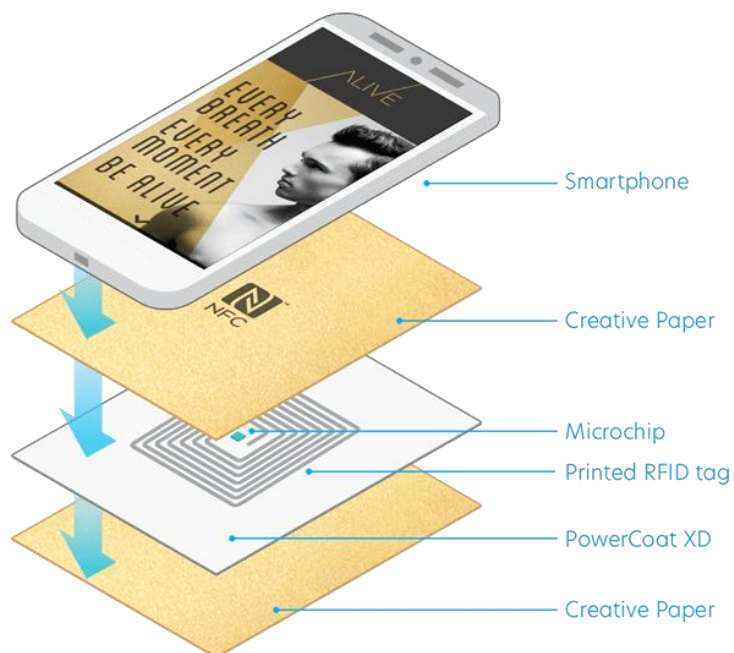


Figura N° 4.26 - Tres capas de la Hoja de PowerCoat Alive.

En la figura N°4.27, se puede ver la hoja de datos del PowerCoat HD

Una de las empresas líderes a nivel mundial es DUPONT quien ofrece diferentes tipos de sustratos, entre ellos podemos citar:

- Polimida/Kapton [94]
- Polietileno/Tyvek [95]
- Fluoruro de polivinilo/Tedlar [96]

Donde cada una de ellas está especialmente pensada para un tipo de aplicación, en función de sus características. En el caso de Kapton, Dupon ofrece más de 10 productos distintos, en la figura N°4.28 se presenta las especificaciones de la familia Kapton RS, la cual está recomendada para Wearebles [97].

POWERCOAT PAPER						
CHARACTERISTICS	APPARATUS	STANDARDS		VALUE OF 230 $\mu\text{m}$	VALUE OF 95 $\mu\text{m}$	
<b>Basis Weight</b> g/m <sup>2</sup>	Sartorius L2200 Balance	NF EN ISO 536- RNE PC.110- RNE PC.111		219	97.4	
<b>Thickness</b> $\mu\text{m}$	MI20	NF EN ISO 20534- PC.90 ISO 534- PC.91/PC.101		222	89	
<b>Bulk</b> cm <sup>3</sup> /g				1.02	0.92	
<b>Smoothness</b> Ra [nm]	AFM			< 20	< 20	
<b>Porosity</b> ml/min	Bendtsen L&W	NF Q 03-076-COFRAC PC.390 ISO 5636/3-COFRAC PC.391		Not Measurable	Not Measurable	
<b>Tear</b> mN	Tear tester 60-220	NF EN 21974- RNE PC.60		MD	1049	396
<b>Tear Index</b> mN.m <sup>2</sup> /g				CD	1311	486
<b>Tensile</b>	Tensile tester MTC-100	NF EN ISO 1924- COFRAC PC.20- COFRAC PC.21	<b>Force</b> N	MD	5	4
				CD	6	5
			<b>Elongation</b> mm	MD	198	88
				CD	109	48
<b>Modulus</b> Gpa	DMA	50°C	MD	4.30	2.26	
		125°C	MD	3.78	1.80	
		200°C	MD	3.15	1.41	
<b>Stiffness</b> Nmm	Stiffness tester Frank	ISO 2493	MD	2.859	0.533	
			CD	5.669	0.662	
<b>Burst</b> kPa	Bursting tester EC05	NF Q 03-053- RNE PC0.40 ISO 2758-RNE PC0.41		578	217	
<b>Burst Index</b> kPa.m <sup>2</sup> /g				3	2	
<b>Brightness</b>	Color Touch CTHA 2045	NF Q 03-039- RNE PC.200 ISO 2470- RNE PC.201		80.6	78.1	
<b>Yellowing after curing</b> ( $\Delta E$ )	Color Touch CTHA 2045	Internal method		5 minutes at 180°C	1.2	1.3
				5 minutes at 200°C	3	4.2
<b>Moisture Content</b> %	Oven Gallenkamp Kern Balance	NF EN 20 287-PC.40 ISO 287-PC.41		Wet weight	2.13	0.97
				Dry weight	2.04	0.92
				Moisture content	4.07	5.50
<b>Shrinkage</b> %	Unrestrained at 200°C / 5 min			MD	-0.44	-0.46
				CD	-0.83	-0.89
	Reconditioned at 23°C / 50%RH			MD	-0.08	-0.14
				CD	-0.13	-0.17
<b>Dielectric Permittivity</b>		Internal method		at 900 MHz	3.3	3.3
<b>Dielectric Loss (tan <math>\delta</math>)</b>				at 2,45 GHz	0.12	0.12

Figura N°4.27. Hoja de datos de PowerCoat HD.

Property	Units	Value	Method, Comments
<b>Key Properties</b>			
Thickness	μm	50	
Surface resistivity	ohms/sq	100	Four-point probe measurement Range 92-104 ohm/square (MD, TD direction)
Surface resistivity – water bath	ohms/sq	+1.8	Immersion 20 hours, hand-dried. Four-point probe measurement.
<b>Additional Properties</b>			
Dielectric strength	V//25μm	>2,500	ASTM D-149 (60Hz, 0.25 inch electrodes, 500V/sec rise)
Tensile strength md/td	MPa	>100	ASTM D-882
Tensile modulus md/td	MPa	>2,750	ASTM D-882
Elongation to break md/td	%	>40	ASTM D-882
Initial tear strength md/td	N	>12	ASTM D-1004
MIT fold endurance md/td	cycles	>35,000	ASTM D-2176
Density	g/cc	1.46	ASTM D-1505
Light transmission		Opaque	
Flammability	rating	94V-0	UL-94
% Water uptake	%	1.9	Immersion 24 hours. % wt loss 30C →150C

Figura N°4.28. Hoja de datos de Kapton RS.

#### 4.3.2.6. Pruebas realizadas

Recordaremos brevemente las características de la impresora que se dispone en la FAN. La CeraPrinter X-Serie posee sistemas para deposición de múltiples materiales. Tiene tres cabezales de impresión que pueden trabajar con distintos tipos de tintas acuosas, biológicas, solventes y basadas en curado UV. Puede realizar el curado de áreas completas en cada paso de impresión y trabaja con sustratos de hasta 305 mm x 305 mm de área imprimible con espesor de hasta 10 mm. Cuenta cinco ejes de movimiento, tres ejes de traslación y dos de rotaciones motorizadas, con resolución de impresión ajustable, alineación del sustrato (+/- 2 μm) y auto calibración de los inyectores (<+/- 3 μm). Posee cabezales Dimatix Fujifilm clase Q de 30 pico litros de volumen nominal de gota, son de carácter industrial, tienen 256 boquillas y soportan solventes base acuosa y orgánicos, El rango de viscosidad es de 8-20 cP y el tamaño de partícula máximo es 0.90 mm.

A continuación se muestran los resultados de algunas impresiones realizadas. La figura N°4.29 muestra un interdigitado, impreso en Ag sobre premium paper poroso, Tinta:JS-B40G, Sustrato: Powercoat xd 129um; la figura N°4.30 presenta una prueba de concepto de un sensor de deformación, Tinta:JS-B40G, Sustrato: Powercoat hd 97.4 um; la figura N°4.31 presenta una prueba de concepto de un sensores electroquímicos, Tinta: Nanotubos de carbono de fabricación nacional, Sustrato: Kapton HN y la figura N°4.32 presenta unas pruebas de concepto antenas RFID con tinta modelo (tinta grafica), Tinta: DYE genérica para inkjet, Sustrato: Powercoat hd 97.4 um.

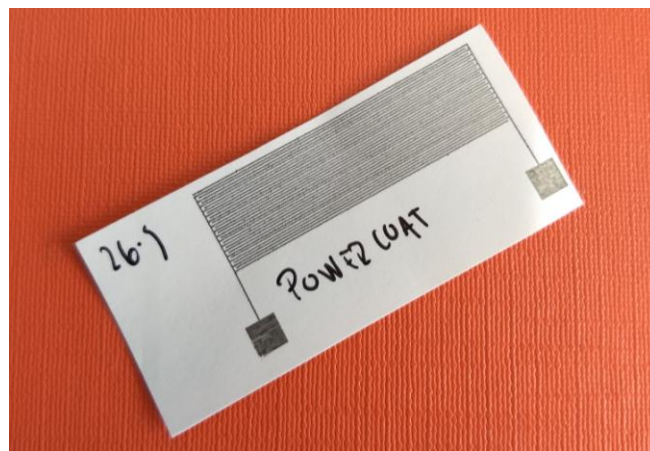


Figura N°4.29. Interdigitado.



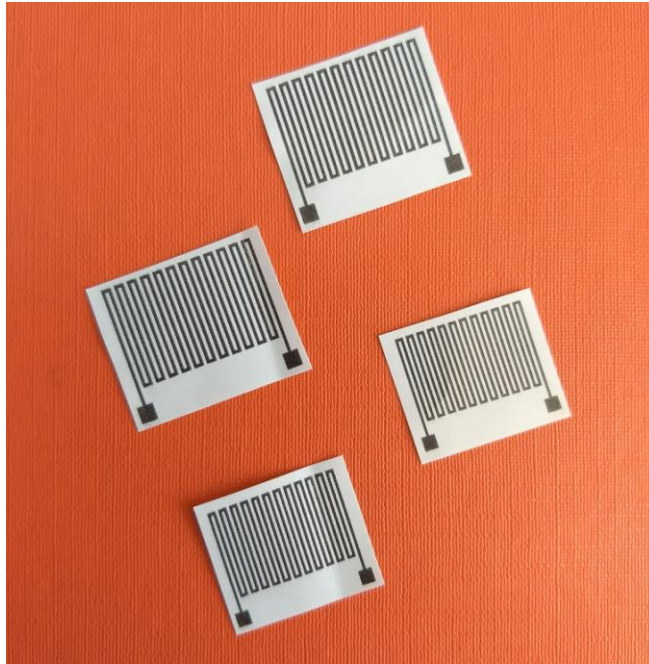


Figura N°4.30. Prueba de concepto de un sensor de deformación.

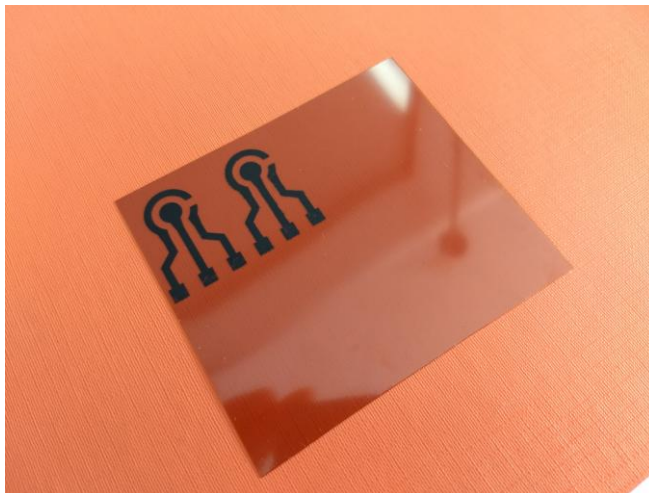


Figura N°4.31. Prueba de concepto de un sensores electroquímicos.

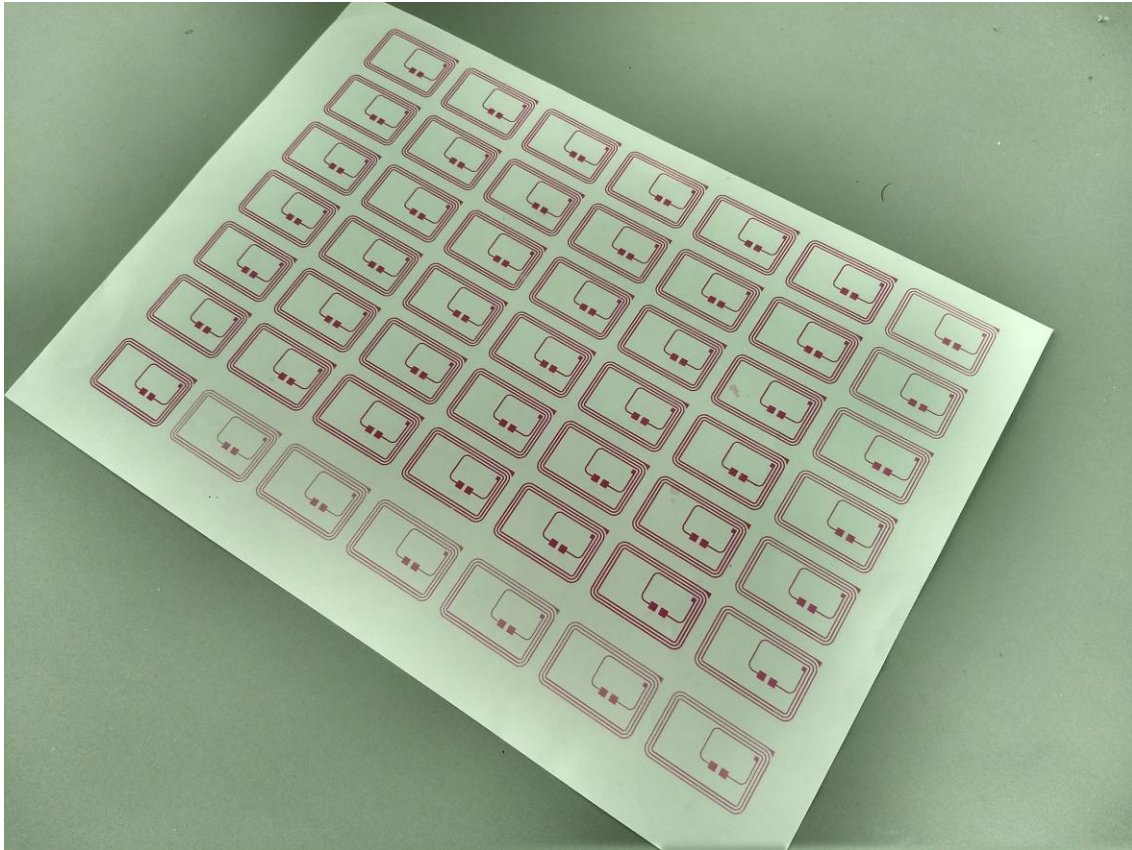


Figura N°4.32. Pruebas de concepto antenas RFID.

#### 4.3.2.7. Conclusiones

El estudio realizado ha permitido familiarizarse con los procesos, las técnicas y los materiales asociados a la electrónica impresa. A raíz de lo estudiado y los detalles técnicos de la impresora Inkjet que posee la FAN, se ha logrado definir el tipo de tinta y sus características, datos los cuales han sido especificados a un fabricante nacional de tintas para su desarrollo.

### 4.3.3. Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos

La Tabla 4.8 presenta las distintas tecnologías de comunicación inalámbrica, si bien las tecnologías celulares no son aplicables a comunicaciones de corto alcance, las mismas son incluidas a título informativo. Para cada una de las tecnologías presentadas se detalla la normativa base de la misma, el rango de frecuencia de trabajo, el rango de alcance, el tipo de funcionalidad (Activa, requiere alimentación, o Pasiva, no requiere alimentación) y aplicaciones típicas.

En función de dichos datos se puede apreciar que las tecnologías NFC, Proximidad y RFID son las más adecuadas para los sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos. En la siguiente sección se profundizará más sobre ellas y los distintos aspectos a tener en cuenta para su selección.

#### 4.3.3.1. Aplicaciones

En la actualidad el seguimiento, la identificación y la trazabilidad de productos son aplicados en un sin fin de aplicaciones, en segmentos como el agropecuario, el médico, el automotriz, las transacciones de dinero, entre muchos otros.

En el agropecuario podemos nombrar los sistemas de trazabilidad apícola, estudiados por el laboratorio de Electrónica del Instituto de Ingeniería Rural, CIA del INTA Castelar [11] [12], o los de animales en pie y de los productos fitosanitarios y veterinarios reglamentados por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) [10]. Este último permite asegurar la trazabilidad de la carne de exportación, garantizar su inocuidad, certificar procesos de producción entre muchas otras cosas [1].

Tecnología	Frecuencia	Rango	Funcionalidad	Aplicaciones
NFC (ISO/IEC 18092, NFC Forum)	13,56Mhz	10 cm	Activa/Pasiva	Smartphone, Tabletas y dispositivos portátiles en una red punto a punto
Proximidad (ISO/IEC 14443)	13,56Mhz	10 cm	Pasiva	Sistemas de pago, acceso, pasaporte
RFID (ISO/IEC 18000)	LF(120-150kHz) HF(13,56Mhz) UF(433-900Mhz)	<40m	Activa/Pasiva	Etiquetado y seguimiento de productos, para manufactura, logística y venta.
IrDA Infrarrojo	2,4GHz	<1m	Activa	Controles remotos, teléfonos móviles
Bluetooth (IEEE 802.15.1)	2,4GHz	>10m	Activa	Smartphone, Tabletas, computadoras, routers, dispositivos en una red de área personal (PAN)
WiFi (IEEE 802.11)	2,4GHz	>100m	Activa	Smartphone, Tabletas, computadoras, routers, dispositivos en una red de área local (LAN)
Zigbee (IEEE 802.15.4)	2,4GHz	>100m	Activa	Redes de iluminación, automatización de hogares, control industrial
Celular 2/2.5/3G	450MHz-2,7GHz	Varios km	Activa	Dispositivos industriales, dispositivos de IoT, Mettering
Celular 4G	450MHz-2,7GHz	Varios km	Activa	Smartphone, Tabletas.

Tabla 4.8. Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Dentro del segmento médico tenemos la trazabilidad de medicamentos, la cual fue establecida por La Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) mediante la Resolución Ministerial N°435/2011 [3], o la trazabilidad de bolsas de sangre, implementada por la empresa Steriltech que permite conseguir un mantenimiento perfecto de la cadena de frío, una distribución racionalizada, una gestión general de la reserva nacional y una garantía frente a los errores de transfusión entre otros [2].

En el sector automotriz tenemos el caso de Volkswagen quien mediante el seguimiento y la identificación de productos ha conseguido no solo bajar los tiempos de inventarios, sino también mejoras en la contabilización efectiva de activos, identificación automática y unívoca de cada producto, entre tantos [4].

En lo referente a los sistemas de pagos, el caso más resonante de los últimos años ha sido la incorporación del sistema SUBE (Sistema Único de Boleto Electrónico), el cual, no sólo se ha convertido en el único sistema de pago en los medios de transporte en Buenos Aires sino que también permite pagos de peajes, y está en vías de ser implementado en los parquímetros de la Ciudad de Buenos Aires [5]. No nos tenemos que olvidar de los sistemas de pago mediante el uso de teléfonos celulares los cuales utilizan la tecnología conocida como de Comunicación por Campo Cercano (Near Field Communication – NFC). Esta tecnología y la utilizada por las tarjetas SUBE se encuentran reglamentadas en nuestro país por la Resolución 2519/2012 de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones.

Muchos más ejemplos de aplicaciones y casos de existo asociados al seguimiento, la identificación y la trazabilidad de productos podemos encontrar en la página web de RFID Point [14]. Lo que nos permite ver el inagotable campo de aplicación de las tecnologías relacionadas con el seguimiento, la identificación y la trazabilidad de productos.

#### **4.3.3.2. Principio de funcionamiento**

En un sistema inalámbrico para el seguimiento, identificación y trazabilidad de productos se encuentran interactuando dos dispositivos. Uno de ellos lo denominaremos lector y el segundo como tags o transponder. El equipo lector es el encargado de iniciar la comunicación con el tags, cuya función es la de llevar la información de identificación del objeto, y transmitirla al lector.

Los tags se pueden clasificar por una gran variedad de factores y características, por el tipo de alimentación, por la frecuencia de trabajo, por la funcionalidad, por el protocolo y por el tipo de transferencia de energía y comunicación [17], comenzaremos clasificándolos por tipo de alimentación:

- Pasivos: Son aquellos que no necesitan una alimentación interna, la energía para que estos funcionen es extraída del campo electromagnético generado por el lector. Utilizando el acoplamiento inductivo (Campo cercano) o a través de la captura de ondas electromagnéticas (Campo lejano).
- Activos: Son aquellos que requieren estar alimentados para que pueden transmitir su información [17].

Los tags activos tienen como ventajas una mayor cobertura y una mayor capacidad de datos contra el costo y el tiempo de vida, asociado al uso de la batería, de los tags pasivos.

En lo que respecta a las frecuencias podemos considerar la siguiente clasificación:

- Baja frecuencia (120-150 KHz): Los sistemas que utilizan este rango de frecuencia tiene una distancia de lectura de sólo unos cuantos centímetros y el lector solo pueden leer un elemento a la vez.

- Alta frecuencia (13,56 MHz): Esta frecuencia es muy popular y cubre distancias de 1 cm a 1,5 m. Las etiquetas que trabajan en esta frecuencia son de tipo pasivo.
- Ultra alta frecuencia (0,3 - 1,2 GHz): La distancia entre la etiqueta y el lector puede ser de hasta 4 metros, dependiendo del fabricante y del ambiente. Estas frecuencias no pueden penetrar el metal ni los líquidos a diferencia de las bajas frecuencias, pero pueden transmitir a mayor velocidad y por lo tanto son buenos para leer más de una etiqueta a la vez.
- Microondas (2,45 – 5,8 GHz): La ventaja de utilizar un intervalo tan amplio de frecuencias es su resistencia a fuertes campos electromagnéticos, producidos, por ejemplo, por motores eléctricos, por lo tanto, estos sistemas pueden ser utilizados en líneas de producción de automóviles. Sin embargo, estas etiquetas requieren de mayor potencia y son más costosas, pero es posible lograr lecturas a distancias de hasta 6 metros. Otra aplicación es el cobro automático de peajes en autopistas, en donde se coloca un tag en los automóviles que funciona como tarjeta de prepago. En las estaciones de cobro existen lectores, antenas y sistemas que permiten realizar el cargo correspondiente, sin la necesidad de que el vehículo se detenga.

En el 2002, con la finalidad de dotar de mayores prestaciones a la tecnología RFID, Philips y Sony desarrollaron la tecnología de comunicación por campo cercano conocidos como NFC (Near Field Communication). Esta ofrece prestaciones mucho más amplias que la RFID ya que aprovecha el extendido uso de los teléfonos celulares y sus capacidades de cómputo. Es una tecnología de corto alcance, hasta 10 cm, permite tags pasivos y activos, trabaja en la frecuencia de 13.56Mhz y ofrece velocidades de transmisión de datos de 106kbps, 212 kbps y 424 kbps, no estando pensada para transmitir grandes volúmenes de datos, sino más bien para intercambiar información de forma rápida, eficiente y segura [13].

En la Tabla 4.9 se listan las tasas de transmisión de acuerdo a la frecuencia utilizada.

Banda de Frecuencia		Tasa de Transmisión
120-150 kHz	Baja Frecuencia	1 kbits/s
13,56 MHz	Alta Frecuencia	25 kbits/s
433 MHz	Ultra Alta Frecuencia	100 kbits/s
865-868 MHz		
902-928MHz		
2,45-5,8 GHz	Microondas	> 100 kbits/s

Tabla 4.9. Tasas de transmisión de acuerdo a la frecuencia utilizada.

En función de las funcionalidades clasificaremos los tags RFID como:

- Clase 0: sólo lectura.
- Clase 1: pueden ser escritas solamente una vez por parte del usuario o el fabricante y leídas indefinidas veces.
- Clase 2: etiquetas de lectura y escritura, poseen con una capacidad de memoria mayor que las anteriores, son usadas principalmente como identificador de productos.
- Clase 3: contienen capacidades de la clase 2 y cuentan con fuente de alimentación (batería).
- Clase 4: conservan capacidades de la clase 3, pueden comunicarse con otras etiquetas sin la necesidad de contar con la presencia de un lector.
- Clase 5: etiquetas con capacidades de la clase 4, pueden comunicarse con etiquetas de clases 0 y 1.

Y los tags NFC como [6]:

- Tipo 1: Cumplen con las especificaciones de la norma ISO/IEC 14443A. Estas son del tipo lectura/escritura aunque, pueden ser configuradas como solo lectura. La capacidad de memoria varía desde los 93 bytes a 2 kbytes y la tasa de transferencia es de 106 kbit/s. Las tarjetas tipo 1 no soportan mecanismos de anti-colisión de datos.
- Tipo 2: Cumplen con las especificaciones de la norma ISO/IEC 14443A. Estas son del tipo lectura/escritura aunque, pueden ser configuradas como solo lectura. La capacidad de memoria varía desde los 48 bytes a 2 kbytes y la tasa de transferencia es de 106 kbit/s. Las tarjetas tipo 2 soportan mecanismos de anti-colisión de datos.
- Tipo 3: Cumplen con los estándares ISO/IEC 18092 y JIS X 6319-4, excepto por la encriptación y autenticación de datos. Aunque tienen capacidad de lectura y escritura, solo pueden configurarse en modo lectura. Estas poseen 2 kbytes de memoria, su tasa de transferencia es de 212 o 424 kbit/s y soportan anti-colisión de datos.
- Tipo 4: Cumplen con los estándares ISO/IEC 14443A y B. Se encuentran configuradas de fábrica como solo lectura. Estas poseen 32 kbytes de memoria, soportan tasas de transferencia de 106, 212 o 424 kbit/s y soportan anti-colisión de datos.
- Tipo 5: Han sido recientemente adoptadas por las especificaciones del NFC Forum. Cumplen con el estándar ISO/IEC 15693, poseen hasta 8 kbytes de memoria soportando 26,48 kbit/s de tasa de transferencia y mecanismos de anti-colisión.

En lo referente a las tecnologías RFID de baja y alta frecuencia, en las cuales nos enfocaremos por ser las más empleadas en el seguimiento, identificación y trazabilidad de productos, podremos ver que las mismas se diferencian no solo por la frecuencia de transmisión, sino también por sus prestaciones y su capacidad de memoria entre otros. En las tablas 4.10 y 4.11 [9] se listan algunos de los fabricantes y las características técnicas de las tarjetas producidas por ellos.

Asociado al tipo de transferencia de energía y comunicación los tags se pueden clasificar como:

- De acoplamiento inductivo (Campo cercano)
- Captura de ondas electromagnéticas (Campo lejano) [17].

Los sistemas inalámbricos para el seguimiento, identificación y trazabilidad de productos pueden funcionar de distintos modos, asociados a la tecnología (RFID o NFC) y al tipo de alimentación de los tags (pasivos o activos).

Los sistemas RFID pueden funcionar en modo pasivo o activo, relacionado en forma directa con el tipo de alimentación de los tags:

- Modo de comunicación pasivo: En este modo de comunicación, la energía necesaria para el funcionamiento del tag es extraída de la señal generada por el lector, ya sea por acoplamiento inductivo o por la captura de ondas electromagnéticas. En el momento en que el lector solicita una acción al tag, dependiendo la funcionalidad de este, se genera la señal que lo alimenta. Recibida esta señal, el tag es alimentado y realiza la acción pudiendo ser la transmisión su código de identificación o almacenando información en su memoria.
- Modo de comunicación activo: En este modo, los tags no requieren esperar que el lector emita una señal para energizar sus circuitos, ya que poseen una batería interna que alimenta constantemente a su lógica. La etiqueta puede estar emitiendo constantemente la información hasta que el lector la detecte.

Los sistemas NFC pueden considerarse como una subcategoría de los sistemas RFID, con la particularidad de que en estos, los tags pueden encontrarse representados por un tag propiamente dicho, o por un dispositivo inteligente tal como un teléfono celular. De aquí que los sistemas NFC soportan 3 modos de comunicación [7]:

- Modo lectura/escritura: Este modo de funcionamiento es similar al modo pasivo previamente descrito, es decir se dispone de un dispositivo encargado de iniciar la transacción el cual genera el campo de RF (señal generada por el lector), luego, lee datos o escribe datos a un segundo dispositivo NFC, pudiendo ser una tarjeta inteligente, un tag o un teléfono celular funcionando en modo simulación. El segundo dispositivo no genera su propio campo RF, pero modula el campo RF creado por el primero.
- Modo punto a punto: Este modo se utiliza para establecer una doble vía de comunicación entre un par de dispositivos NFC habilitados. Cada dispositivo NFC sirve como punto final, es decir, los dos sistemas pueden iniciar una la comunicación. Este modo utiliza ya sea un esquema de comunicación pasiva o activa. Su interacción es bidireccional.
- Modo de simulación de tarjeta inteligente (Tags): En este modo de funcionamiento el dispositivo NFC, el cual puede encontrarse representado por un teléfono celular, funciona como tag NFC apareciendo ante un lector externo como si se tratase de una tarjeta sin contactos. De esta manera, dispositivo NFC habilitado se puede utilizar en la infraestructura existente de tarjetas sin contacto para aplicaciones tales como venta de entradas, control de acceso, tránsito, barreras de peaje, y pagos sin contacto. Este modo de comunicación se lleva a cabo mediante un dispositivo activo NFC y un lector NFC.

Proveedor	Tag	Frecuencia
Atmel	Temic T5557	125 kHz
	Temic T5567	
	Temic T5577	
NXP	Hitag1	125 kHz
	Hitag2	
	HitagS-256	
	HitagS-2048	
	Mifare Classic	13,56 MHz
	Mifare Desfire	
	Mifare Desfire EV1	
	Mifare Desfire EV2	
EM Microelectronic	EM4450	125 kHz
	EM4550	
	EM4205	
	EM4305	
	EM4469	
	EM4200	
	EM4100	
	EM4102	
	TK4100	
Legic	Prime	13,56 MHz
	Advant	

Tabla 4.10. Proveedor vs Tecnología vs Frecuencia.

El método de transmisión inalámbrico entre lector y etiqueta, cambia dependiendo de la frecuencia de operación del sistema y el tipo de aplicación (reglamentado por la normativa) entre otros.

Proveedor	Tag	Función	Memoria (bits)
Atmel	Temic T5557	Lectura Escritura	330
	Temic T5567		363
	Temic T5577		2048
NXP	Hitag1		256
	Hitag2		2048
	HitagS-256		8K y 32K
	HitagS-2048		32K
	Mifare Classic		16K, 32K y 64K
	Mifare Desfire		
Mifare Desfire EV1			
EM Microelectronic	Mifare Desfire EV2	Solo Lectura	0
	EM4450		
	EM4550		
	EM4205	1024	
	EM4305		
	EM4469		
	EM4200	512	
	EM4100		
	EM4102		
Legic	TK4100	Lectura Escritura	1K-16K
	Prime		16K-64K
	Advant		

Tabla 4.11. Proveedores vs Tecnología vs Función vs Capacidad.

#### 4.3.3.3. Normativa

A continuación describiremos las normativas que rigen según las distintas aplicaciones [20]:

##### A. Identificación animal:

Las siguientes normas se refieren a sistemas de RFID usados en identificación de animales:

- ISO 11784: Estructura de los datos transmitidos;
- ISO 11785: Conceptos técnicos;
- ISO 14223: Especifica la interfaz de aire entre el transceptor y el tag que se utiliza en la identificación por radiofrecuencia de los animales, esta especificación es totalmente compatible con las de las normas ISO 11784 e ISO 11785.

##### B. Tarjetas inteligentes sin contacto:

Las siguientes normas describen las características de los tres tipos distintos de tags de acuerdo al rango de proximidad en la que se establece la comunicación:

- ISO 10536: Distancias de lectura de 0 a 1 cm;
- ISO 14443: Distancias de lectura de 0 a 10 cm;
- ISO 15693: Distancias de lectura de 0 a 1 m.



Cada una de ellas especifica la interfaz física, la interfaz de aire y la inicialización, el sistema de anticollisiones, el protocolo, etc. Además de las normas antes mencionadas existe también:

- ISO 10373: Métodos de testeo para tarjetas inteligentes sin contacto.

#### *C. Uso de Tarjetas inteligentes en herramientas y dispositivos de fijación:*

- ISO 69873: Describe los parámetros y métodos de funcionamiento de las tarjetas inteligentes con el rango de proximidad entre 7 y 15cm.

#### *D. Uso de Tarjetas inteligentes en la Identificación de contenedores:*

- ISO 10374 - Proporciona un estándar con respecto a la identificación de los contenedores de cargas basado en tags de microondas.

#### *E. Sistemas antirrobo para mercancías:*

- VDI 4470 proporciona una introducción práctica a la inspección y pruebas de los sistemas instalados para los sistemas de vigilancia electrónica de artículos (EAS).

#### *F. Gestión de artículos en la cadena de suministros de los sistemas productivos:*

- ISO 18000: Esta norma se utiliza en la identificación de artículos en la cadena de suministro de los sistemas productivos. La misma posee varias partes según la frecuencia de uso.
  - Parte 1: Arquitectura y definición de parámetros a estandarizar;
  - Parte 2: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencias por debajo de 135 kHz;
  - Parte 3: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencia de 13,56 MHz;
  - Parte 4: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencia de 2,45 GHz;
  - Parte 6: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencias entre 860 MHz y 960 MHz;
  - Parte 7: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencia de 433 MHz.
- ISO / IEC 15961: Definición de comandos en los lectores y de los tags.
- ISO / IEC 15962: Reglas de codificación de datos.
- ISO / IEC 15963: Gestión de artículos RFID.
- ISO / IEC 15459-4: Sistema de códigos de identificación únicos artículo.

#### *G. Estándares específicos de NFC:*

La interfaz y el protocolo para la comunicación de campo cercano se define en la norma ISO/IEC 18092 y también en las normas ECMA-340 [8] y la ECMA-352 [8], estándares de Asociación de Fabricantes de Computadoras de Europa (ECMA) [6].

- *ISO/IEC 18092 –Interfaz y Protocolo NFC 1(NFCIP-1)*: Este estándar define los modos de comunicación para la interfaz y protocolo NFC (NFCIP-1), utilizando dispositivos acoplados de forma inductiva que operan a una frecuencia central de 13,56 MHz a través de la interconexión con periféricos de computadoras. También define los modos operativos activo y pasivos de NFCIP-1, para configurar una red de comunicación usando dispositivos NFC para productos en red y equipamiento de consumo. En particular, especifica esquemas de modulación, codificación, tasas de transferencia y formato de la interfaz RF. También describe esquemas de inicialización y las condiciones requeridas para el control anticollision

para la inicialización como también, protocolo de transporte, incluyendo activación del protocolo y métodos de intercambio de datos.

- *ECMA-340:2013 – Interfaz y Protocolo NFC 1 (NFCIP-1)*: Este estándar describe la interfaz y protocolo NFC 1 (NFCIP-1), conforme a la ISO/IEC 18092.
- *ECMA-352:2013 – Interfaz y Protocolo NFC 2 (NFCIP-2)*: Este estándar describe la interfaz y protocolo NFC 2 (NFCIP-2), conforme a la ISO/IEC 21481.

#### **4.4. Descripción de Población y Muestra**

En función de la clasificación de los tags y de los modos de funcionamiento de los sistemas, presentados en la sección 4.3.3, se decidió enfocarnos en aquellos que funcionen con tags pasivos y cuyas frecuencias de trabajo sean bajas (120-150 kHz) y altas (13,56 MHz), dejando de lado por el momento las ultra alta frecuencias (0,3- 1,2 GHz) y las microondas. Esta selección se fundamenta en la gran variedad de aplicaciones que se encuentran con dichas frecuencias, la pasividad de dichas tecnologías y la facilidad de acceso y costo de los componentes asociados. Además esta selección incluye tanto soluciones típicas de RFID como ser Mifare o Temic y las nuevas soluciones basadas en el estándar NFC.

#### **4.5. Diseño de la Investigación**

Como cumplir con todos los puntos detallados en el alcance del proyecto, sección 3.7, para las distintas alternativas que asociadas a lo definido en la sección 4.4 implica tiempo y recursos no disponibles, se decidió definir una aplicación testigo y sobre la cual se trabajaría.

La aplicación decidida fue un sistema de información de precios de productos para supermercados. Cada uno de los productos deberá contar con un tag NFC, tecnología que permite la interacción con Smartphones, donde la antena de dicho tag será realizada a través de electrónica impresa sobre distintos sustratos. El sistema de lectura de los tags tendrá un lector, un microcontrolador, un display y un modulo WiFi. Cuando un producto sea acercado al lector, se leerá el código grabado en el tag y a través del modulo WiFi se consultará a un sistema EPR (enterprise resource planning - sistemas de planificación de recursos empresariales) el costo del producto, el cual será presentado en el display.

Esta aplicación implica el estudio de la normativa asociada, el diseño e implementación de un banco de ensayos de antenas para los dispositivos asociados, el diseño y la fabricación de las etiquetas (donde se evaluarán los sustratos, adhesivos y tintas) y la implementación de los distintos elementos del sistema.

##### **4.5.1. Selección del dispositivo**

Para realizar la selección del dispositivo se estudiaron los distintos proveedores de chips de NFC, entre los principales proveedores encontramos:

- NXP  
<http://www.nxp.com/products/identification-and-security/nfc-and-reader-ics/nfc-technology-hub:NFC-TECHNOLOGY>
- Texas Instruments  
[http://www.ti.com/lscds/ti/microcontrollers\\_16-bit\\_32-bit/wireless\\_mcus/rf430/learn\\_nfc.page?DCMP=EmbeddedRF&HQS=nfc](http://www.ti.com/lscds/ti/microcontrollers_16-bit_32-bit/wireless_mcus/rf430/learn_nfc.page?DCMP=EmbeddedRF&HQS=nfc)
- ST Microelectronics  
<http://www.st.com/en/nfc.html>
- Samsung

<http://www.samsung.com/semiconductor/products/security-solution/nfc/>

Como la aplicación planteada implica simplemente almacenar una identificación, cualquiera de las alternativas en los distintos proveedores es útil, por lo tanto se decidió utilizar el chip para NFC de la marca NXP modelo NT3H2111\_2211 [25]. La selección del fabricante se fundamentó en la disponibilidad de un proveedor local (Electrocomponentes S.A), así como también por el reconocimiento que tiene la empresa, NXP, como oferente de soluciones de RFID. Además se tuvo en cuenta que NXP es uno de los creadores del estándar.

La selección puntual del modelo se debe principalmente a la disponibilidad de un encapsulado del tipo SOIC, el cual permite la fabricación de prototipos de forma sencilla, así como la disponibilidad de un kit de desarrollo muy útil para nuestro proyecto. En las siguientes secciones se detallan las características del modelo seleccionado y del kit de desarrollo.

Entre las principales características de este chip tenemos:

- Interfaz NFC
  - Transmisión de datos sin contacto
  - Conformidad con la etiqueta Tipo 2 de NFC.
  - Conformidad con ISO / IEC 14443A
  - Integridad de datos de CRC de 16 bits, paridad, codificación de bits, conteo de bits.
  - Distancia de funcionamiento de hasta 100 mm (dependiendo de varios parámetros, como campo Fuerza y geometría de la antena)
  - True anticollision.
  - Número de serie único de 7 bytes (nivel 2 en cascada según ISO / IEC 14443-3)
- Memoria
  - 1912 bytes disponibles libremente con el área de lectura / escritura del usuario (478 páginas con 4 bytes por páginas) para la versión 2k
  - 888 bytes disponibles con el área de lectura / escritura del usuario (222 páginas con 4 bytes por páginas) para la versión 1k
  - Memoria volátil SRAM de 64 bytes sin limitación del número escrituras
  - Tiempo de retención de datos de mínimo 20 años
  - EEPROM con 500.000 ciclos de escritura mínimo
- Interfaz I<sup>2</sup>C
  - La interfaz I<sup>2</sup>C admite frecuencias de hasta 400 kHz
  - 16 bytes (un bloque) escritos en 4,5 ms (EEPROM) o 0,4 ms (en SRAM en modo pass-through)
  - El chip RFID se puede utilizar como una memoria EEPROM y SRAM I<sup>2</sup>C estándar.
- Seguridad
  - UID de 7 bytes programado por el fabricante para cada dispositivo
  - Función de bloqueo de sólo lectura programable en campo por página para las primeras 12 páginas y por 16 (Versión 1k) o 32 (versión 2k) páginas para la sección de memoria extendida.
  - Firma de originalidad basada en ECC
  - Protección de contraseña de 32 bits para evitar operaciones de memoria no autorizadas desde NFC
  - El acceso a datos protegidos desde I<sup>2</sup>C puede estar restringido

- El modo de paso y modo de espejo puede estar protegido por contraseña
- Los datos protegidos pueden resguardados contra un número limitado de intentos de acceso

La figura N°4.33 presenta un diagrama en bloques del chip seleccionado.

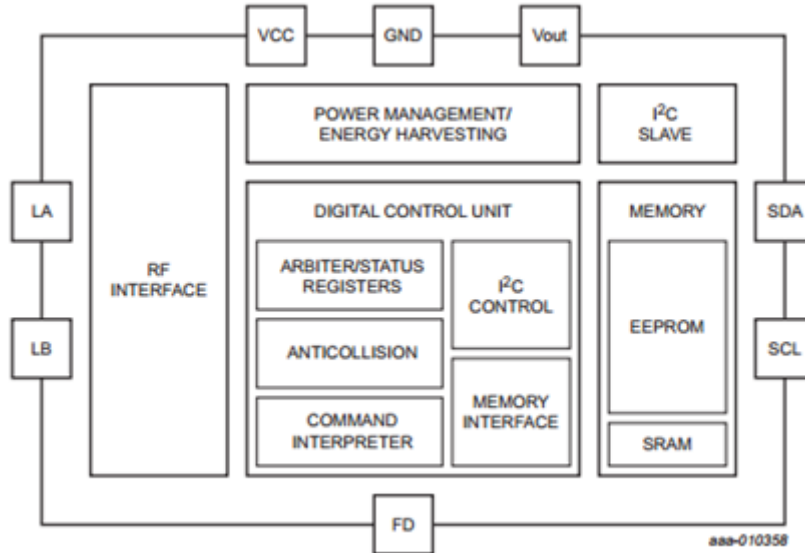


Figura 4.33. Diagrama en bloques.

#### 4.5.2. Kit de desarrollo

Para el desarrollo, diseño y las pruebas de los tag se seleccionó el kit NTAG I²C plus Explorer, el cual es un recurso completo de demostración y desarrollo para etiquetas NFC. La figura N°4.34 presenta un diagrama en bloque del kit, mientras que la figura N°4.35 una imagen del mismo.

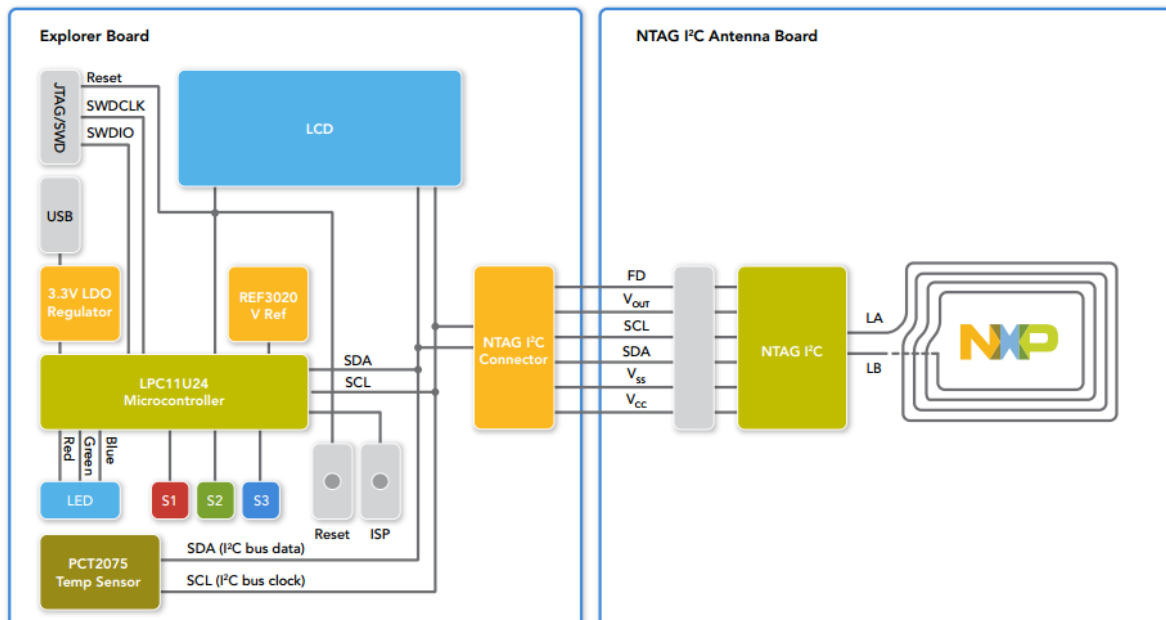


Figura N°4.34. Diagrama en bloques del kit de desarrollo NTAG I²C plus.

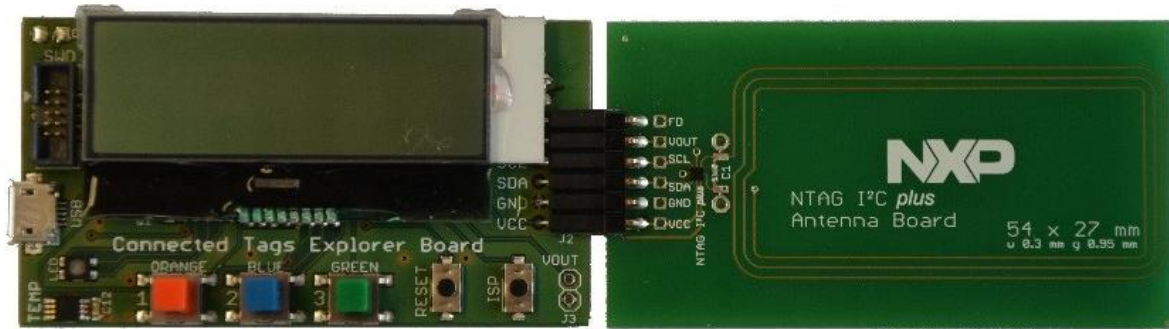


Figura N°4.35. Imagen del kit de desarrollo NTAG I<sup>2</sup>C plus.

El kit de desarrollo cuenta con las siguientes características:

- Certificado por FCC y CE.
- Doble propósito, placa de demostración y placa de desarrollo basada en el NXP LPC11U24.
- Pantalla LCD incluida.
- Sensor de temperatura NXP LM75B.
- Monitoreo de voltajes.
- Bus de datos disponible en conector I2C.
- Conector JTAG para la demostración de comunicación bidireccional.
- Capacidad de recolección de energía
- Múltiples disponibles

NXP proporciona cuatro placas de antena diferentes (Clase 4, Clase 5 y dos opciones de Clase 6), para proporcionar la flexibilidad máxima y las opciones óptimas desacoplamiento, las figuras N°4.36, N°4.37 y N°4.38 muestran las antenas disponibles en el kit

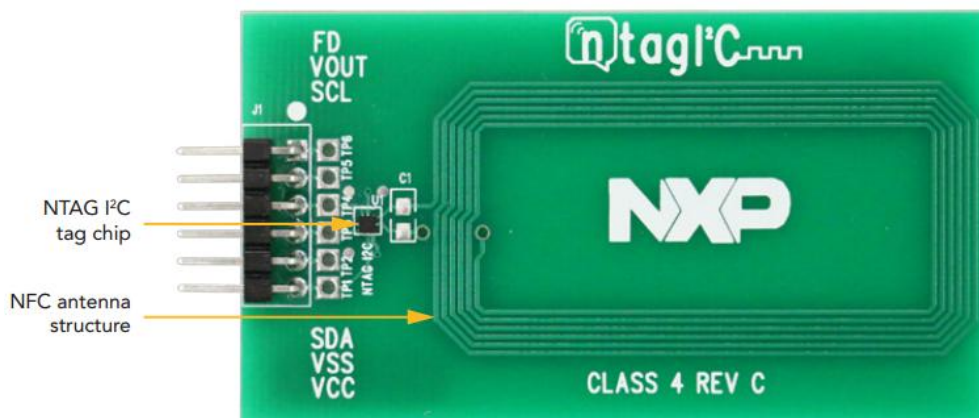


Figura N°4.36. Placa de la antena de clase 4.

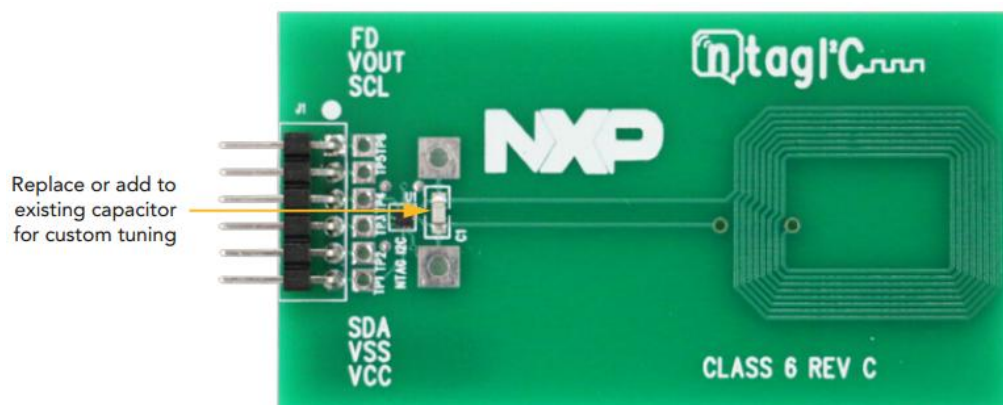


Figura N°4.37. Placa de la antena de clase 6.



Figura N°4.38. Placa flexible de antena clase 6.

Adicionalmente el kit viene con 10 chips NFC de muestra en encapsulado SO8 y una placa de detector de campo magnético para facilitar la localización de un campo RF óptimo.

### 4.5.3. Procedimiento para el diseño de una antena

Son diversos los caminos que se pueden tomar cuando se va a empezar un diseño, por lo tanto se ha elegido seguir la metodología sugerida por la nota de aplicación AN11276 [26], que plantea el diagrama de flujo para el diseño de antenas NFC que se muestra en la figura N°4.39, el cual corresponde a las antenas del kit de desarrollo, NTAG I2C explorer, seleccionado. Los conceptos teóricos asociados a este diseño no se detallan en este informe, los mismos puede ser consultados en la nota de aplicación antes mencionada.

#### 4.5.3.1. Estimación de los parámetros eléctricos

##### 4.5.3.1.1. Determinación de la frecuencia umbral ideal (Fideal)

Sobre la base de la aplicación es necesario determinar a qué frecuencia de resonancia se debe sintonizar la entrada. Para la operación con sola etiqueta, una sintonización ligeramente por encima de 13,56 MHz conduciría a una distancia máxima de lectura/escritura. Debido a tolerancias de fabricación, la frecuencia de 14,5 MHz es recomendada para la operación de una única etiqueta.

##### 4.5.3.1.2. Estimación de la capacidad de la antena (Cc)

Con el objetivo de poder calcular una inductancia aproximada de la antena “ $L_o$ ”, es necesario poder estimar la capacidad de la antena. Esta capacidad puede dividirse en la capacidad de una espira llamada “ $C_{it}$ ”, en la capacitancia adicional debido a algún puente “ $C_{br}$ ” y a la capacidad debido a la tarjeta “ $C_{in}$ ”. Estas capacidades tiene valores comprendidos entre:

- Valor de  $C_{it}$  tiene un rango de 2 a 7 pF
- Valor de  $C_{br}$  tiene un rango de 1- 5pF
- Valor de  $C_{in}$  depende del área del capacitor y es difícil de estimar así que se recomienda hacer mediciones del capacitor de la tarjeta

Siendo la capacidad de la antena:

$$C_c = C_{it} + C_{br} + C_{in}$$

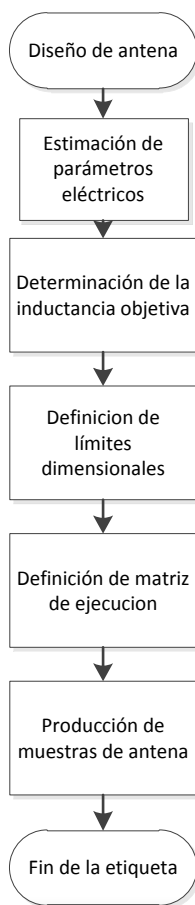


Figura N°4.39. Diagrama de flujo para el diseño de antenas NFC.

#### 4.5.3.1.3. Estimación de la capacidad de los conectores

La capacidad de los conectores puede ser estimada eligiendo el valor en el siguiente rango:

$$C_{Con} = 0.5 - 2 \text{ pF}$$

#### 4.5.3.1.3. Calculo de la inductancia de la antena objetivo "Lo" basada en la capacidad estimada de una etiqueta.

$$C_{pIT} = C_{ICT} + C_{Con} + C_c$$

Con  $C_{ICT} = 50 \text{ pF}$  (capacidad estimada de la antena)

$$L_o = 1 / ( (2 \cdot \pi \cdot f_{RT})^2 \cdot C_{pIT} )$$

Con  $f_{RT} = f_{ideal}$

### 4.5.3.2. Determinación de la inductancia objetiva “Lo”

#### 4.5.3.2.1. Calculo de la inductancia en antenas rectangulares

La inductancia de la antena rectangular, figura N°4.40, basada en los parámetros geométricos es:

$$L_{calc} = \mu / \pi \cdot [x_1 + x_2 - x_3 + x_4] \cdot N_c^p$$

Donde

$$d = \frac{2x(t+w)}{\pi}$$

$$a_{avg} = a_0 - N_c(g+w)$$

$$b_{avg} = b_0 - N_c(g+w)$$

$$x_1 = a_{avg} \times \ln \left[ \frac{2a_{avg}b_{avg}}{d \left( a_{avg} + \sqrt{a_{avg}^2 + b_{avg}^2} \right)} \right]$$

$$x_2 = b_{avg} \times \ln \left[ \frac{2a_{avg}b_{avg}}{d \left( b_{avg} + \sqrt{a_{avg}^2 + b_{avg}^2} \right)} \right]$$

$$x_3 = 2 \left[ a_{avg} + b_{avg} - \sqrt{a_{avg}^2 + b_{avg}^2} \right]$$

$$x_4 = \frac{a_{avg} + b_{avg}}{4}$$

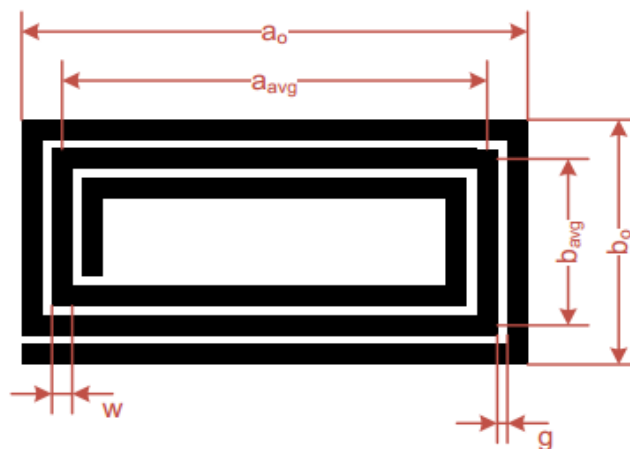


Figura N°4.40. Diseño de una antena rectangular.



Donde:

ao, bo = Dimensiones totales de la antena  
aavg, bavg = Dimensiones medias de la antena  
t                      Espesor de la pista  
w                      Ancho de la pista  
g                      Espacio entre las pistas  
Nc                     Numero de espiras  
d                      Diámetro equivalente de la pista  
p                      Exponente de giro

#### 4.5.3.2.2. Calculo de la inductancia en antenas circulares

La inductancia de la antena circular, figura N°4.41, basada en los parámetros geométricos es:

$$L_{cal}[nH] = 2 \cdot l \cdot \left[ \ln \cdot \frac{l}{d} - 1,07 \right] \cdot N^p$$

$$l = D_{avg} \cdot \pi$$

$$D_{avg} = D_0 - N \cdot (g + w)$$

$$d = \frac{2 \cdot (w + g)}{\pi}$$

Donde:

$D_0$  = Diametro de la antena  
t = Espesor de la pista  
W = Ancho de la pista  
g = espacio entre las pistas  
 $N_c$  = Cantidad de espiras  
d = diametro equivalente de la pista  
p = Exponente de giro  
 $D_{avg}$  = promedio del diametro de la antena  
l = promedio de la circunferencia de la antena

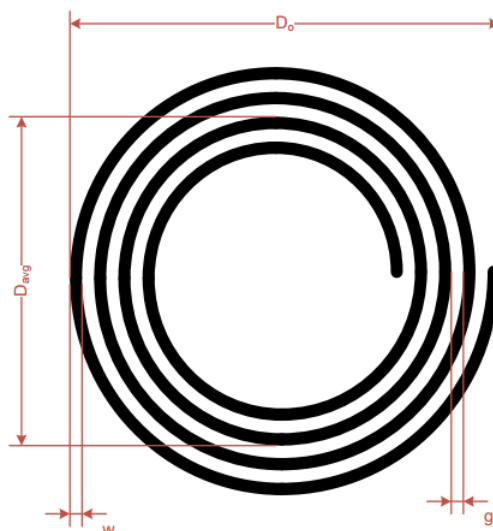


Figura N°4.41. Diseño de una antena circular.

### 4.5.3.3. Determinación de los límites dimensionales

#### 4.5.3.3.1. Antenas rectangulares

##### 4.5.3.3.1.1. Dimensiones máximas de la antena ( $a_{max}$ , $b_{max}$ )

Las dimensiones máximas de la antena están determinadas por la aplicación por la cual fue diseñada la antena. Sin embargo el punto de partida para los cálculos es siempre:

$$\begin{aligned} a_0 &= a_{max} \\ b_0 &= b_{max} \end{aligned}$$

En algunos casos las dimensiones totales de la antena pueden ser más chicas que  $a_{max}$  y que  $b_{max}$  pero el producto  $A_c \cdot N_c$  debería mantenerse tan grande como sea posible.

$$A_c = a_{avg} \cdot b_{avg}$$

El área de la antena activa  $A_{activa}$  es el producto del área promedio de la antena  $A_c$  y el número de espiras  $N_c$ .

$$A_{activa} = A_c \cdot N_c$$

##### 4.5.3.3.1.2. Espacio entre las pistas (g)

El espacio mínimo entre las pistas ( $g_{min}$ ) está definido por los procesos de producción. Para obtener el área de la antena más grande hay que igualar  $g = g_{min}$

##### 4.5.3.3.1.3. Ancho de la pista (w) y espesor (t)

Para antenas de aluminio y cobre un espesor de pista  $t \geq 30\mu m$  debe dar suficiente factor de calidad incluso para anchos de pistas chicos.

Para antenas impresas el espesor de la pista debe ser elegido tan alto como sea posible para conseguir los factores de calidad más altos.

El ancho de pista  $w$  permanece como parámetro de ajuste para el cálculo de la inductancia  $L_{calc}$ . No es recomendado elegir un ancho de pista muy chico ya que influye en el factor de calidad  $Q_{pc}$  y la variación es necesaria para la construcción de la segunda matriz.

##### 4.5.3.3.1.3. Estimación del exponente (p)

Asumiendo que todas las vueltas se concentran en el contorno de la antena, de modo que el flujo magnético pasa por el área encerrada de todas las vueltas y el acoplamiento entre las vueltas es al 100%, la inductancia es proporcional a  $N_c^2$ . Como esto no es posible de realizar, la tabla N° 4.12 brinda valores estimados para el exponente de giro  $p$  para diferentes tipos de antenas.

Tipo de antena	p
Cableada	1.8 – 1.9
Grabada	1.75 – 1.85
Impresa	1.7 – 1.8

Tabla 4.12. Factor “p” en función del tipo de antena.

### 4.5.3.3.2. Antenas circulares

#### 4.5.3.3.2.1. Dimensión máxima de la antena ( $D_{max}$ )

La dimensión máxima de la antena está determinada de acuerdo a la aplicación de uso de la etiqueta. Por lo tanto el punto de partida para el cálculo es siempre

$$D_0 = D_{max}$$

Las dimensiones totales de la antena también pueden ser más chicas que  $D_{max}$  en algunos casos, pero el producto de  $A_c \cdot N_c$  debe permanecer lo más alto que sea posible.

$$A_c = D_{avg}^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

#### 4.5.3.3.2.2. Ancho entre pistas (g)

El mínimo espacio entre las pistas está definido por los procesos de fabricación. Para obtener el área de la antena promedio más grande

$$g = g_{min}$$

### 4.5.3.4. Definición de la matriz de ejecución

El cálculo de la inductancia “Lo” es basado es basado en valores estimados, por lo tanto el calculo de los parámetros de la antena pueden solo ser realizado en forma aproximada. Por lo tanto, la inductancia de las antenas de la matriz de ejecución deben variar dentro de un  $\pm 20\%$  del valor de inductancia objetivo estimada “Lo”.

#### 4.5.3.4.1. Antenas rectangulares

Los valores siguientes tienen que ser fijados antes de comenzar los cálculos de la matriz de ejecución, tabla N° 4.13:

$Lo, p, a_{max}, b_{max}, t, g$

<i>i</i>	1	2	3	4	5
$L_{calc, i}$	0.8 Lo	0.9 Lo	Lo	1.1 Lo	1.2 Lo
$a_{o, i}$					
$b_{o, i}$					
$N_{c, i}$					
$w_i$					

Tabla 4.13. Matriz de ejecución de antenas rectangulares.

Los parámetros  $a_{o,i}$ ,  $b_{o,i}$  y  $w_i$  deben ser experimentalmente variados hasta obtener  $L_{calc,i}$  igual al porcentaje de la inductancia objetivo estimada (Lo). Durante la determinación de los parámetros de la antena, se debe intentar mantener el producto  $A_{c,i} \cdot N_{c,i}$  lo mayor posible.

#### 4.5.3.4.2. Antenas circulares

Los valores siguientes tienen que ser fijados antes de comenzar los cálculos de la matriz de ejecución, tabla N°4.14:

$L_o$ ,  $p$ ,  $D_{max}$ ,  $t$ ,  $g$

$i$	1	2	3	4	5
$L_{calc, i}$	0.8 $L_o$	0.9 $L_o$	$L_o$	1.1 $L_o$	1.2 $L_o$
$D_{o, i}$					
$N_{c, i}$					
$w$					

Tabla 4.14. Matriz de ejecución de antenas circulares.

Los parámetros  $D_{o,i}$ ,  $N_{o,i}$  y  $w_i$  deben ser experimentalmente variados hasta obtener  $L_{calc,i}$  igual al porcentaje de la inductancia objetivo estimada ( $L_o$ ). Durante la determinación de los parámetros de la antena, se debe intentar mantener el producto  $A_{c,i} * N_{c,i}$  lo mayor posible.

#### 4.5.3.5. Producción de antenas de muestra

Para decidir cual antena se ajusta mejor a los requerimientos de la frecuencia de resonancia, es recomendable medir la frecuencia de resonancia de los tags/antenas y comparar con el objetivo definido inicialmente "*Fideal*". Aquella que tenga la menor diferencia con la "*Fideal*", es la que se debe implementar.

Más detalles de cómo realizar esta medición se puede obtener en las secciones 3.1.3 o 3.1.4. de la nota de aplicación AN1276, usada como referencia.

#### 4.5.4. Clases de antenas

En las normas ISO/IEC 14443 - 1 y ISO/IEC 14443 – 2 define 6 clases de antenas. Todas estas clases poseen distinto factor de formas y tamaños. Para un tag NFC, NXP recomienda usar las clases 3, 4 ,5 o 6.

##### 4.5.4.1. Antena clase 3

La antena tiene que estar situada dentro de una zona definida por:

- Rectángulo externo 50 x 40 mm
- Rectángulo interno 35 x 24 mm, centrado en el rectángulo externo con una esquina 3mm de radio.

O

- Círculo exterior con diámetro 50mm
- Círculo interno con diámetro 32mm, concéntrico con el círculo exterior

La figura N°4.42, nos presenta el área permitida para una antena clase 3.

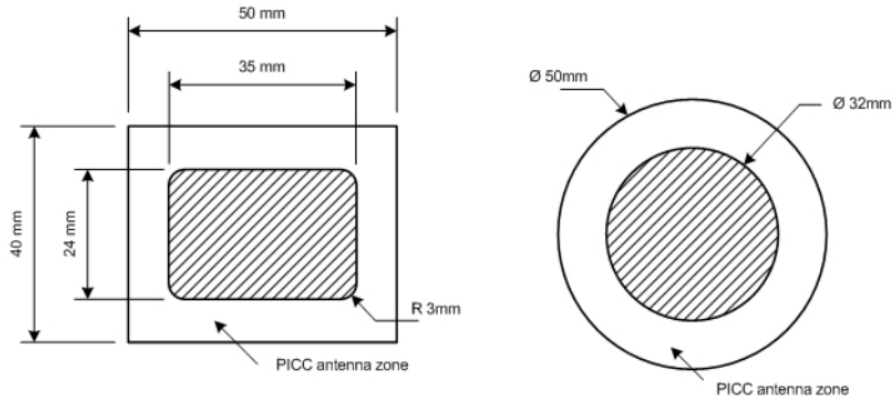


Figura N°4.42. Área permitida para antena clase 3.

#### 4.5.4.2. Antena clase 4

La antena tiene que estar situada dentro de una zona definida por:

- Rectángulo externo 50 x 27 mm
- Rectángulo interno 35 x 13 mm, centrado en el rectángulo externo con una esquina 3mm de radio.

○

- Círculo exterior con diámetro 41mm
- Círculo interno con diámetro 24mm, concéntrico con el círculo exterior

La figura N°4.43, nos presenta el área permitida para una antena clase 4, mientras que la figura 4.44 una modelo de antena clase 4.

Siguiendo estas recomendaciones se implemento un tag basado en los chips previamente seleccionados y con una antena clase 4. La figura N°4.45 nos presenta el circuito esquemático de dicho tag, mientras que la figura N°4.46 el diseño del circuito impreso. Nótese que se han colocado resistencias de 0 ohm en serie entre los terminales de la antena y el chip, esto tiene como objetivo la evaluación de la antena.

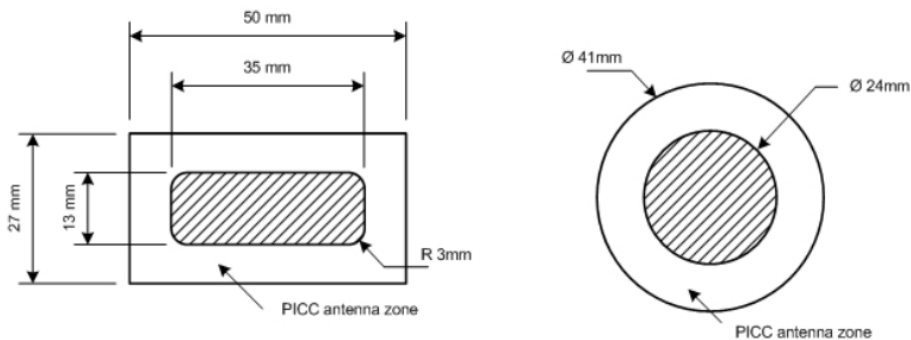


Figura N°4.43. Área permitida para antena clase 4.



Figura N°4.44. Modelo de antena clase 4.

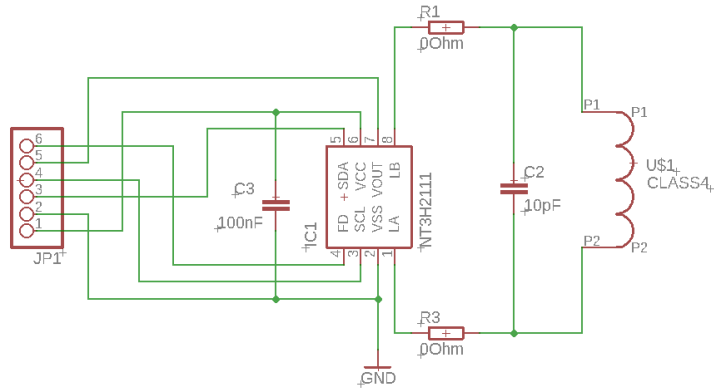


Figura N°4.45. Circuito esquemático del tag con antena clase 4.



Figura N°4.46. Diseño del circuito impreso del tag con antena clase 4.

#### 4.5.4.3. Antena clase 5

La antena tiene que estar situada dentro de una zona definida por:

- Rectángulo externo 40,5 x 24,5 mm
- Rectángulo interno 25 x 10 mm, centrado en el rectángulo externo con una esquina 3mm de radio.

O

- Círculo exterior con diámetro 35mm
- Círculo interno con diámetro 18mm, concéntrico con el círculo exterior

La figura N°4.47, nos presenta el área permitida para una antena clase 5, mientras que la figura 4.48 una modelo de antena clase 5.

Siguiendo estas recomendaciones se implemento un tag basado en los chips previamente seleccionados y con una antena clase 5. El circuito esquemático de dicho tag, es omitido ya que es similar al de tag con la antena clase 4 (figura N°4.45). La figura N°4.49 presenta el diseño del circuito impreso. Nótese que se han colocado resistencias de 0 ohm en serie entre los terminales de la antena y el chip, esto tiene como objetivo la evaluación de la antena.

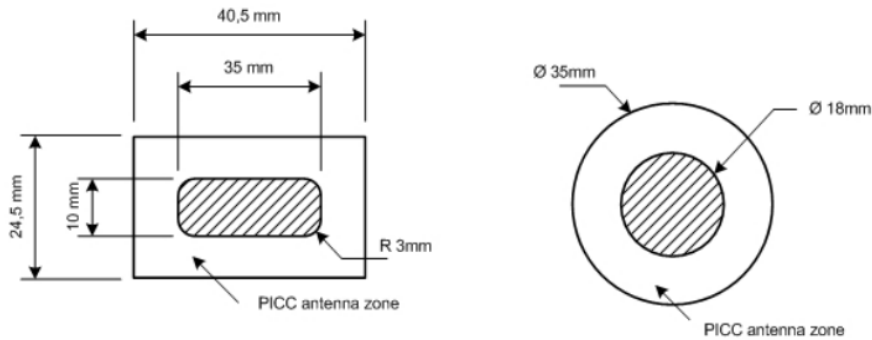


Figura N°4.47. Área permitida para antena clase 5.



Figura N°4.48. Modelo de antena clase 5.

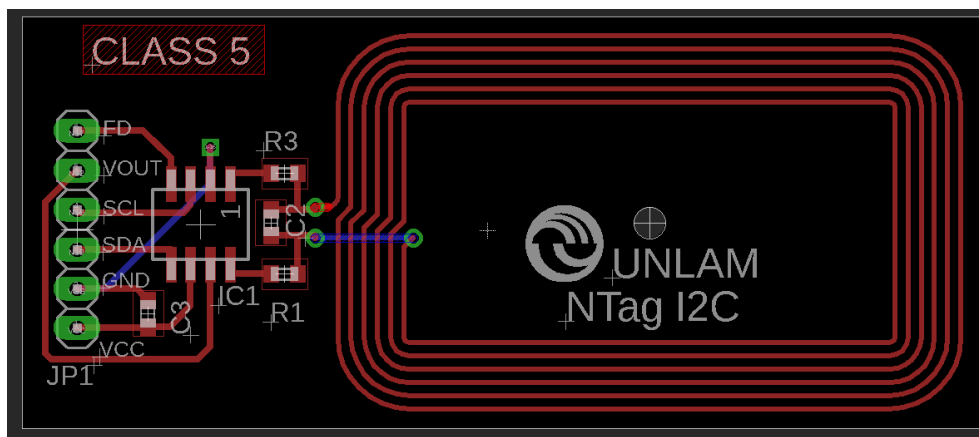


Figura N°4.49. Diseño del circuito impreso del tag con antena clase 5.

#### 4.5.4.4. Antena clase 6

La antena tiene que estar situada dentro de una zona definida por:

- Un rectángulo de 25 x 20 mm

o

- Un círculo de 25 mm de diámetro

La figura N°4.50, nos presenta el área permitida para una antena clase 6, mientras que la figura 4.51 una modelo de antena clase 6.

Siguiendo estas recomendaciones se implemento un tag basado en los chips previamente seleccionados y con una antena clase 6. El circuito esquemático de dicho tag, es omitido ya que es similar al de tag con la antena clase 4 (figura N°4.45). La figura N°4.52 presenta el diseño del circuito impreso. Nótese que se han colocado resistencias de 0 ohm en serie entre los terminales de la antena y el chip, esto tiene como objetivo la evaluación de la antena.

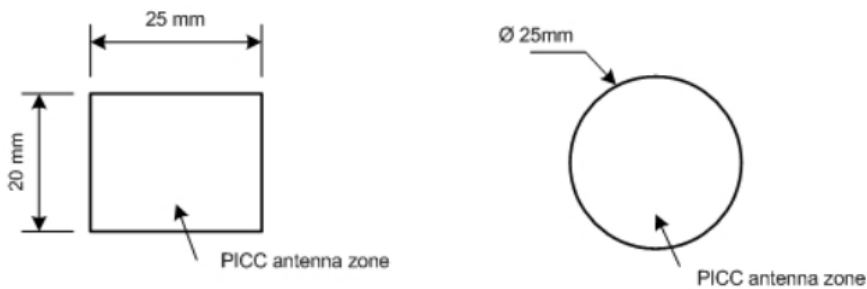


Figura N°4.50. Área permitida para antena clase 5.

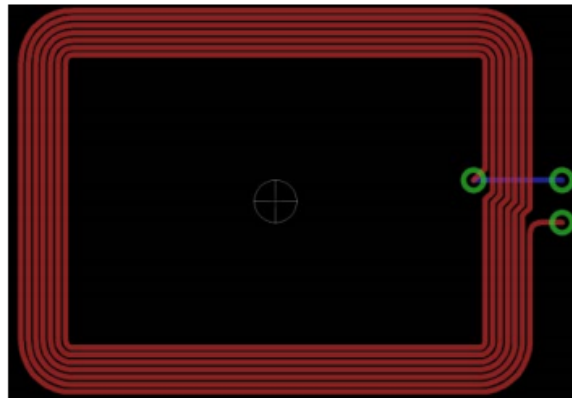


Figura N°4.51. Modelo de antena clase 6.

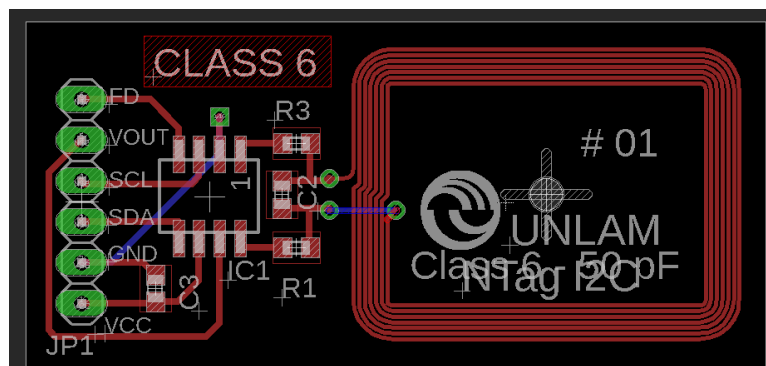


Figura N°4.52. Diseño del circuito impreso del tag con antena clase 6.



#### 4.5.5. Sistema de información de precios de productos para supermercados

Tal como se comento previamente, parte del proyecto involucra la implementación de una aplicación concreta de la tecnología. Entre las distintas aplicaciones se decidió por un sistema de visualización de precios para supermercados. La decisión se basó en la gran variedad de sustratos que ofrecen los distintos productos de un supermercado, lo que permite evaluar fácilmente el potencial de la Electrónica impresa. El sistema está formado por: tags RFID/NFC, colocados en cada producto; un dispositivo lector-visualizador; un software de base de datos; y un software de gestión. Estos últimos dos elementos ofician de un modesto sistema EPR (enterprise resource planning - sistemas de planificación de recursos empresariales), de los cuales se brevemente en una sección posterior.

##### 4.5.5.1. Hardware

###### 4.5.5.1.1. Descripción general

A raíz que la implementación del sistema se realizó en simultáneo con las otras tareas, es que para el mismo se emplearon tags comerciales y no los desarrollados. Los tags empleados están basados en el chip NTAG203 de NXP [98], compatible con los tag Tipo 2 de NFC Forum, figura N°4.60a. La figura N°4.60b muestra una imagen del lector empleado para la aplicación, el cual está basado en el chip PN532 de NXP [99]. El mismo soporta los estándares ISO/IEC 14443A/B.

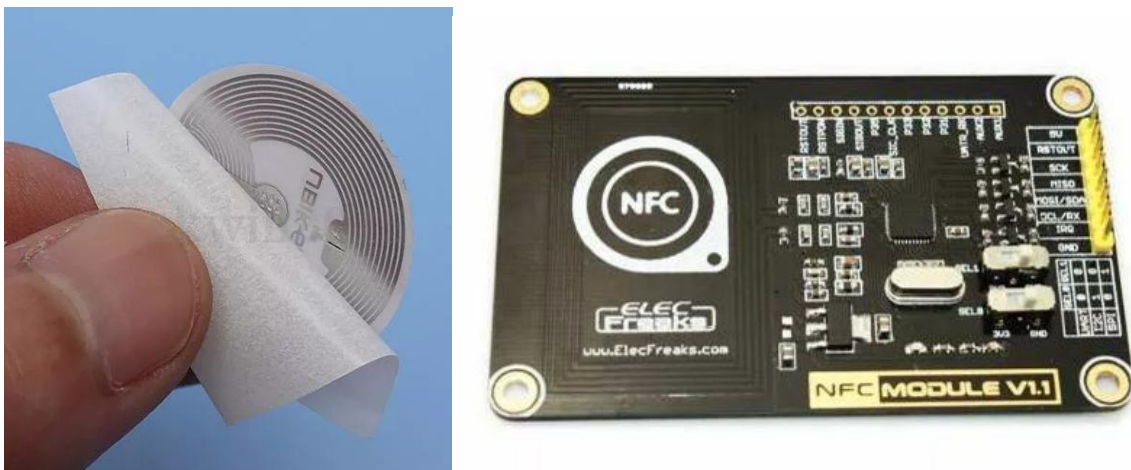


Figura N°4.60a. Tag NFC. N°4.60b Lector NFC

Se empleó la interfaz UART del dispositivo lector para conectarse con la placa de control y comunicación, la cual es el kit de desarrollo del modulo ATSAMW25 [100]. El mismo está formado por un microcontrolador Cortex M0+ (ATSAMD21) y un transreceptor de Wifi (ATWINC1500). A fin de visualizar la descripción y el precio del producto se conectó a la interfaz I2C un display de 16x2 caracteres de la firma Winstar, la figura N°4.61 presenta un diagrama de conexiones de los distintos elementos del sistema.

El bloque I2C representa un circuito para adaptar los niveles de tensión de la interfaz I2C del display a la del microcontrolador incluida en la placa ATSAMW25. Esto se debe realizar a raíz de que los niveles de tensión de la interfaz I2C del kit de evaluación del modulo es de 3.3V mientras que los niveles del display son de 5V. La figura N°4.62, presenta el circuito implementado.

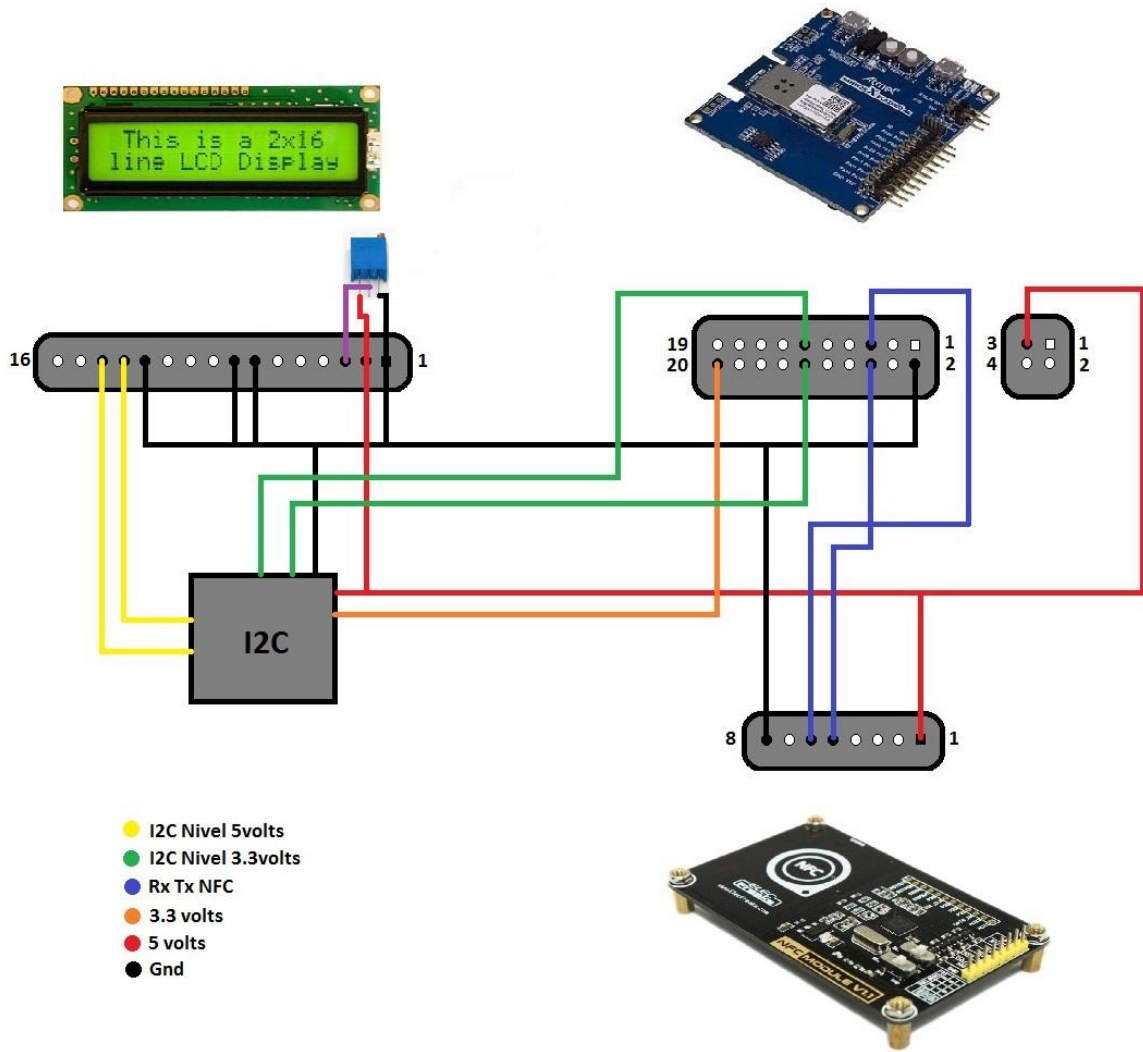


Figura N°4.61. Diagrama de conexiones de los distintos elementos del sistema.

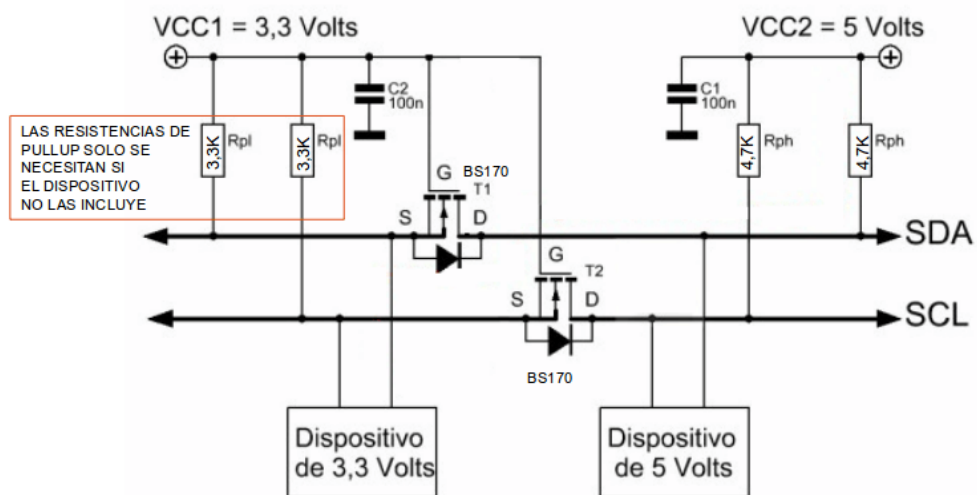


Figura N°4.62. Circuito adaptador de niveles de I2C.

#### 4.5.5.1.2. NTAG203

A continuación se detallaran las principales características y se realizará una descripción general de los tags empleados en la Demo [98].

Las características principales las podemos separar en tres categorías, las mismas son detalladas a continuación.

##### Interfaz RF (ISO/IEC 14443A)

- Transmisión de datos y energía sin contactos (no necesita de batería).
- Distancia de operación 100mm (Dependiente del campo y de la geometría de la antena)
- Frecuencia de operación 13.56 MHz
- Rápida velocidad de transferencia 106 Kbit/s
- Alto chequeo de datos: 16 bits CRC, Paridad, Codificación de bit y conteo.
- Verdadera anticolidión.
- 7 bytes de número de serie.

##### EEPROM

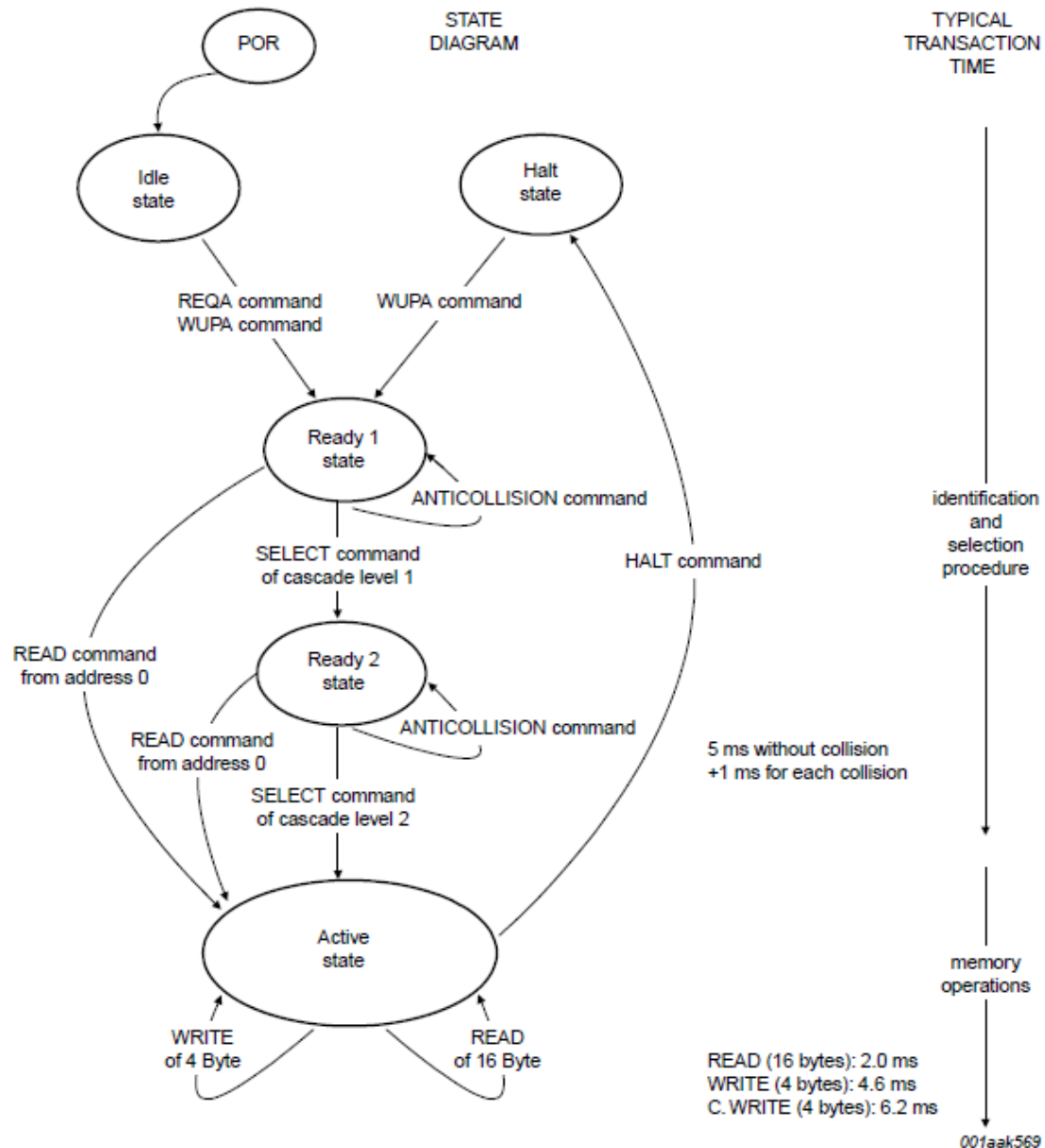
- 168 bytes totales de memoria, divididos en 42 páginas (4 bytes cada una)
- 144 bytes de usuario r/w de memoria dividida en 36 páginas (4 bytes cada una)
- Función de bloqueo programable de solo lectura por pagina para los primeros 64 bytes.
- Función de bloqueo programable de solo lectura por bloques
- 32 bits definibles por el usuario en el área One-Time Programmable (OTP)
- Contador de 16 bits
- Retención de datos por 5 años
- Garantía de 10000 ciclos de escritura.

##### Seguridad.

- Soporta Anti-clonación a través de los 7 bytes únicos en cada dispositivo.
- 32 bits definibles por el usuario en el área One-Time Programmable (OTP)
- Función de bloqueo programable de solo lectura por pagina para los primeros 64 bytes.
- Función de bloqueo programable de solo lectura por bloques

El chip NTAG203 consiste en 168 bytes de memoria EEPROM organizada en 42 páginas. De esa cantidad, 144 bytes (36 páginas) están disponibles para el usuario. Junto con la memoria el NTAG203 contiene la interfaz de RF y la unidad de control digital. La energía y los datos se transfieren a través de una antena, que consiste en una bobina con algunas vueltas conectado directamente al mismo. No más componentes externos son necesarios.

La figura N°4.63 presenta el diagrama de estados y lógico del tag NTAG203. El tag posee una secuencia de inicialización para entrar en estado activo, los comandos para realizar esta inicialización y su posterior escritura y lectura se encuentran documentados en la hoja de datos del chip. Dichos comandos no serán enviado directamente por nosotros, sino que enviaremos comandos al transreceptor y el se encargara de enviar estos al tag en la secuencia y con los tiempos adecuados. Los comandos utilizados por nosotros serán descritos en la sección 4.5.5.1.3, en donde detallaremos el transreceptor.



In all states, the command interpreter will return to the idle state on receipt of an unexpected command. If the IC was previously in the halt state, it will return to that state.

Figura N°4.63. Diagrama de estados y lógico del tag NTAG203.

La figura N°4.64 presenta la organización de la memoria del tag NTAG203. Los 168 bytes de la memoria EEPROM total organizados en 42 páginas de los cuales 144 Bytes (36 páginas) están disponibles para los datos definidos por el usuario. Cada página contiene 4 bytes (32 bits). En el estado borrado, las celdas EEPROM se leen como un "0" lógico, en el estado escrito como un "1" lógico.

El número de serie único de 7 bytes (UID) y sus dos bytes de verificación de bloque de caracteres (BCC) están programados en los primeros 9 bytes de la memoria. Por lo tanto, cubre la página 00h, página 01h y el primer byte de la página 02h. El segundo byte de la página 02h está reservado para datos internos. Debido a la seguridad y los requisitos del sistema, estos bytes están protegidos contra escritura después de haber sido programado por el fabricante del IC después de la producción

Page address		Byte number			
Decimal	Hex	0	1	2	3
0	00h	serial number			
1	01h	serial number			
2	02h	serial number	internal	lock bytes	lock bytes
3	03h	OTP	OTP	OTP	OTP
4 to 39	04h to 27h	user memory	user memory	user memory	user memory
40	28h	lock bytes	lock bytes	-	-
41	29h	16-bit counter	16-bit counter	-	-

La figura N°4.64. Organización de la memoria del tag NTAG203

Los bytes de bloqueo, figura 4.65, permiten al usuario bloquear partes del área de memoria para la escritura. Una lectura desde el área de memoria del usuario no se puede restringir a través de la funcionalidad de bloqueo de bytes. Los bits individuales de los 4 bytes de bloqueo incorporan 3 diferentes funciones:

- El bloqueo de solo lectura de las páginas individuales o bloques del área de memoria del usuario
- El bloqueo de solo lectura de los bytes individuales del área de memoria de configuración
- El bloqueo de los bits del mismo.

Name	Page		Function
	Number	Address	
Lock byte 0	2	02h	page and block locking
Lock byte 1	2	02h	page locking
Lock byte 2	40	28h	page and block locking
Lock byte 3	40	28h	functionality and block locking

La figura N°4.65. Bytes de bloque de la memoria del tag NTAG203

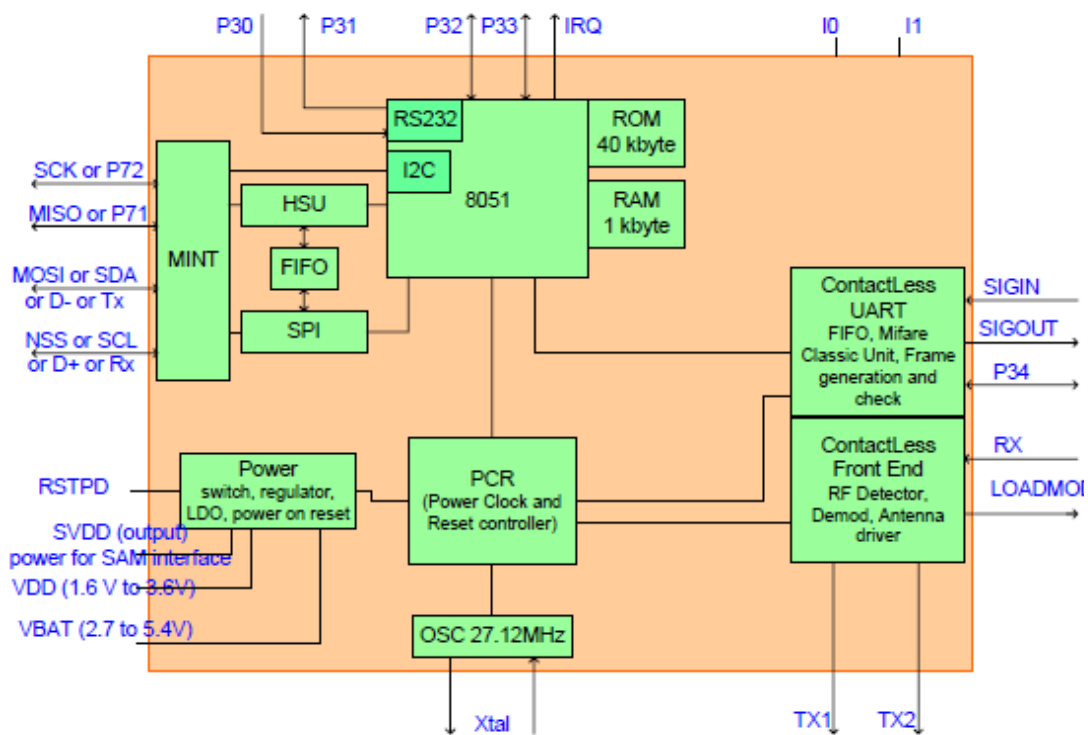
Página 3 de la memoria es una la página OTP. Están preestablecidos todos los bits a "0" después de la producción. Estos bytes pueden ser poco a poco modificados por un comando WRITE. El proceso es irreversible. Si un bit es seteado a "1", no puede ser cambiado nuevamente a "0".

Además el NTAG203 cuenta con un contador unidireccional de 16 bits, ubicado en los primeros dos bytes de la página 29h. En su estado inicial, el valor del contador se establece en 0000h. La primera escritura válida en la dirección 29h se pueden realizar con cualquier valor en el rango entre 0001h y FFFFh y corresponde al valor del contador inicial. Cada comando de WRITE válido consiguiente, que representa un incremento, puede contener valores entre 0001h y 000Fh. Con dicho comando WRITE y un reset de RF, el valor escrito en la dirección 29h se agrega al contenido del contador. Si, después de la escritura inicial, se utiliza un valor superior a 000Fh como parámetro, NTAG203 responde con NAK. Una vez que el valor del contador alcanza FFFFh y se realiza un incremento a través de comando válido, NTAG203 responderá con NAK. Si la suma del valor del contador y el incremento es mayor que FFFFh, NTAG203 responderá con NAK y no actualizará el contador. Incrementar por cero (00h) siempre es posible, pero no tiene ningún impacto en el valor del contador.

### 4.5.5.1.3. Lector PN532

A continuación se detallaran las principales características y se realizará una descripción general de los PN532, el chip empleado en los lectores utilizado [99][101].

La figura N°4.66 presenta el diagrama en bloques del PN532. El PN532 está basado en un núcleo 8051, con 40 Kbytes de ROM y 1Kbyte de RAM. El chip contiene una UART sin contacto, una interfaz frontal sin contacto, un bloque "PCR" que controla los clocks y la alimentación. Se puede conectar al controlador de host por I2C, SPI o HSU (UART de alta velocidad). Se pueden agregar una o dos líneas más (IRQ y H\_REQ). La interfaz se puede seleccionar usando los pines I0 e I1. Se puede conectar un chip de SAM usando la interfaz S2C. Una parte del IC puede alimentarse directamente desde una batería (VBAT entre 2.7V y 5.4V). La fuente de alimentación Pad (PVDD) debe estar entre 1.6V y 3.6V. La fuente de alimentación SAM SVDD es proporcionada por el PN532. El PN532 combina un concepto de modulación y demodulación completamente integrado para diferentes tipos de protocolos y métodos de comunicación sin contacto a 13,56 MHz (particularmente Near Field Communication NFC), con un firmware fácil de usar para los diferentes modos admitidos y las interfaces de host requeridas.



La figura N°4.66. Diagrama en bloques del PN532

Del PN532 existen dos modelos el C104 y el C106, las diferencias se encuentran documentadas en la hoja de datos, nosotros usaremos el C106 ya que contamos con ese chip.

El protocolo estándar consiste de un intercambio básico entre un controlador y el PN532, en el cual un comando es enviado por el controlador al PN532, recibido este un es ACK enviado por el PN532 al controlador, seguido luego por un paquete de respuesta al comando, la figura N°4.67 presenta dicho protocolo.

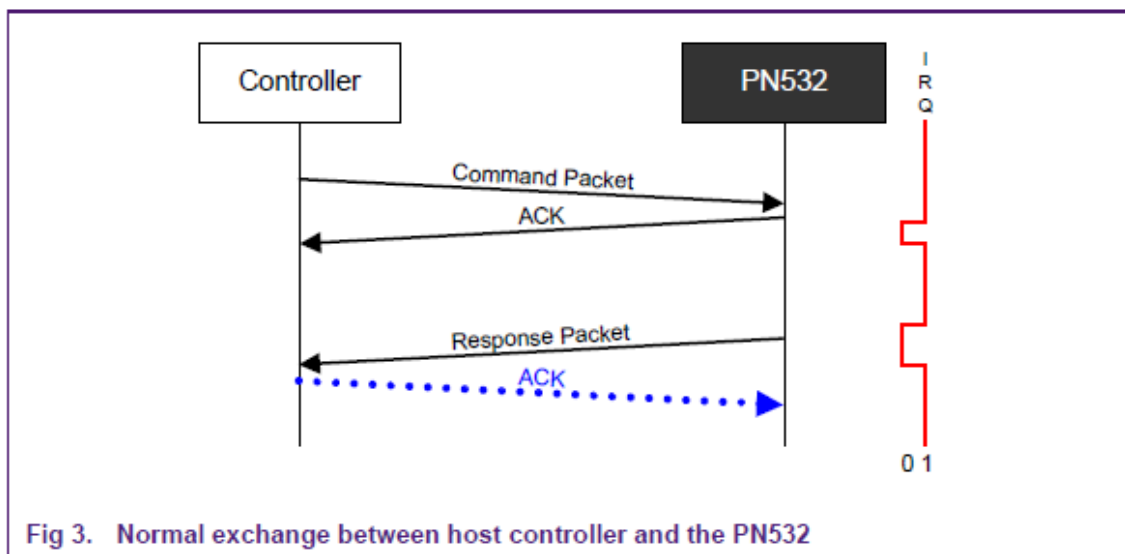


Figura N°4.67. El protocolo estándar entre el controlador y en PN532.

El formato de los paquetes de comando y respuesta utilizados por este protocolo se pueden ver en la figura N°4.68, donde:

- Preámbulo (Preamble) 1 byte
- Inicio de Código (Start Code) 2 bytes (00h y FFh)
- Largo (LEN) 1 byte indicando el numero de bytes en el campo de datos (TFI y PDo a PDn)
- LCS 1 byte – Checksum del largo del paquete, satisface la relación: menor byte de  $[LEN+LCS]=00h$
- TFI 1 byte que indica el identificador de trama del PN532, el valor de este byte depende de la dirección del mensaje. D4h en el caso que la trama sea del controlador al PN532. D5h en el caso que la trama sea del PN532 al controlador
- Dato LEN-1 bytes de información. El primer byte PD0 es el código de comando.
- DCS 1 byte de Checksum, que satisface la relación: menor byte de  $[TFI + PD0 + PD1+...+PDn + DCS]=00h$
- Fin de string (POSTAMBLE) 1 byte

La figura N°4.69 presenta el formato del paquete de ACK y el de NACK en la figura N°4.70.

Tal como se comento en la sección 4.5.5.1.1 se emplea un lector ya desarrollado que se encuentra en el mercado, en la figura N°4.71 se puede ver el esquemático del mismo [102].

De dicho lector solo se cableó las líneas de alimentación (+5v y GND) Pin 1 y 8 del J2 y la comunicación por UART (Rx y TX) Pin 4 y 5 del J2, tal como se puede ver en la figura N°4.61 de la sección 4.5.5.1.1.

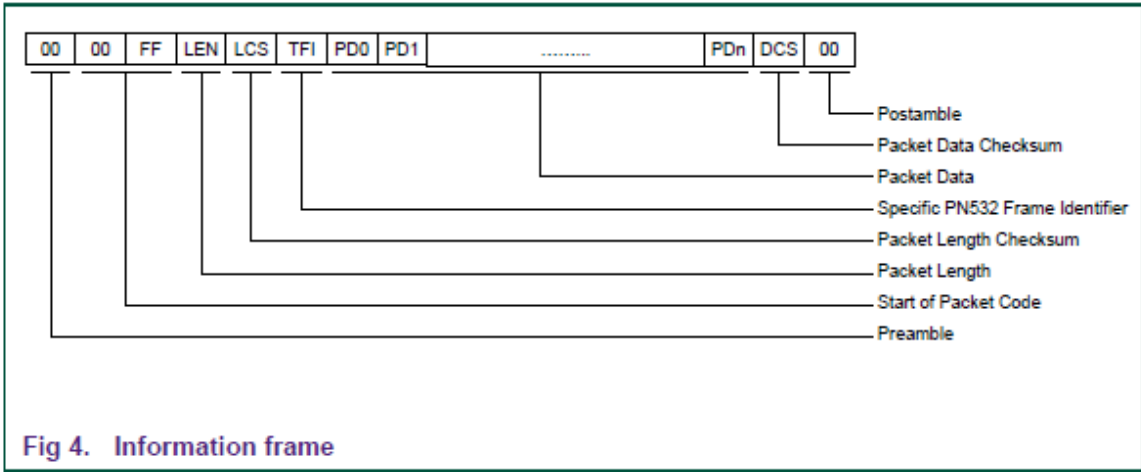


Figura N°4.68. Formato de paquete de Comando y Respuesta.

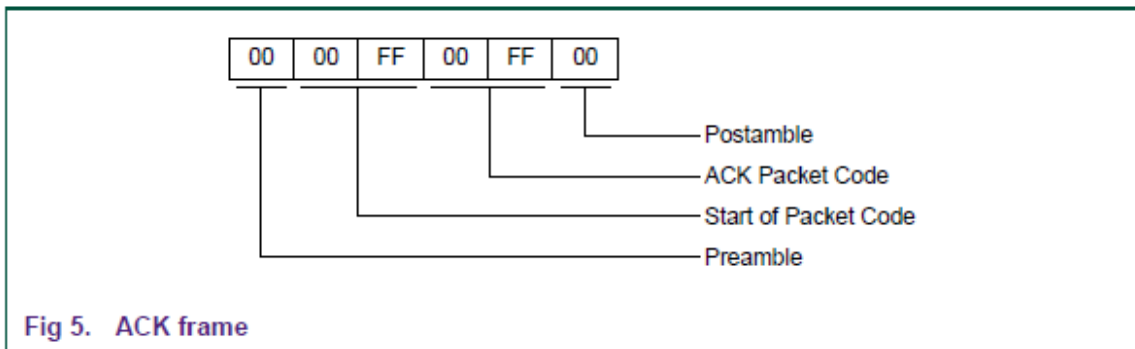


Figura N°4.69. Formato de paquete de ACK.

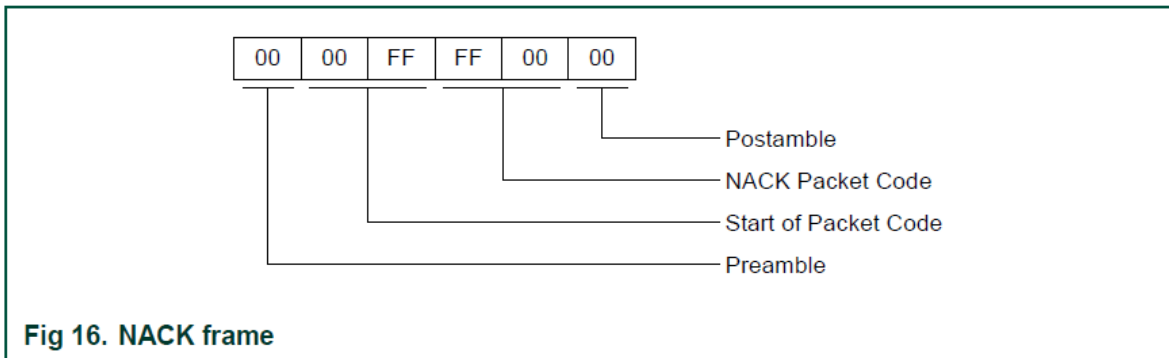


Figura N°4.70. Formato de paquete de NACK.



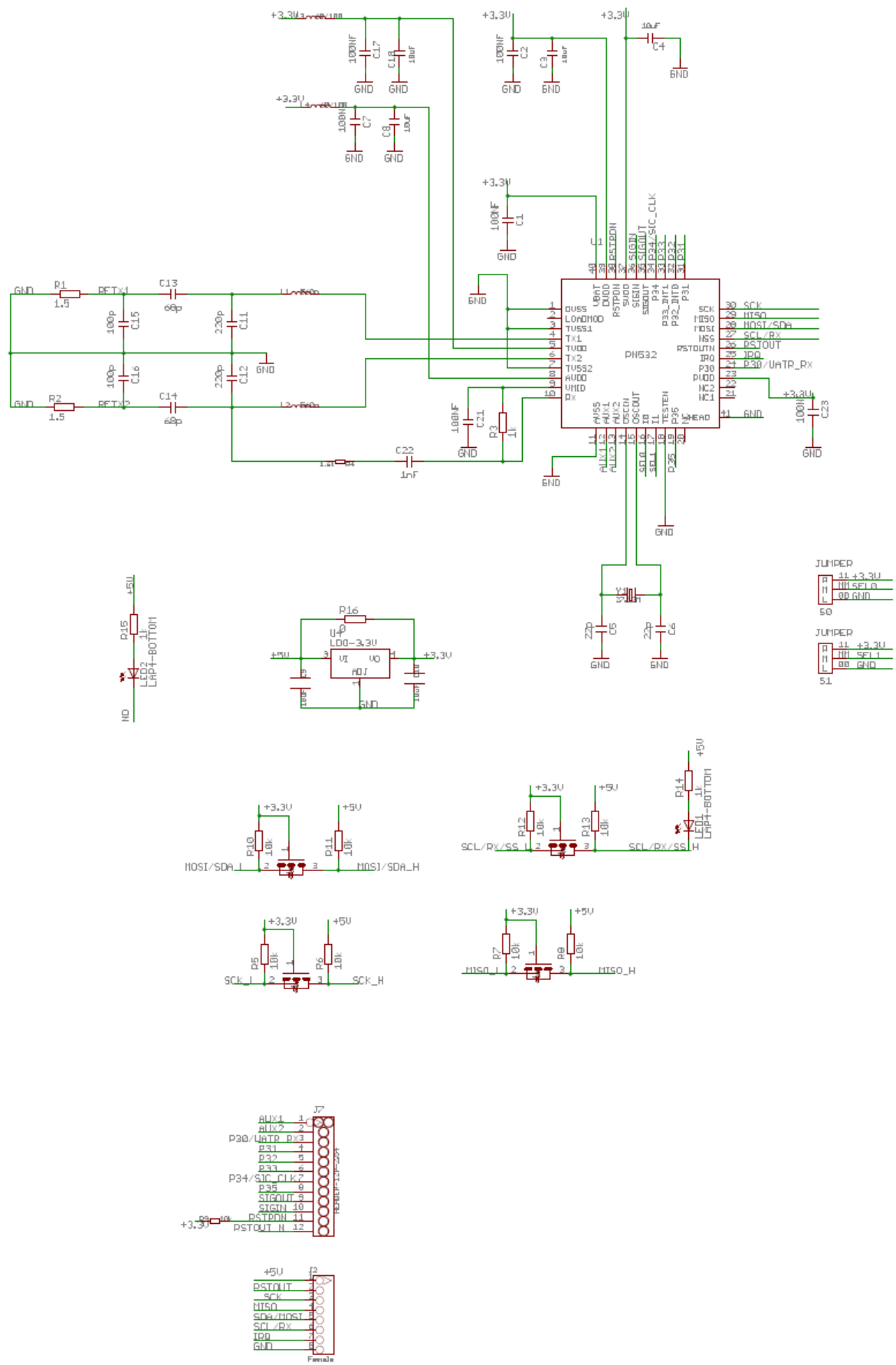


Figura N°4.71. Esquemático lector.

El chip posee varios modos de operación:

- Iniciador o Terminal NFC.
- Lector Mifare (protocolo Mifare)
- Lector ISO/IEC 14443-4 protocolo
- Lector de Tarjetas Jewel
- Lector Felica
- Tarjeta ISO/IEC 14443-A
- Tarjeta virtual en combinación con una SAM

Para esta demo se utilizo el modo Lector Mifare, el cual es compatible con los tag NTAG203 utilizados en la demo y los fututos tags utilizados NT3H1101/1201/2111/2211.

La figura N°4.72 presenta la estructura del dato a enviar, mientras que la figura N°4.73 los comandos que fueron utilizados para la comunicación. Dicha comunicación se hizo directamente contra el chip, no se conto con ninguna librería estándar ni driver alguno dado por el proveedor, todo se saco de las hojas de datos y de pruebas de campo.

Byte	0 3	4 7	8 11	12	13	14	15
	Value	Value complement	Value	Addr	Addr complement	Addr	Addr complement

Figura N°4.72. Estructura de datos

Command code	Command Parameter	Command Data field	Response
60h	1 byte address	KeyA (8 bytes, default value FFh) followed by UID (4 bytes)	-
61h	1 byte address	KeyB (8 bytes, default value FFh) followed by UID (4 bytes)	-
30h	1 byte address	-	16 bytes
A0h	1 byte address	16 bytes	-
C1h	1 byte address	4 byte increment value (lower byte first)	-
C0h	1 byte address	4 byte decrement value (lower byte first)	-
B0h	1 byte address	-	-
C2h	1 byte address	-	-

Figura N°4.73. Comandos Mifare estandar.

El PN532 arranca en modo bajo consumo, para salir de este se debe tener presente la alimentación en PVDD y se enviar un comando (55 55 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 FF 03 FD D4 14 01 17 00h), el PN532 contestara con ACK y se podra comenzar a enviarle los demás comando que soporta el modulo. Sin esto estará inactivo el chip y no responderá a los mismos.

#### 4.5.5.2. Entorno y ejemplos utilizados para implementar la aplicación.

Para el desarrollo del firmware se tomó como base del proyecto el ejemplo Wi-Fi Serial Example – SAM W25 Xplained Pro y se agregaron los módulos que se pueden ver en la figura N°4.74 , los cuales son parte del Atmel Software Framework 3.29.0 (ASF) incluido en el ATMEL Studio 7. El ejemplo original transmite la información recibida por el puerto serie a una dirección IP, se agregó e implemento la configuración de parámetros (dirección IP, puerto, nombre y clave de la red Wifi) a través del puerto serie de debug, la comunicación por I2C para el manejo del display y un puerto serie extra para el manejo del lector de NFC, los parámetros son guardados en la memoria Serial Flash para que no se pierdan en la desconexión de la alimentación.

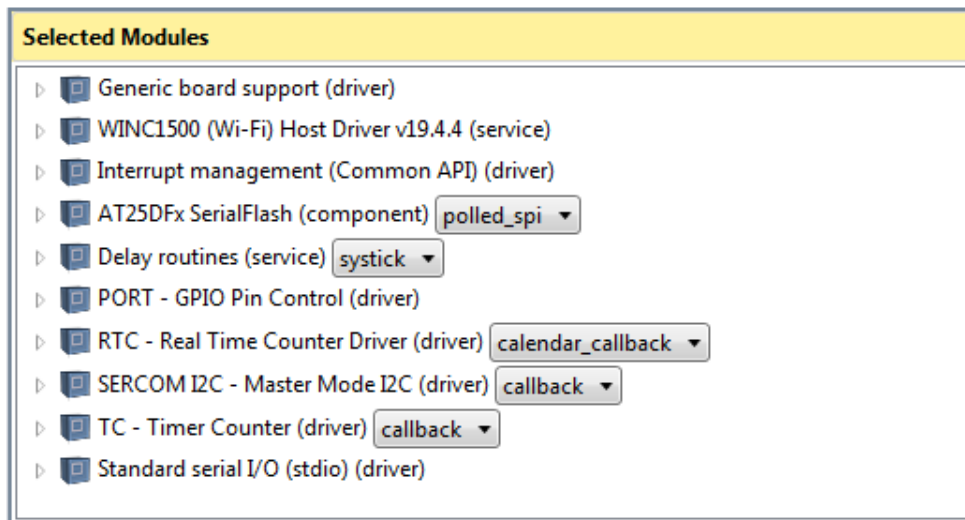


Figura N°4.74. Módulos agregados al ejemplo Wi-Fi Serial Example.

#### 4.5.5.3. Diagrama de flujo del firmware.

La figura N°4.75 presenta el diagrama de flujo del firmware implementado en el microcontrolador.

Al iniciar el programa se realiza la inicialización de las variables a utilizar durante el programa (**Inicio de variables y stack**), y a continuación la configuración de los puertos del microcontrolador y los periféricos que se emplearán como ser los puertos seriales (TAG y Consola), el módulo WIFI, el RTC, el módulo I2C (Display), etc. (**Configuración de puertos y dispositivos**). Luego se habilitan las interrupciones a través de las cuales se controlarán los dispositivos/periféricos evitando realizar un polling para su atención (**Habilita Interrupciones**). Inmediatamente se entra en un loop infinito en el cual se hace un chequeo si esta de la conectividad a la red Wifi en una primera instancia (**Wifi Conectado**), en caso de que se este desconectado se inicia el proceso de conexión (**Conectar Wifi SSID y PASS**). Los datos utilizados para realizar la conexión son extraídos de la memoria flash de microcontrolador. Una vez establecida la conexión verifica la conexión al servidor de datos (**Server Conectado**), en caso de que se este desconectado se inicia el proceso de conexión extrayendo los datos para la misma de la memoria flash (**Conectar Server IP y PORT**). Establecida la conexión con el servidor se pone al lector de NFC en modo de lectura

**Envia TAG Presente al NFC**, para que si el modulo detecta una tarjeta presente me avise para poder realizar la lectura de su TAG ID, esto se logra mediante un flag que me informa que se detecto una tarjeta en el campo del NFC (**TAG=1**), si la condición es verdadera se **Envia leer TAG ID al NFC**, que también me avisara con un flag (**TAG ID=1**), si la condición es verdadera ya se cuenta con toda la información que se requería para poder **Enviar Mensaje al Server** , si el

producto se encuentra en la base de datos (**TAG Detectado en server**) me devolverá el nombre del producto y su precio el cual será enviado como **Mensaje LCD Producto y Precio**, si el TAG ID no esta presente en el servidor como un producto registrado informará **Mensaje Lcd producto no encontrado** y se volverá nuevamente al comienzo del ciclo.



Figura N°4.75. Diagrama en bloques del firmware implementado.

El modulo lector de Tag se inicializa en la inicialización de dispositivos y cuenta con un parseador de mensajes (**Parser NFC de mensajes**) el cual se encarga de interpretar los mensajes provenientes del lector por UART y ejecuta funciones o tareas que le fueron asignadas al detectar dicho mensaje. El lector es casi autónomo ya que con solo acercarle una tarjeta envía un mensaje por puerto serie de **Mensaje TAG Presente**, el cual es enviado al programa principal mediante un

flag para hacer el chequeo de **TAG==1?**, si se detecta el **Mensaje TAG ID** también se informa al programa principal mediante un flag que ya se cuenta con el identificador único del producto el cual es irrepetible.

Por tratarse simplemente de una demo y en la cual se cuenta con un número limitado de productos y todos distintos, se utilizó para identificarlos el ID del tag, el cual es único para cada uno de ellos. En una aplicación real, en la cual existirían en góndola decenas de productos iguales, se tendría que grabar en la memoria del tag un código de producto en alguna de las posiciones de memoria disponibles previamente a ser colocado en la misma. Y durante el proceso de identificación leer dicha posición y no el ID del tag.

En la **interrupción por puerto serie consola** también se tiene un parseador de mensajes (**Parser COM de mensajes**) el cual se encarga de interpretar los mensajes provenientes de la consola por UART y ejecuta funciones o tareas que le se le asignaron al detectar dicho mensaje. Los mensajes pueden ser **help** (se sacó los caracteres << pero deben estar presentes en el envío de todos los mensajes porque se usa como inicializador de los mismo) que nos da una ayuda de los mensajes que acepta el equipo, **Serial**, que nos devuelve el número de serie del equipo, **connect [ip\_address][port]**, donde setea la ip y puerto del server, **disconnect**, que me fuerza a realizar una desconexión del server, **wifi [ssid][pass]**, donde se setea el ssid y password de la conexión wifi, **clock dd mm yyyy hh mm ss**, que me permite poner en hora el reloj de tiempo real (RTC) interno, **getset**, me devuelve los parámetros que tiene el equipo, **saveset**, me guarda los parámetros en flash ya que puedo estar bajando parámetros para probar pero los mismos se perderán si se resetea el equipo, **wakeupnfc**, que me levanta el chip de NFC para que detecte tarjeta presente, **getfirmware**, me devuelve la versión de firmware del NFC, **readtag**, me brinda el tag id de la tarjeta, **lcd\_clear** me borra el lcd completamente, **lcd\_line1** o **lcd\_line2** me permite escribir un texto determinado en el display lcd.

Se incluyeron rutinas encargadas de parsear los comandos, interpretarlos y ejecutarlos (parser.c y parser.h). Como base del protocolo para la transmisión de los datos se utilizó el implementado en el proyecto PROINCE C160 con algunas variaciones, el cual se describe a continuación.

#### 4.5.5.4. Protocolo de comunicación.

Mensaje saliente al servidor.

**\$D,<establecimiento>,,<estación>,<tag id>,,,,,,,,,,,,,<CSUM>,#W**

Donde:

<b>\$D</b>	encabezado.
<b>&lt;establecimiento&gt;</b>	identificador de hasta 5 caracteres, si son menos serán completados con ceros.
<b>&lt;estación&gt;</b>	identificador de 32 bytes/caracteres. El mismo contendrá el número de serie de la estación (64 bits provenientes de un DS2401 o equivalente) o un nombre que lo identifique (si el nombre es menor de 32 caracteres, los faltantes serán completados con espacios).
<b>&lt;tag id&gt;</b>	identificador de 16 bytes/caracteres. Contiene el Tag Id del producto si es menor a 16 caracteres se completa con ceros.
<b>&lt;CSUM&gt;</b>	Checksum, código de verificación de la información (2 caracteres) que representan un número hexadecimal cuyo valor es el XOR lógico de todos los bytes/caracteres entre el \$ y el CSUM sin incluirlos (se incluye la coma previa al CSUM).
<b>#W</b>	fin de trama

Ejemplo

```
$D,07845,,ec9b5021514d32364e202020ff0d0614,00041ac7baec4a81,,,,,,,,,2C,#W
```

Mensaje entrante a la estación.

```
$C,<establecimiento>,,<estación>,<tag Id>,,<línea 1>,<línea 2>,,,,,,,,,<CSUM>, #W
```

Donde:

\$C	encabezado.
<establecimiento>	identificador de hasta 5 caracteres, si son menos serán completados con ceros.
<estación>	identificador de 32 bytes/caracteres. El mismo contendrá el número de serie de la estación (64 bits provenientes de un DS2401 o equivalente) o un nombre que lo identifique (si el nombre es menor de 32 caracteres, los faltantes serán completados con espacios).
<tag id>	identificador de 16 bytes/caracteres. Contiene el Tag Id del producto si es menor a 16 caracteres se completa con ceros.
<línea 1>	de largo variable es la descripción que aparecerá en la línea 1 del lcd, en nuestro caso es el nombre del producto.
<línea 2>	de largo variable es la descripción que aparecerá en la línea 2 del lcd, en nuestro caso es el precio del producto.
<CSUM>	Checksum, código de verificación de la información (2 caracteres) que representan un número hexadecimal cuyo valor es el XOR lógico de todos los bytes/caracteres entre el \$ y el CSUM sin incluirlos (se incluye la coma previa al CSUM).
#W	fin de trama

Ejemplo

```
$C,07845,,ec9b5021514d32364e202020ff0d0614,00041ac7baec4a81,,Salamin Fino Kg,$45.90,,,,,,,,,08,#W
```

#### 4.5.5.5. Pruebas y ensayos del firmware.

Para realizar las pruebas funcionales del firmware se empleo, en una primera instancia, un simulador en forma local, posteriormente las pruebas ser realizaron contra la aplicación corriendo en un servidor remoto. A continuación se presenta el log, obtenido a través del puerto serie, generado por el equipo en las distintas etapas de su funcionamiento.

Al encender el equipo se muestra del ejemplo del que se partió, la placa utilizada (hardware), fecha de compilación e información interna del firmware y drivers del modulo.

```
-- WINC1500 Wi-Fi Serial example --<CR><LF>  
-- SAMW25_XPLAINED_PRO --<CR><LF>  
-- Compiled: Dec 6 2016 19:35:17 --<CR><LF>  
(APP)(INFO)Chip ID 1503a0<LF><CR>  
(APP)(INFO)Firmware ver : 19.3.0<LF><CR>  
(APP)(INFO)Min driver ver : 19.3.0<LF><CR>  
(APP)(INFO)Curr driver ver: 19.3.0<LF><CR>  
<CR><LF>
```

Cuando se envía el comando <<help<CR><LF> el equipo devuelve una ayuda de los comando a utilizar para setear el equipo.

```

===== Usage
===== <CR><LF>
Local command. (Use "<<" indicator).<CR><LF>
<<help          :Print usage.<CR><LF>
<<connect [ip_address] [port] :Connect to a TCP server with the given
ip_address.<CR><LF>
<<disconnect    :Close TCP client socket.<CR><LF>
<<wifi [ssid] [pass]      :SSID name and PASSWORD<CR><LF>
<<serial        :get Serial Number (ID)<CR><LF>
<<clock dd mm yyyy hh mm ss :set Date and Time<CR><LF>
<<getset        :get settings from the flash for wifi and
IP<CR><LF>
<<saveset       :save settings to the Flash for wifi and
IP<CR><LF>
**** NFS ****<CR><LF>
<<wakeurnfc     :wake up nfc chip<CR><LF>
<<getfirmware   :getfirmware of chip nfc<CR><LF>
<<readtag       :read tag nfc<CR><LF>
**** LCD ****<CR><LF>
<<lcd_clear     :clear lcd<CR><LF>
<<lcd_line1 xxxxx :write line1 on lcd<CR><LF>
<<lcd_line2 xxxxx :write line2 on lcd<CR><LF>
Remote command. (Use ">>" indicator).<CR><LF>
>>control [ledon] [ledoff] :Control the remote device.<CR><LF>
===== <CR>
<LF>

```

Con el comando <<getset<CR><LF> el equipo devuelve los seteos de wifi e IP.

```

*** Settings for wifi ***<CR><LF>
Wifi SSID:linksys PASS:12345678<CR><LF>
Address IP:192.168.1.100 PORT:5555 <CR><LF>

```

Cuando el equipo logra la conexión con el router se observa el siguiente log.

```

Wi-Fi connected.<CR><LF>
Wi-Fi IP is 192.168.0.108<CR><LF>
socket_cb: bind success.<CR><LF>
socket_cb: listen success.<CR><LF>

```

Cuando el equipo logra la conexión con el servidor se observa el siguiente log.

```

Connecting to Ip 192.168.0.102:5555 <LF>
socket_cb: connect success.<CR><LF>
Server Connected to Ip:192.168.0.102:5555 Port:5555<LF><CR>

```

Al ya tener conexión con el servidor se comienza el inicio del lector.

```

*** Wake Up Nfc
*** <NUL> □ <NUL> □ <NUL> □ <NUL> □ <NUL> □ <NUL> □ <STX> _pÕ<NAK> _<SYN> _<NUL> □
Tag Analyse<CR><LF>
[00] [00] [ff] [00] [ff] [00] [00] [00] [ff] [02] [fe] [d5] [15] [16] [00] <LF>
Ack PND<LF>
[00] [00] [ff] [02] [fe] [d5] [15] [16] [00] <LF>

```

WakeUp <LF>

Se envía el inicio del lector para que salga del modo sleep (**Wake Up Nfc**), el mismo contesta y es analizado byte a byte (**Tag Analise**), al final se envía una confirmación de recepción (**Ack PND**). Se comienza a enviar el comando de lectura del Tag Id.

```
*** Read Tag Nfc *** <NUL> □ <NUL> □ ĩ <NUL> □ ĩ <NUL> □  
Tag Analise <CR> <LF>  
[00] [00] [ff] [00] [ff] [00] <LF>  
Ack PND <LF> <LF>
```

Se observa que el lector no tiene al alcance ninguna tarjeta para leer su Tag Id, en el siguiente mensaje se observara la lectura de un Tag Id real, el envío de lectura se hace cada 5 segundos para saber si se ha desconectado el lector o si no contesta por algun otro motivo.

```
Tag Analise <CR> <LF>  
[00] [00] [ff] [0c] [f4] [d5] [4b] [01] [01] [00] [04] [08] [04] [a3] [f4] [c9] [35] [39] [00] <LF>  
Read Tag <LF>  
Serial Number: [a3][f4][c9][35] <LF>
```

En este caso se procesa el Tag Id y se envía el mensaje siguiente al servidor.

```
$D,07845,,ec9b5021514d32364e202020ff0d0614,00000000a3f4c935,,,,,,,,,29,#W <LF>  
Send client socket <CR> <LF>
```

El cual constesta.

```
$C,07845,,ec9b5021514d32364e202020ff0d0614,00000000a3f4c935,,Vino malbec 750 , $  
80.70,,,,,,,,,76,#W <CR>
```

Donde se observa que el producto es un Vino Malbec 750 y su valor de \$ 80.70.

#### 4.5.5.6. Software

Para el desarrollo del “Sistema de visualización de precios” se desarrollaron un conjunto de aplicaciones cuya función en conjunto es la de comportarse como un modesto sistema ERP (enterprise resource planning). A continuación, se realizará un abreve introducción a los sistemas ERP para luego describir las aplicaciones desarrolladas, sus capacidades y su funcionamiento.

##### 4.5.5.6.1. Sistemas ERP

Un sistema ERP es un sistema de información integrado, configurable y adaptable que proyecta y gestiona todos los recursos y sus usos en una compañía, y optimiza e incorpora todos los procesos de la organización. Estos sistemas deben ser rentables, es decir brindar la posibilidad de reducir los costos o incrementar la rentabilidad, ya que estos son los requerimientos básicos y principales motivaciones de una compañía. Los sistemas ERP tienen un amplio rango de aplicación en áreas industriales y no industriales, destacándose los siguientes ámbitos [103][104]:

- Aeroespacial y defensa.
- Bancario.
- Productos de consumo.
- Construcción.
- Salud.
- Educación e investigación.



- Seguros.
- Productos sin procesar (materia prima) y procesados.
- Logística.
- Transporte.
- Sector público.
- Telecomunicación.

Estos sistemas emplean una arquitectura servidor / cliente, creando un entorno informático. En general, se utiliza una arquitectura de tres niveles, formada por tres capas lógicas [105]:

- Capa de presentación: Consta de una interfaz gráfica de usuario (GUI) unificada o un navegador, que registra entradas por parte de los usuarios, genera peticiones y devuelve los resultados para ser analizados e interpretados.
- Capa de aplicación: Está compuesta por programas que reciben y procesan las solicitudes generadas por los usuarios a través de la capa presentación.
- Capa de base de datos: Sistemas de administración de base de datos que gestionan los datos operativos y empresariales de toda la compañía.

Las funcionalidades o módulos básicos que un sistema de ERP debe incluir son las siguientes [106]:

- Administración financiera;
- Administración de recursos humanos;
- Administración de producción;
- Administración de stock;
- Administración de ventas, distribución y logística;
- Administración de clientes;
- Administración del ciclo de vida de productos;
- Administración de proveedores;
- Inteligencia de negocios;
- Administración de la cadena de suministros

Dentro de los principales sistemas ERP comerciales, se destacan los siguientes:

- SAP ERP [107]
- Oracle ERP Cloud [108]
- Sage ERP [109]
- Microsoft Dynamics [110]
- Infor ERP [111]
- Epicor ERP [112]

#### **4.5.5.6.2. Definición del Sistema**

Si bien el sistema desarrollado posee la estructura de un sistema ERP, sólo se implementó la funcionalidad del módulo “Administración de stock”, ya que ésta aplicación está pensada para ser tan solo un ejemplo del uso de la electrónica impresa en los sistemas de trazabilidad, que es el verdadero objetivo del proyecto.

Las principales características del sistema desarrollado, “Sistema de visualización de precios”, son las siguientes:

- Posee la estructura base de un software ERP, estando los módulos básicos en sectores bien diferenciados, pero a la vez interactuando entre ellos, empleando una arquitectura servidor / cliente de tres niveles: Capa de presentación, capa de aplicación y capa de base de datos
- Posee comunicación el hardware asociado mediante conexión TCP/IP.
- Utiliza una base de datos MySQL.
- Tiene la posibilidad de utilizar la base de datos de manera local (misma PC donde se ejecuta la aplicación o en una red LAN) o remota (a través de internet).
- Posee la posibilidad de administrar hasta 18446744073709551615 productos distintos.
- Posee la posibilidad de administrar hasta 99999 sucursales distintas, cada una manejando el stock y precio de venta de los productos que tenga disponibles para la venta.
- Diseñados para correr en sistema operativo Windows 7 o posterior.

El sistema está compuesto por cuatro componentes principales, tres aplicaciones de computadora (software) y un hardware cuya función será la lectura de los tag RFID y la presentación de los precios de los productos, como se indica en la figura N°4.76. A continuación, se describe brevemente cada uno de los elementos de software.

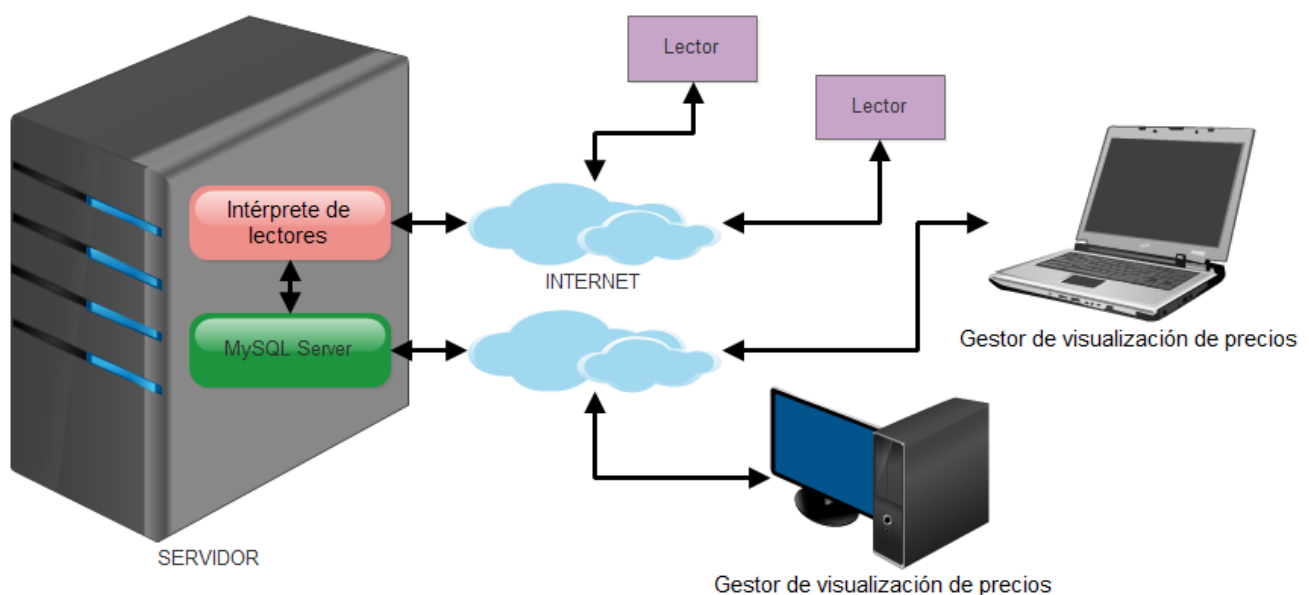


Figura N°4.76. Componentes del sistema.

**Aplicación principal, "Gestor de visualización de precios":** En este programa se realiza la gestión de los productos (alta, modificación y baja) que trabaja la cadena de comercios en cuestión, y la gestión de productos y stock en cada una de las sucursales.

El "Gestor de visualización de precios" se puede utilizar en cualquier PC, sin restricción alguna salvo el requerimiento de una conexión activa a internet, mediante la cual se conectará con el servidor de base de datos MySQL donde se almacena la información. En caso que la base de datos se encuentre en la misma red, o incluso en la misma PC, no será necesaria la conexión a internet.

**Aplicación secundaria, "Intérprete de lectores":** Este programa se encarga de procesar los pedidos transmitidos por los lectores, analizar su integridad, y realizar la consulta correspondiente a

la base de datos, para luego responder con la información solicitada. La conexión y transmisión de información con los lectores se realiza utilizando como base el protocolo previamente definido para el proyecto PROINCE C160, con las siguientes modificaciones en los campos de la trama:

Trama transmitida desde los lectores a la aplicación intérprete de lectores:

“\$D,< Campo\_1>,< Campo\_3>,< Campo\_4>,,,,,,,,,<CSUM>,#W”

Campo\_1: establecimiento (sucursal) - 5 bytes BCD

Campo\_3: estación - 32 bytes en hexadecimal

Campo\_4: ID del producto - 16 bytes en hexadecimal

CSUM: suma de verificación - 2 bytes en hexadecimal

Trama Ejemplo:

“\$D,00001,,123456789ABCDEF0123456789ABCDEF0,123456789ABCDEF0,,,,,,,,,73,#W”

Trama transmitida por la aplicación intérprete de lectores a los lectores:

“\$C, < Campo\_1>,< Campo\_3>,< Campo\_4>,< Campo\_6>,< Campo\_7>,#W”

Campo\_1: establecimiento (sucursal) - 5 bytes BCD

Campo\_3: estación - 32 bytes en hexadecimal

Campo\_4: ID del producto - 16 bytes en hexadecimal

Campo\_6: Descripción del producto – hasta 62 caracteres

Campo\_7: Precio de venta del producto

CSUM: suma de verificación - 2 bytes en hexadecimal

Trama Ejemplo:

\$C,00001,,123456789ABCDEF0123456789ABCDEF0,123456789ABCDEF0,,descrip,123.45,13,3F,  
#W

Esta aplicación cuenta con un registro de errores, donde se almacena cualquier anomalía encontrada para su posterior análisis y toma de acción correctiva correspondiente.

Aunque esta aplicación puede ejecutarse en cualquier PC, es recomendable que se encuentre junto a la base de datos, para, de esta manera, evitar una conexión remota que genere demoras en la transmisión de la información.

**MySQL Server:** Servidor de base de datos en el que se almacena la información de los productos y sucursales. Permite acceder de forma remota y segura a toda la información almacenada en ella.

#### 4.5.5.6.3 Server de base de datos

Como servidor de base de datos se utilizó MySQL Community Server, el cual es un sistema de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario con licencia GNU GPL. Entre sus características principales podemos citar:

- Es un software libre.
- Puede funcionar con una gran variedad de sistemas operativos.
- Soporta el modo de funcionamiento Cliente/Servidor.
- MySQL soporta todas las características clave de bases de datos relacionales, entre las que podemos nombrar SQL-92 y SQL-99, Drivers para ODBC, JDBC, .NET y C++, entre muchas otras más.
- El tamaño máximo para bases de datos en MySQL es generalmente determinado por las limitaciones de los archivos del sistema operativo, no por los límites internos de MySQL.

Enlace de descarga: <https://dev.mysql.com/downloads/mysql/>

Para la comunicación con la base de datos, MySQL ofrece librerías para distintas plataformas, entre las que se encuentran:

- ODBC
- .NET
- Java
- Node.js
- Python
- C (librería utilizada en este proyecto)
- C++
- PHP

Enlace de descarga: <https://dev.mysql.com/downloads/connector/>

#### **4.5.5.6.4. Entorno de trabajo**

Para el desarrollo de las aplicaciones de PC, "Gestor de visualización de precios" e "Intérprete de lectores" se empleó la versión de prueba de LabWindows/CVI, el cual es un entorno de desarrollo integrado ANSI C de National Instruments que incluye herramientas de ingeniería con bibliotecas integradas para análisis y diseño de UI (interfaces de usuario). El mismo posee como principal ventaja la facilidad de conexión con hardware con distintas interfaces (RS-232, GPIB, TCP, UDP, USB, Ethernet, etc.), lo que agiliza la implementación de nuevos protocolos de comunicación para futuros diseños de lectores. Gracias a sus características, permite que el usuario:

- Desarrolle, depure y administre grandes aplicaciones.
- Cree aplicaciones profesionales y portátiles.
- Finalice proyectos de desarrollo en menos tiempo.
- Facilite el proceso de depuración.
- Se conecte a una amplia variedad de instrumentos y FPGAs.
- Simplifique la adquisición de datos con herramientas para generación de código.
- Use potentes algoritmos y funciones.
- Presente datos en un formato intuitivo e impactante.
- Cree una GUI (interfaces de usuario gráfica) profesional.

Enlace de descarga: <http://www.ni.com/lwcv/download/>

#### **4.5.5.6.5. Descripción de la aplicación principal.**

Al ejecutar la aplicación, se accede a la pantalla principal, figura N°4.77, donde están disponibles los distintos módulos para ser accedidos:

- Recursos humanos;
- Finanzas;
- Proveedores;
- Productos;
- Producción;
- Distribución y logística
- Clientes;

- Suministros;
- Ventas.

Tal como se comentó previamente sólo se implementó la funcionalidad del módulo “Administración de stock”, bajo el nombre “Productos”.



Figura N°4.77. Pantalla principal.

La primera vez que se ejecuta la aplicación en una computadora, para configurarla, es necesario cargar los datos del servidor MySQL al que se quiere conectar. Esto se logra ingresando en “Sistema → Configuración”. El programa nos llevará a la pantalla de configuración del servidor MySQL, figura N°4.78.

Desde esta pantalla, el usuario podrá:

- Configurar la dirección IP del servidor MySQL
- Configurar el nombre de usuario del servidor MySQL.
- Configurar la contraseña del usuario del servidor MySQL
- Ver la versión de la librería MySQL que está utilizando la aplicación.
- Crear y borrar la base de datos de productos y sucursales.

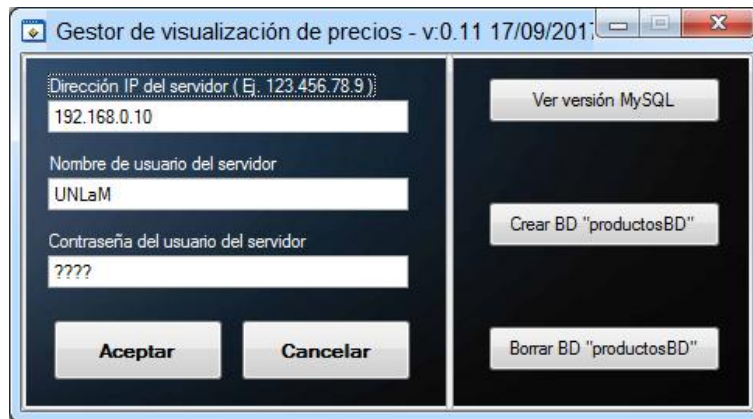


Figura N°4.78. Pantalla de configuración de servidor MySQL.

Luego de instalar el servidor MySQL, es necesario crear la base de datos de productos y sucursales desde cualquier aplicación principal, para comenzar a utilizar el sistema.

En la figura N°4.79 podemos ver la interfaz gráfica del módulo "Productos". Desde esta pantalla, podremos:

- Ver la base de datos de los productos en general;
- Dar de alta productos en general;
- Modificar productos en general;
- Dar de baja productos en general;
- Dar de alta productos en sucursales;
- Modificar productos en sucursales;
- Dar de baja productos en sucursales;

Al dar de alta productos en general, para que luego puedan ser comercializados en cualquier sucursal, tendremos que ingresar el ID del producto, una descripción y el precio sugerido para la venta. Para dar de alta productos en una sucursal, tendremos que ingresar el ID del producto, número de sucursal, precio de venta, y cantidad disponible en stock.

En caso de querer modificar un producto en general, o en sucursal, basta con buscarlo por el ID de producto y N° de sucursal, en caso de corresponder, realizar la modificación necesaria y presionar "Modificación".

Para dar de baja un producto en general, o en una sucursal, solamente debemos ingresar el ID de producto y N° de sucursal, en caso de corresponder, y presionar "baja".

#### 4.5.5.6.6. Descripción de la aplicación secundaria, "Intérprete de lectores"

En esta aplicación, que debe ejecutarse automáticamente cada vez que se inicie el sistema operativo, hay que configurar los siguientes campos:

- Dirección IP del servidor MySQL.
- Nombre de usuario del servidor MySQL.
- Contraseña del usuario del servidor MySQL.
- Puerto TCP de conexión para lectores.

La figura N°4.80 presenta la interfaz gráfica de la aplicación secundaria. Una vez configurados los parámetros de las comunicaciones, es necesario presionar el botón "Actualizar configuración", y

dicha información será almacenada y se utilizará siempre que se ejecute la aplicación. Instantáneamente, luego de presionar botón "Actualizar configuración", la aplicación tratará de conectarse con el servidor MySQL, y tratará de abrir el puerto TCP para la comunicación con los lectores.

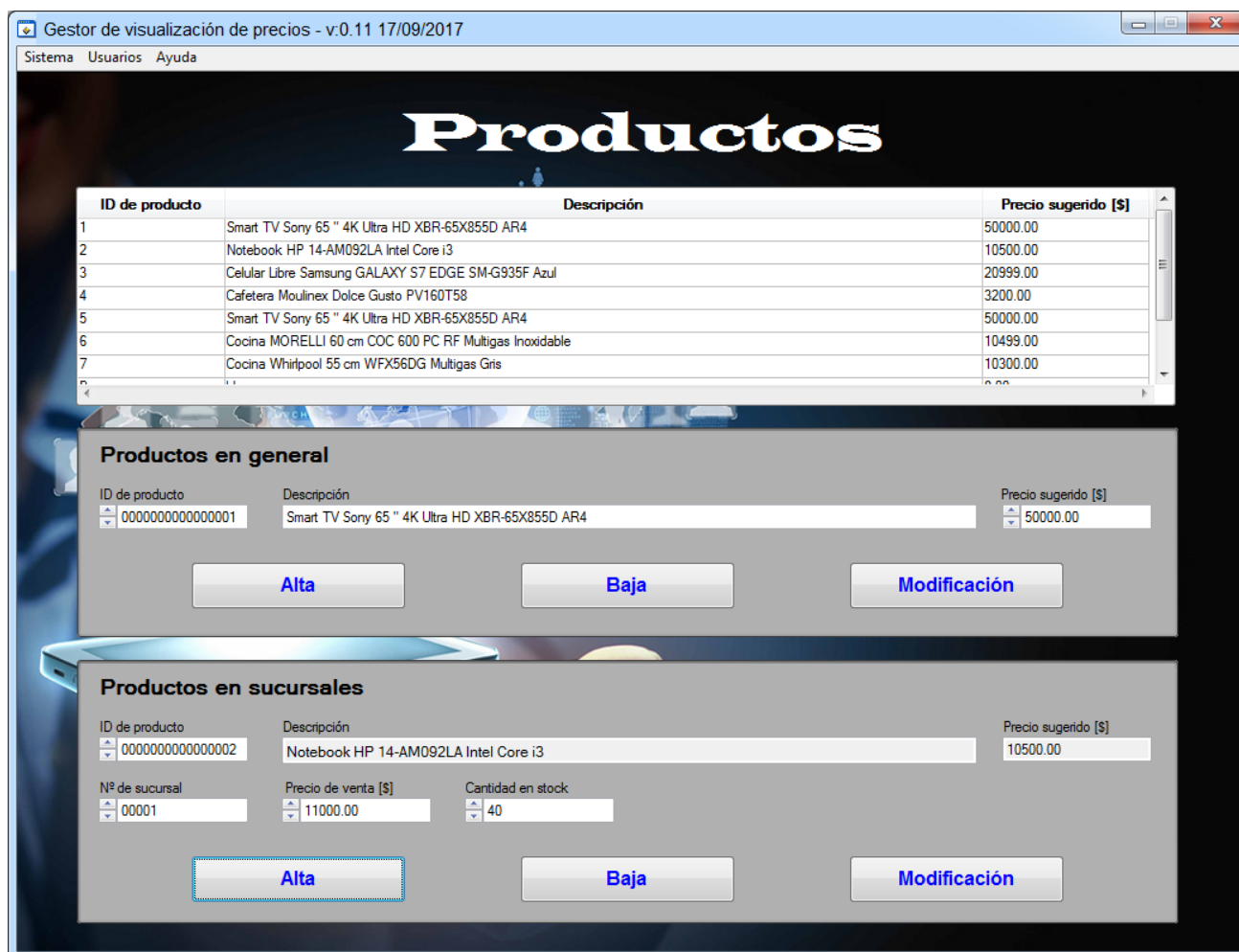
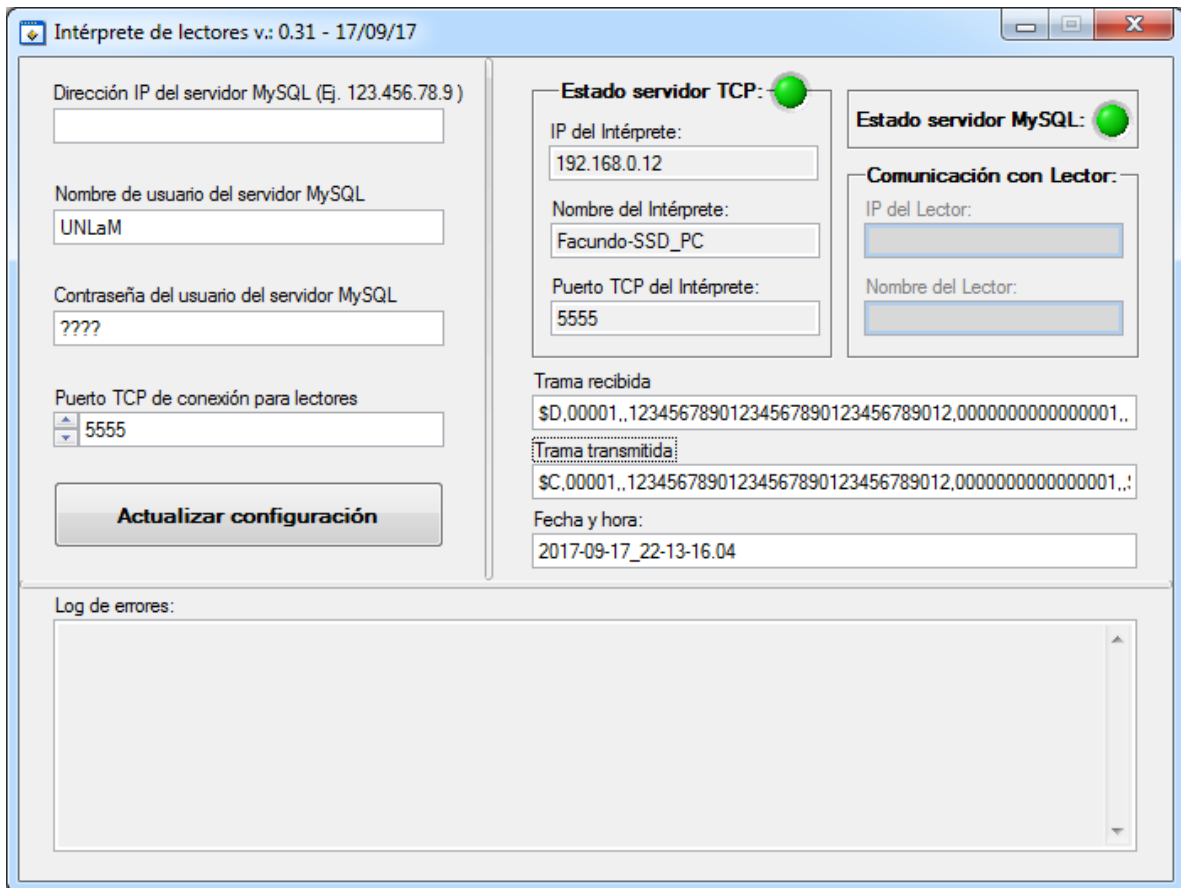


Figura N°4.79. Módulo Productos.

Si estas tareas se completan exitosamente, la aplicación lo indicará con un LED verde en el cuadro de estado correspondiente. En caso que alguna de estas tareas no se complete satisfactoriamente, será indicado con un LED rojo y guardará el detalle del error en el cuadro "Log de errores" y también en un archivo. En el caso de una conexión fallida, al cabo de un cierto tiempo la aplicación tratará de establecer la conexión nuevamente.

En el campo "Trama recibida" se indica la trama que fue transmitida por el último lector que envió una consulta, y en "Trama transmitida" se indica la respuesta que envió la aplicación Interprete de lectores, junto con la hora de la comunicación. Esta respuesta consta, principalmente, de la descripción y precio de venta del producto consultado, junto con un CRC, según se lo definió en el protocolo de comunicación. En la figura N°4.80 se puede observar los resultados de una de las pruebas realizadas, dónde se indica la trama que recibió la aplicación secundaria, y la respuesta que esta transmitió, con la información de la base de datos, cumpliendo con el protocolo establecido.



La figura N°4.80. Interfaz gráfica de la aplicación secundaria.

#### 4.5.5.7. Conclusiones.

El desarrollo realizado logra ejemplificar de modo sencillo el uso de la tecnología asociada a los sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados, y el uso de dispositivos RFID/NFC para este tipo de aplicaciones. La Figura N°4.81 muestra el sistema funcionando durante la Expoproyecto 2017 desarrollada en la Universidad Nacional de la Matanza.

No obstante haber sido tenidas en cuenta cuestiones de seguridad en la comunicación inalámbrica, el modulo ATSAMW25 posee el circuito integrado de criptoautenticación ATECC508, el cual a futuro permitiría mejorar la seguridad.

Si bien, como se planteó previamente, el sistema se realizó en simultáneo con las otras tareas por lo que se usaron tags comerciales, y no los diseñados e impresos por nosotros, se evaluó el sistema con tags pertenecientes al kit de desarrollo de chip seleccionado, NT3H2111 [113].





Figura N°4.81. Sistema de visualización de precios.

## 4.6. Instrumentos de Recolección y Medición de Datos

Como parte de los alcances detallados en la sección 3.7 se planteó el diseño y la implementación de un “Banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance”. En función de la aplicación planteada, tanto para el diseño de las antenas así como los procedimientos de testeos que deben ser realizados, las normas a utilizar son las que se refieren a “Tarjetas inteligentes sin contacto”, con distancia de lectura entre 1 cm y 10cm. Estas normas son la ISO/IEC 14443 y la ISO/IEC 10373.

La norma ISO/IEC 10373, detalla los elementos para realizar los ensayos así como el procedimiento a efectuar, y hace referencia a distintos valores detallados en la ISO/IEC 14443. Mientras que las distintas normas ISO/IEC 14443 presentan diferentes aspectos sobre los tags, características físicas, potencia de radio frecuencia e interfaz de señal, inicialización y anticolidión y protocolo de transmisión.

La información presentada en el informe de avance no fue extraída de las últimas versiones de las normas, ya que durante el transcurso del estudio aparecieron nuevas versiones, las cuales al momento del informe se encontraban en tratativas de adquisición. La misma fue adquirida y a continuación se detallan los aspectos antes detallados así como el trabajo realizado.

### 4.6.1. Diseño del Banco de pruebas

Para efectuar el desarrollo y construcción del Banco de pruebas nos basaremos en el uso de la Norma ISO/IEC 10373-6:2016. Dicha norma no solo expone los procedimientos a desarrollar para cada ensayo, sino que también se detalla el instrumental y la composición del Banco de Pruebas necesario. Por otro lado, para realizar los ensayos, deberemos recurrir a las normas ISO/IEC 14443 en donde se encuentran detallados los parámetros de ensayo, funcionamiento y respuesta de las Tarjetas bajo prueba.

Inicialmente introduciremos dos términos los cuales se utilizarán con gran frecuencia:

- **PCD:** Definiremos como PCD al equipo capaz de leer o escribir sobre tarjetas de acoplamiento por campo cercano.
- **PICC:** Definiremos como PICC a las tarjetas de identificación cuyo funcionamiento se encuentra basado en el acoplamiento por campo cercano.

A continuación, listaremos los elementos necesarios que se encuentran definidos en la norma ISO/IEC 10373 los cuales compondrán nuestro Banco de pruebas. En este apartado definiremos los equipos de testeo y los circuitos para verificar el funcionamiento de un PICC o un PCD de acuerdo a la norma ISO/IEC 14443-2. Para realizar los ensayos, necesitaremos de los siguientes elementos:

- Banco de pruebas;
- Bobina de Calibración;
- PICCs de referencia;
- Osciloscopio de 500 millones de muestras por segundo, resolución de 8 bits, ancho de banda de 250 MHz;
- Generador de Señales Arbitrarias, frecuencia de trabajo 19 MHz.
- Multímetro Digital.

Una vez enumerados los elementos necesarios, en los siguientes apartados describiremos a cada uno de ellos.

## 4.6.2. Bancos de pruebas

La norma define dos Bancos de Pruebas. Cada uno de ellos se encuentra limitado al ensayo de PICCs de diferentes dimensiones/tipo:

- Banco de Prueba N° 1: PICCs Clase 1, Clase 2 y Clase 3;
- Banco de Prueba N° 2: PICCs Clase 4, Clase 5 y Clase 6.

En nuestro caso, solo nos abocaremos al ensayo de PICCs Clase 4, Clase 5 y Clase 6, dado que estos son los de menor tamaño, por lo cual, solo hemos desarrollado el Banco de Pruebas N° 2. Tal como se vio en la sección 4.5.4, las dimensiones de una antena clase 4 son de 50x27 mm mientras que una antena clase 6 son de 25x20mm.

El Banco de Pruebas N° 2 se encuentra compuesto por las siguientes partes:

- Bobina de Calibración N° 2;
- Bobina de Sensado N° 2, descritas en la norma como Bobina de Sensado N° 2a y Bobina de Sensado N° 2b. Ambas bobinas poseen las mismas dimensiones y características;
- Antena PCD N° 2.

Finalmente, la norma define los PICCs de Referencia. Estos serán utilizados para evaluar el funcionamiento de los Lectores de Tarjetas y para evaluar el efecto producido por la aplicación de carga sobre una Tarjeta.

La norma describe 6 PICCs de Referencia en función de sus dimensiones físicas de las Tarjetas a evaluar. Según la norma de ensayos, cada ensayo realizado sobre un Lector de Tarjetas debe efectuarse utilizando los PICCs de Referencia 1, 2 y 3 y opcionalmente otros PICCs de Referencia según los tipos de Tarjetas soportadas por el Lector ensayado. De lo anterior se desprende que de los 6 PICCs de Referencia, deberemos disponer mínimamente de los PICCs 1, 2, y 3 y adicionalmente de los 4, 5 y 6 si es que el lector bajo ensayo se encuentra capacitado para la lectura de los mismos. En nuestro caso, solo nos dedicaremos al ensayo de Tarjetas, descartando el ensayo de Lectores. Por otro lado, dado que nos especializaremos en el desarrollo de las tarjetas de menores dimensiones, solo desarrollaremos los PICCs de Referencia 4, 5 y 6.

A continuación se listan los diseños realizados con la finalidad de ensayar Tarjetas Clase 4, 5 y 6:

- Diseño N° 1: Bobina de Calibración N° 2. Cantidad: 1 unidad;
- Diseño N° 2: Bobina de Sensado N° 2, descritas en la norma como Bobina de Sensado N° 2a y Bobina de Sensado N° 2b. Ambas bobinas poseen las mismas dimensiones y características. Cantidad: 2 unidades;
- Diseño N° 3: Antena PCD N° 2. Cantidad: 1 unidad.
- Diseño N° 4: Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Prueba N° 2. Cantidad: 1 unidad.
- Diseño N° 5: PICC de Referencia N° 4. Cantidad: 1 unidad;
- Diseño N° 6: PICC de Referencia N° 5. Cantidad: 1 unidad;
- Diseño N° 7: PICC de Referencia N° 6. Cantidad: 1 unidad;

### 4.6.2.1. Bobina de Calibración N° 2

#### 4.6.2.1.1. Función

Durante los procesos de ensayos será necesario excitar a las Tarjetas/PICC con un campo magnético el cual poseerá un valor de intensidad de campo determinado por la norma ISO/IEC 14443-1: 2016 (4.4). Debemos disponer de algún medio capaz de cuantificar el valor de la

intensidad de campo de ensayo, aquí es donde comenzaremos a utilizar la Bobina de Calibración la cual nos ofrece una forma útil y sencilla para conocer el valor del campo. Midiendo en sus bornes de conexionando la tensión inducida con un Osciloscopio, podremos medir de forma indirecta el valor de la Intensidad de Campo Magnético inyectado con un Generador de Funciones Arbitrarias a través de la Antena PCD de nuestro Banco de Pruebas.

#### 4.6.2.1.2. Construcción

La Bobina de Calibración que integrara el Banco de Pruebas N° 2 consiste en una placa de simple cuyas dimensiones son de 85,60 x 53,98 mm según lo especifica la norma ISO/IEC 7810. La Bobina de Calibración contiene una espira concéntrica con su formato establecido en la norma anteriormente mencionada.

La Bobina de Calibración se encuentra compuesta por solo una espira de cobre con dimensiones cuya tolerancia se encuentra en el orden de  $\pm 2\%$ .

Espira de la Bobina de Calibración N° 2:

- Dimensiones: 46 [mm] x 24 [mm], radios de las esquinas de 2 [mm];
- Área encerrada por la espira: aproximadamente 1100 [mm<sup>2</sup>].
- A 13,56 [MHz] posee una inductancia aproximada de 140 [nHy] y una resistencia aproximada de 0,3 [ $\Omega$ ].
- A circuito abierto, la Bobina de Calibración N° 2 deberá entregar un valor de tensión en sus bornes de 0,118 [V] (rms) cuando esta es excitada con un campo magnético cuya intensidad es de 1 [A/m] (rms) (valor equivalente a 333 [mV] (pico a pico) por [A/m] (rms)).

La bobina de calibración, según se detalla en la norma, ha sido construida utilizando material FR4 con un espesor de 0,76 mm +/-10%, con 35 [um] de espesor de la capa del cobre. La pista de cobre que compone a la Bobina de Calibración posee un espesor de 500 [um] con una tolerancia relativa de  $\pm 20\%$ .

La medición de la tensión inducida sobre la Bobina de Calibración se efectúa haciendo uso de una Punta de Prueba de Osciloscopio que posea una capacidad paralela  $C_p < 14$  [pF] y una resistencia paralela  $R_p > 9$  [k $\Omega$ ].

Las figuras N°4.82, 4.83 y 4.84 presentan el esquemático de la bobina de calibración, el diseño del circuito impreso y el impreso propiamente dicho respectivamente.

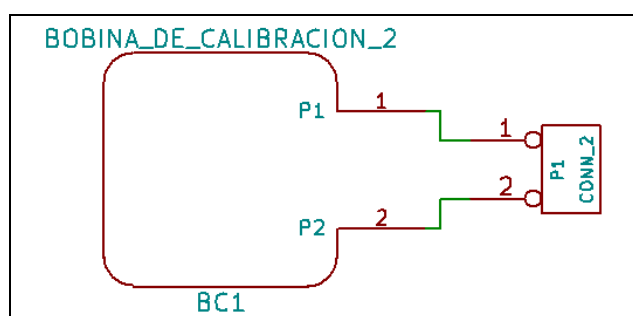


Figura N°4.82. Esquemático Bobina de Calibración N° 2

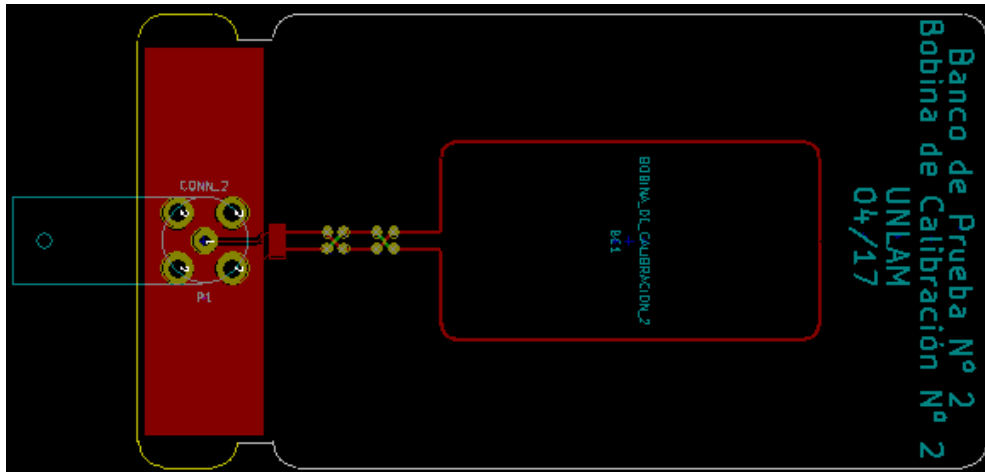


Figura N°4.83. PCB Bobina de Calibración N° 2

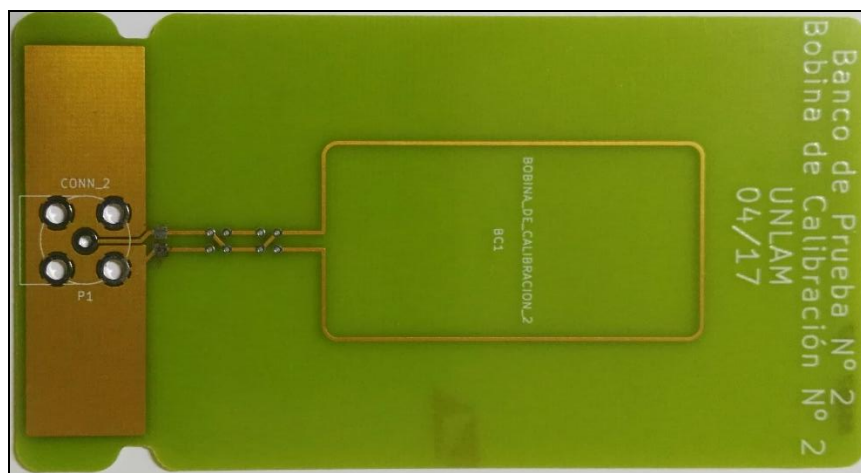


Figura N°4.84. Impreso Bobina de Calibración N° 2.

#### 4.6.2.2. Bobinas de Sensado N° 2

##### 4.6.2.2.1. Función

Las Bobinas de Sensado N°2a y 2b serán utilizadas para medir la respuesta de las Tarjetas/PICCs durante los ensayos realizados. La interconexión de las Bobinas de Sensado se realizará haciendo uso de la placa **Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Prueba**. Una vez conectadas las Bobinas de Sensado, haciendo uso de un Osciloscopio, podremos obtener el resultado de los ensayos realizados a las mismas, es decir, las Bobinas de Sensado se utilizarán para medir la respuesta de las Tarjetas/PICCs ante la excitación de un valor determinado de Intensidad de Campo Magnético, constituyéndose la imagen del Osciloscopio en el resultado del ensayo realizado.

##### 4.6.2.2.2. Construcción

Según se especifica en la Norma ISO/IEC 10373-6:2016, la fabricación de las Bobinas de Sensado se ha realizado utilizando material tipo FR4, espesor de 1,6 [mm]. De igual forma, el espesor de las pistas de cobre del sustrato utilizado ha sido de 35 [um].

En cuanto a las dimensiones constructivas de la pieza de material FR4, las Bobinas de Sensado que integran al Banco de Pruebas N° 2 poseen idénticas dimensiones, siendo estas de 170 [mm] x 170 [mm].

En cuanto al diseño del trazado, el ancho de las pistas de cobre utilizadas ha sido de 0,5 [mm] con una tolerancia relativa de  $\pm 20\%$  según lo especifica la norma mencionada, mientras que la espira de cobre se encontrará construida por un rectángulo de 60 [mm] x 47 [mm] con radios de las esquinas de 10 [mm].

Las figuras N°4.85, 4.86 y 4.87 presentan el esquemático de las bobinas de sensado, el diseño del circuito impreso y el impreso propiamente dicho respectivamente.

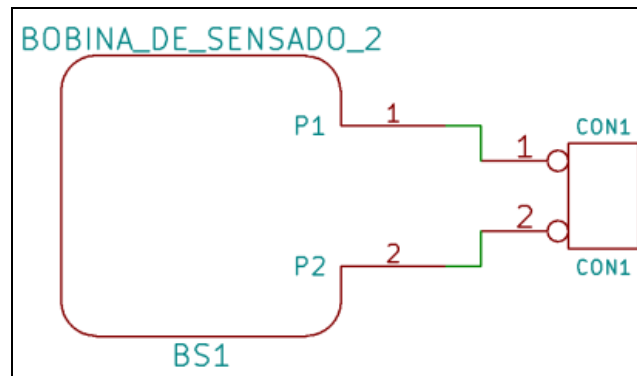


Figura N|4.85. Esquemático Bobinas de Sensado N°2a y 2b.

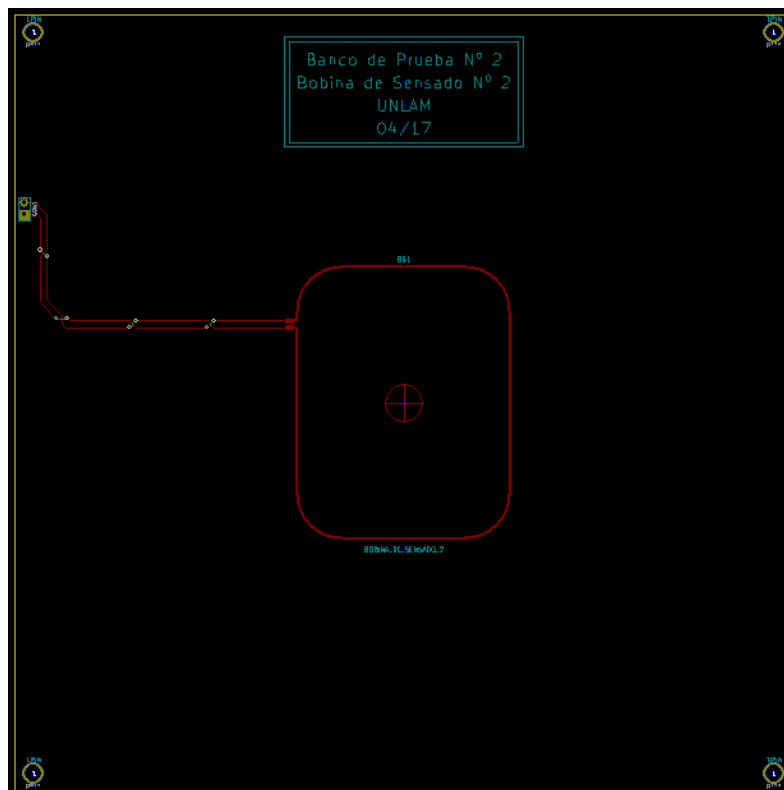


Figura N°4.86. PCB Bobinas de Sensado N° 2a y 2b - Imagen Capa TOP



Figura N°4.87. Impreso Bobina de Sensado N° 2a y 2b - Imagen Capa TOP

### 4.6.2.3. Antena PCD N° 2

#### 4.6.2.3.1. Función

La Antena PCD N° 2 se constituye como el medio mediante el cual se excitará a las Tarjetas/PICCs bajo ensayo. Haciendo uso de un Generador de Funciones Arbitrarias, alimentaremos a la Antena PCD N° 2 que integra al Banco de Pruebas N° 2. La cual irradiará un campo magnético encargado de energizar las Tarjetas/PICCs durante las pruebas de funcionamiento.

#### 4.6.2.3.2. Construcción

La Antena PCD, según se detalla en la Norma ISO/IEC 10373-6:2016, posee las mismas dimensiones que las Bobinas de Calibración, estas serán de 170 x 170 mm, material FR4, espesor de 1,6 mm, espesor de cobre de 35  $\mu\text{m}$ . El Ancho de pista utilizada para trazar la bobina de la Antena PCD será de 1,8 [mm].

Como se mencionó anteriormente, la Antena PCD N° 2 se alimentará haciendo uso de un Generador de Funciones Arbitrarias. Dicho generador posee un impedancia de entrada de 50  $[\Omega]$ , por lo cual, con el fin de conseguir la máxima transferencia de potencia posible desde el Generador hacia la Antena, la impedancia de entrada de la Antena se deberá adaptar a la impedancia de salida del generador. La figura N°4.88 muestra el circuito de adaptación de impedancia de la Antena PCD N° 2 y los componentes que la integran según la Norma ISO/IEC 10373-6:2016.

La tabla N°4.15 detalla los componentes de la red de adaptación de impedancias. Adicionalmente se dispuso de los conectores detallados en la Tabla N°4.16. Las figuras N° 4.89 a y b presentan el diseño del circuito impreso, mientras que las figuras 4.90 a y b los impresos.

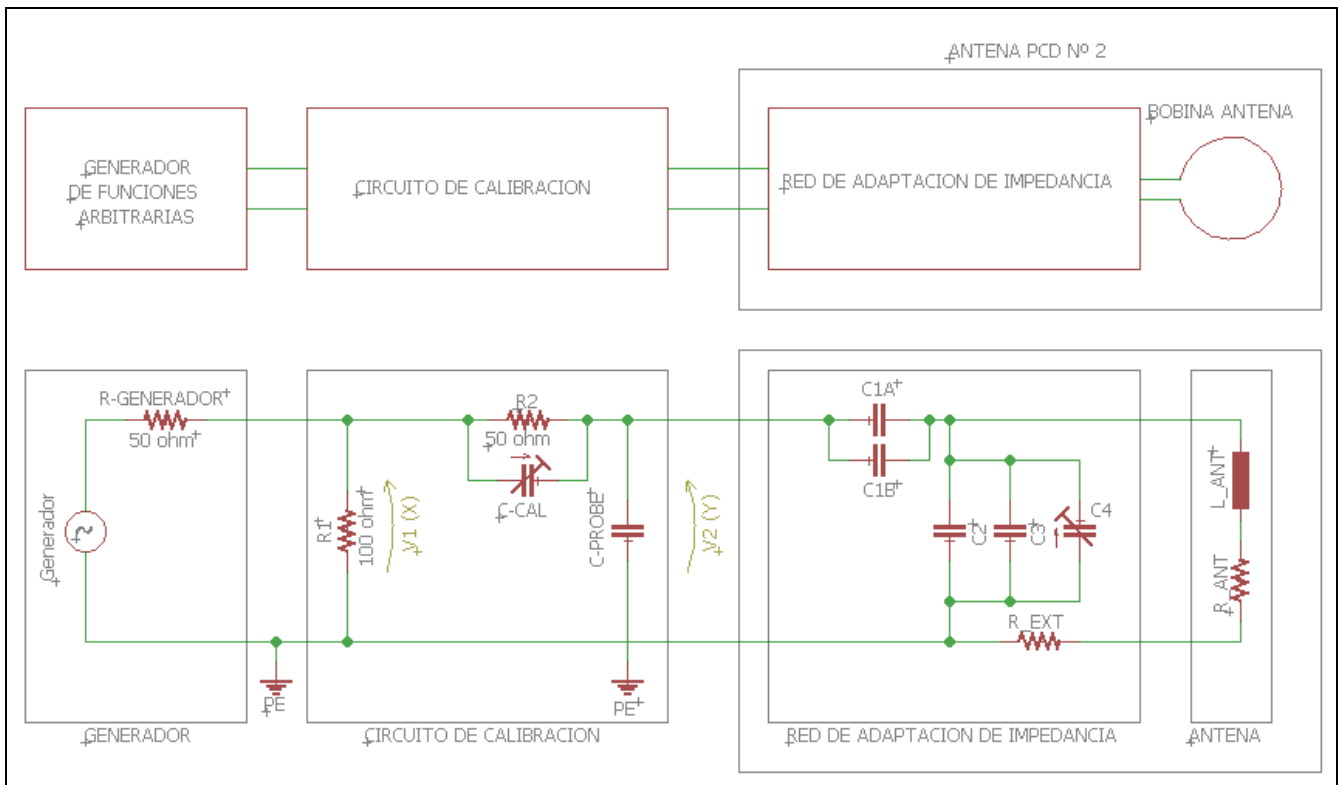


Figura N°4.88. Red de Adaptación de Impedancia Antena PCD N°2.

Tabla N°4.15. Componentes que integran la red de adaptación de impedancias

Referencia	Cantidad	Descripción	Características
C1A	1	100 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C1B	1	12 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C2	1	270 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C3	1	18 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C4	1	2 a 27 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
R_EXT1, R_EXT2, R_EXT3, R_EXT4	4	2,7 [Ω], 5 [W]	Rango de potencia 5 [W]

**NOTA 1:** R\_EXT se encuentra construida por el paralelo de la serie de dos resistencias de 2,7 [Ω], 5 [W] consiguiendo de esta forma una resistencia resultante de 2,7 [Ω], 20 [W].

Tabla N°4.16. Conectores adicionales.

Referencia	Cantidad	Descripción
C4	1	Conector BNC Hembra
R_EXT1, R_EXT2,	4	Bornera de Encastre Macho a 90°, 2 Vías, 12 A



R_EXT3, R_EXT4		
R_EXT1, R_EXT2, R_EXT3, R_EXT4	4	Bornera de Encastre Hembra, 2 Vías, 12 A

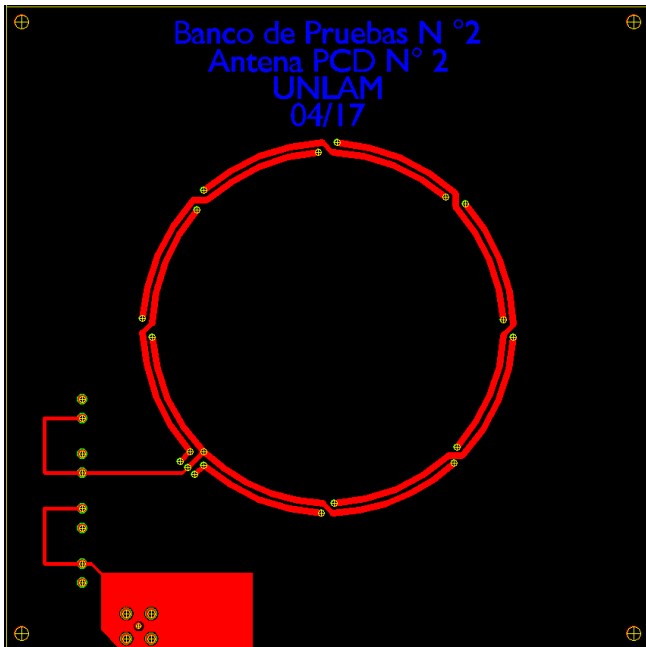


Figura N°4.89a. Antena PCD N° 2 incluyendo la red de adaptación de impedancia. TOP

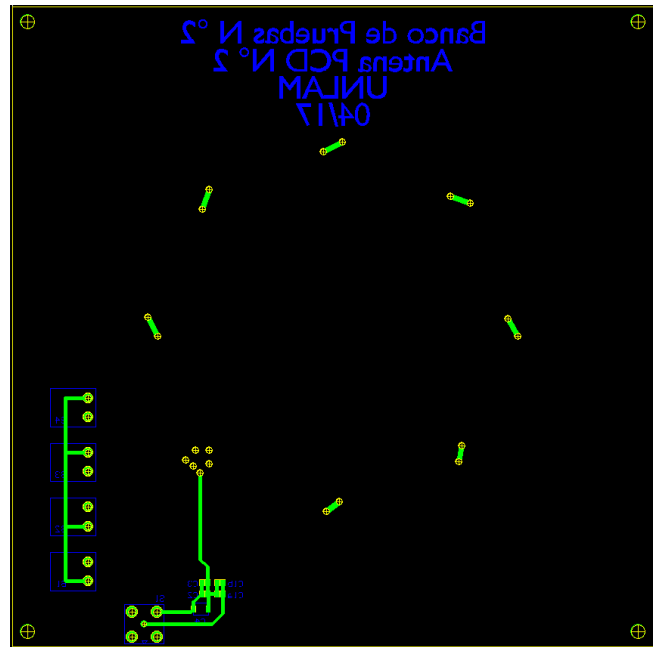


Figura N°4.89b. Antena PCD N° 2 incluyendo la red de adaptación de impedancia. BOTTOM

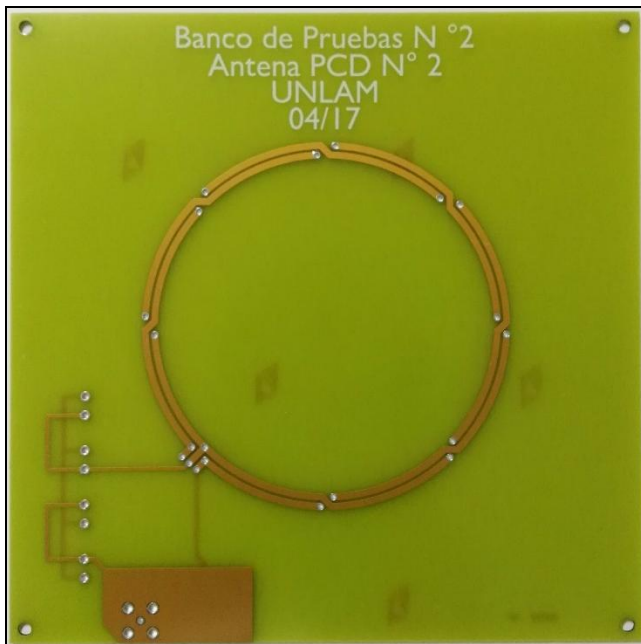


Figura N°4.90a. PCB Antena PCD N° 2 incluyendo la red de adaptación de impedancia. TOP

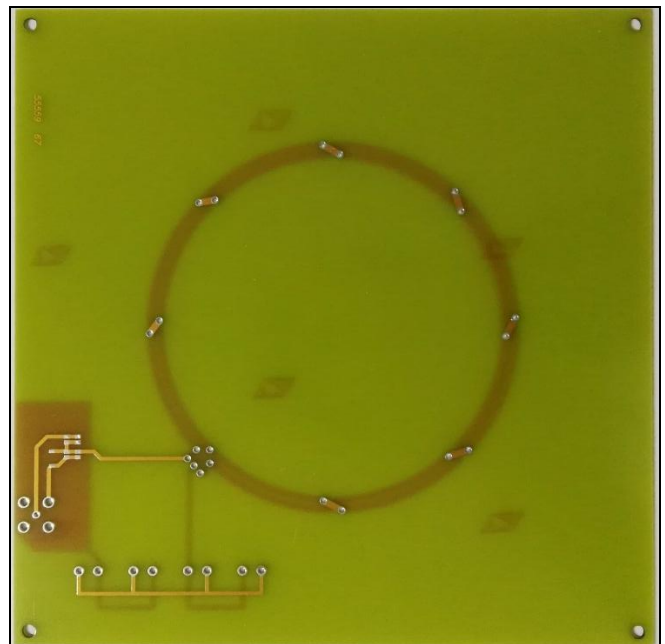


Figura N°4.90b. PCB Antena PCD N° 2 incluyendo la red de adaptación de impedancia. BOTTOM

#### 4.6.2.4. Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Pruebas N° 2

##### 4.6.2.4.1. Función

Según se encuentra especificado en la Norma ISO/IEC 10373-6:2016, la conexión entre las Bobinas de Sensado debe efectuarse mediante pares trenzados o cable coaxial. Por otro lado, la norma anterior especifica una distancia máxima de 100 [mm] de cada uno de los cables de conexionado. De esta forma, para cumplir con los requerimientos de la normativa, se dispone de la Placa de Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Pruebas N° 2, la cual minimiza las distancias de conexión entre las Bobinas de Sensado evitando efectos parásitos que distorsionen las mediciones efectuadas.

##### 4.6.2.4.2. Construcción

El circuito utilizado para realizar la conexión entre las Bobinas de Sensado se realizará mediante un circuito impreso construido en material FR4, espesor de 1,6 mm, espesor de cobre de 35  $\mu$ m.

Los componentes empleados para La Placa de Conexión se detallan en la tabla N°4.17. La figura N°4.91 presenta el esquemático de dicha placa y la figura N°4.92 el diseño del circuito impreso.

Tabla N°4.17. Componentes de La Placa de Conexión.

Ref.	Cantidad	Descripción
R1, R2, R3, R4	4	Res. 240 ohm 1/2 W, de Metal Film, Tolerancia $\pm 1\%$
RV1	1	Potenciómetro Multivuelatas (10 vueltas o más) de 10 [ $\Omega$ ]
CON1, CON2	1	Conector 1x40, 0,1" (2,54 mm), Hembra, Recto
CON3	1	Tira de Pines 1x40, 0,1" (2,54 mm), Macho, Recto

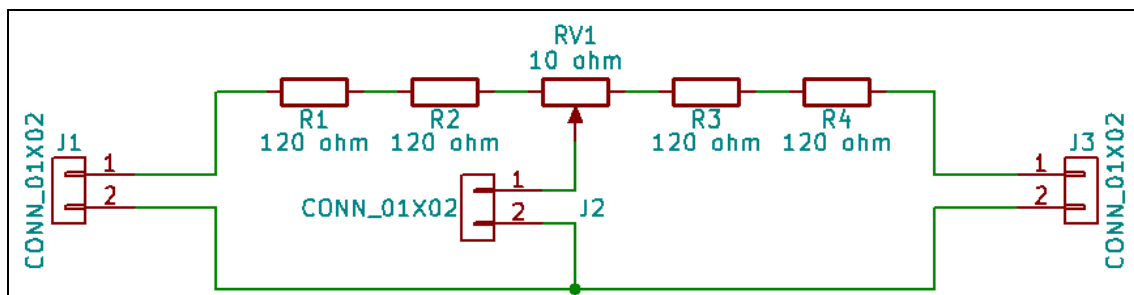


Figura N°4.91. Esquemático Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Pruebas N° 2

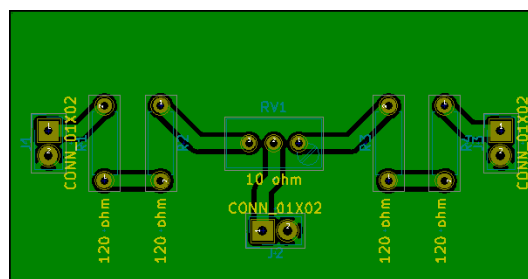


Figura N°4.92. PCB Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Pruebas N° 2

## 4.6.2.4. PICCs de Referencia

### 4.6.2.4.1. Función

Con la finalidad de realizar el ensayo de Máximo efecto de carga aplicado a una Tarjeta (parámetros especificados en la norma ISO/IEC 14443-2) se han desarrollado los PICCs de Referencia cuyo diseño se encuentra especificado en la norma ISO/IEC 10373-6:2016. La norma mencionada anteriormente detalla el diseño constructivo de seis modelos de PICCs de Referencia, en nuestro caso, dado que nos hemos enfocado en el ensayo de las Tarjetas de menores dimensiones, solo necesitamos construir los PICCs de Referencia N° 4, 5 y 6.

### 4.6.2.4.2. Construcción

En cuanto a las dimensiones físicas, los PICCs de Referencia poseen dimensiones aproximadas de 172 [mm] x 52 [mm], según lo determina la norma ISO/IEC 7810 para el tipo ID-1. Los mismos constan de una placa doble faz la cual posee montados los componentes electrónicos mencionados en la norma de ensayos IEC 10373-6:2016.

El material utilizado ha sido FR4 con un espesor de 0,76 mm y un espesor de la capa de cobre de 35 [µm].

Los PICCs de Referencia se encuentran compuestos por dos bobinas, una Bobina Principal y otra de Medición. La Bobina Principal se encuentra dibujada en la Capa BOTTOM del circuito impreso, y la Bobina de Medición en la Capa TOP. Adicionalmente, los PICCs de Referencia poseen montado el circuito electrónico de la figura N°4.93.

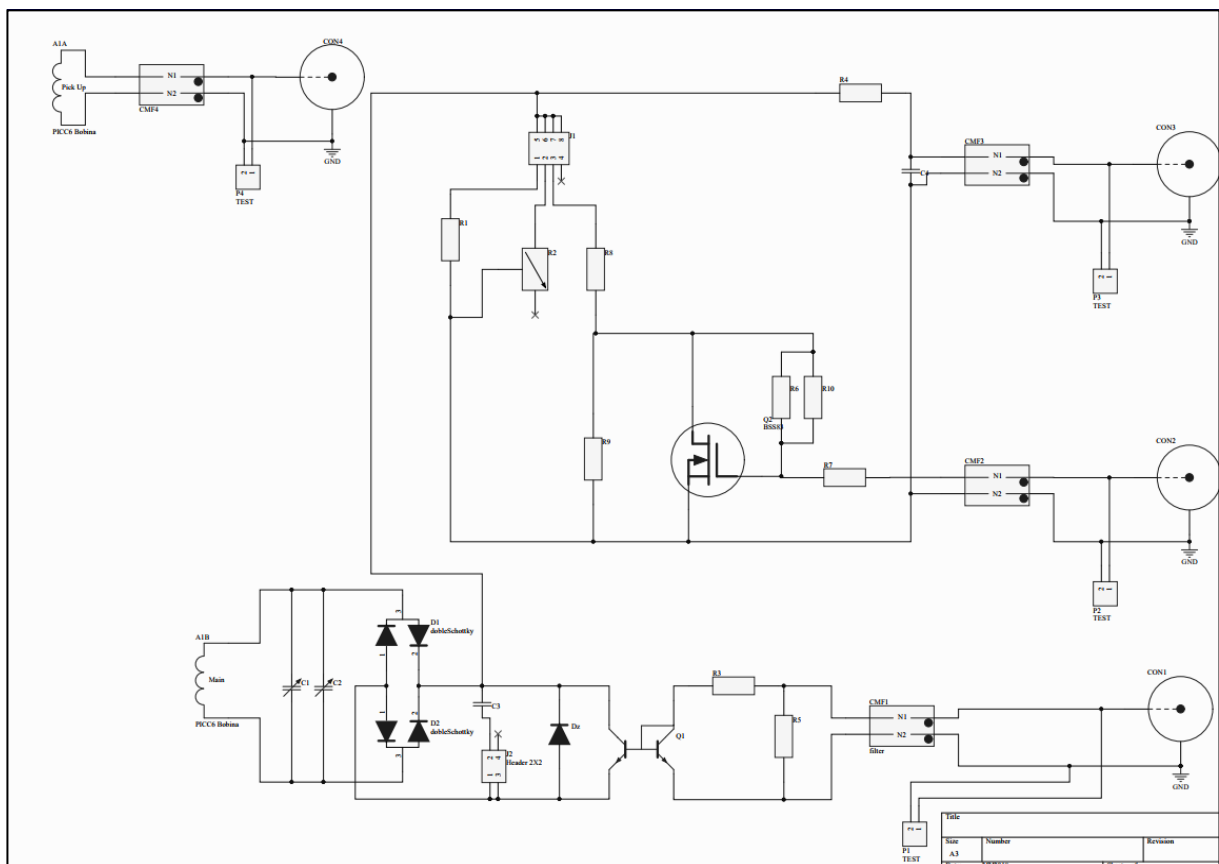


Figura N°4.93. Esquemático de los PICCs de Referencia

En la Tabla N°4.18, se listan los componentes electrónicos que componen a cada uno de los seis PICCs de Referencia citados en la norma ISO/IEC 10373-6:2016.

Tabla N°4.18. Componentes electrónicos que componen un PICC.

Ref.	Cantidad	Descripción
L1	1	Bobina Principal
L2	1	Bobina de Medición
R1	1	Resistencia 1,8 kΩ (0805)
R2	1	Potenciómetro Multivuelatas (10 vueltas o más) de 2 kΩ
R3	1	Resistencia 220 Ω (0805)
R4	1	Resistencia 51 kΩ (0805)
R5, R8	2	Resistencia 51 Ω (0805)
R6	1	Resistencia 500 kΩ (0805)
R7	1	Resistencia 110 kΩ (0805)
R9	1	Resistencia 1,5 kΩ (0805)
C1	1	Capacitor Variable 7 pF – 50 pF
C2	1	Capacitor Variable 3 pF - 10 pF
C3	1	Capacitor 27 pF (0603)
C4	1	Capacitor 1 nF (0603)
D1, D2, D3, D4	2	BAR43S, Doble Diodo Schottky (SOT23)
Dz	1	BZX84, Diodo Zener 15 V (SOT23)
Q1a, Q1b	1	BCV61A, Transistor NPN Dual (SOT143B)
Q2	1	BSS83, Mosfet Canal <b>(Ver Reemplazo)</b>
CMF1, CMF2, CMF3, CMF4	4	SRF0504-102Y, Filtro de Línea
CON1, CON2, CON3, CON4	4	Conector BNC Hembra
J1, J2	1	Mini Jumper
J1, J2	1	Tira de Pines 1x40, 0,1" (2,54 mm), Macho, Recto

Una vez definido el circuito que integra a cada uno de los 3 tipos de PICCs de Referencia, solo resta definir las características de diseño de la Bobina Principal y la Bobina de Medición, para ello se recurrió al Anexo D – PICCs de Referencia de la Norma ISO/IEC 10373-6:2016.

Las figuras 4.94 a 4.99 muestran las capas TOP y BOTTOM de los tres PICCs de Referencia desarrollados.

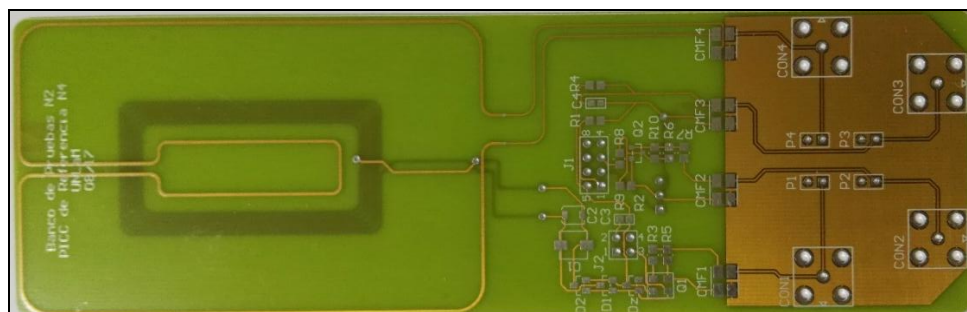


Figura N°4.94. PCB PICC de Referencia N° 6 – Capa TOP

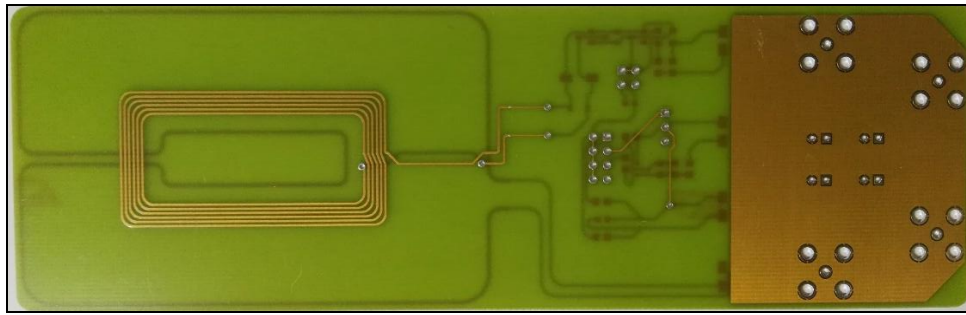


Figura N°4.95. PCB PICC de Referencia N° 6 – Capa BOTTOM

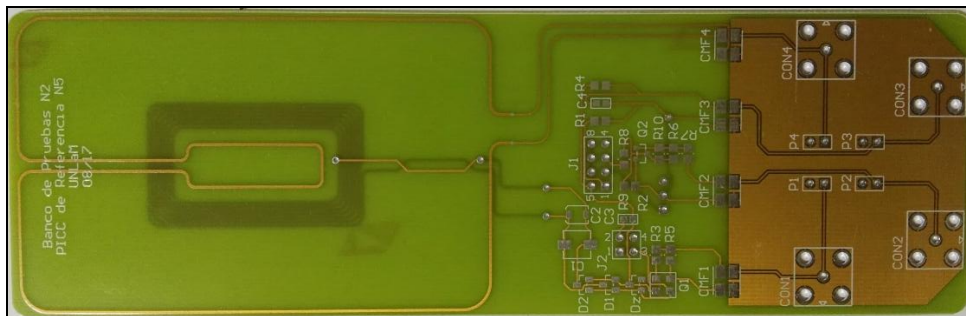


Figura N°4.96. PCB PICC de Referencia N° 5 – Capa TOP

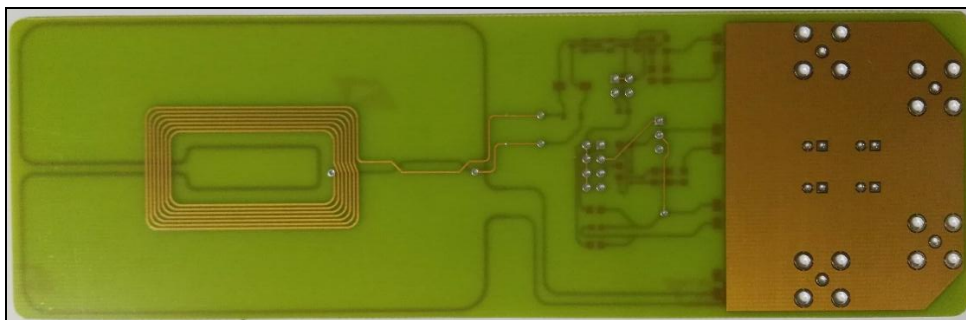


Figura N°4.97. PCB PICC de Referencia N° 5 – Capa BOTTOM

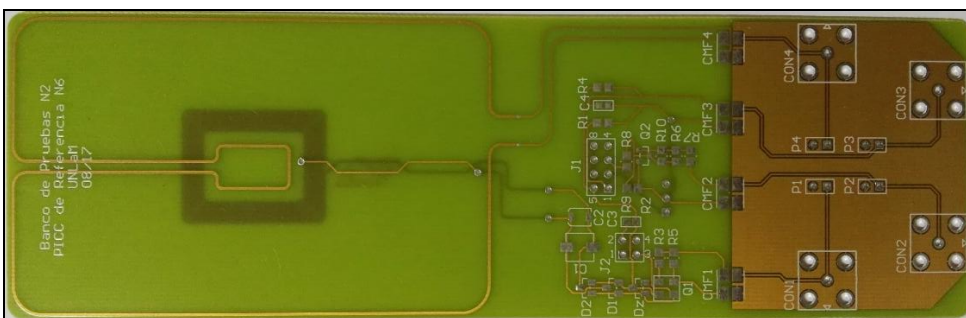


Figura N°4.98. PCB PICC de Referencia N° 4 – Capa TOP

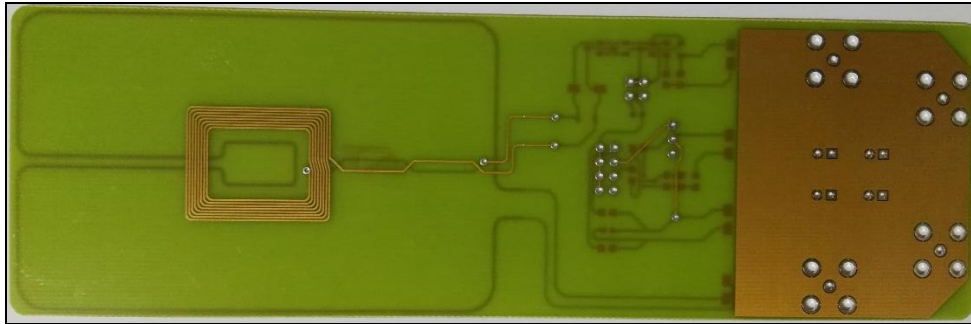


Figura N°4.99. PCB PICC de Referencia N° 4 – Capa BOTTOM

#### 4.6.2.5. Ensamble del Banco de Pruebas

Habiendo descrito cada una de las piezas que componen al Banco de Pruebas, procederemos al ensamblado de los mismos.

El Banco de Pruebas consiste en una Antena PCD y dos Bobinas de Sensado montadas de forma paralela. Las Bobinas de Sensado deben encontrarse conectadas tal que la señal proveniente de una de ellas se encuentre en fase opuesta a la restante. El potenciómetro de  $10 [\Omega]$ , que integra la placa de Conexión de Bobinas de Sensado, se utilizará para realizar un ajuste fino del punto de balance cuando las Bobinas de Sensado no se encuentren cargadas por ninguna Tarjeta/PICC u otro campo magnético acoplado. La figura N°4.100 muestra una imagen esquemática del montaje de los Bancos de Pruebas

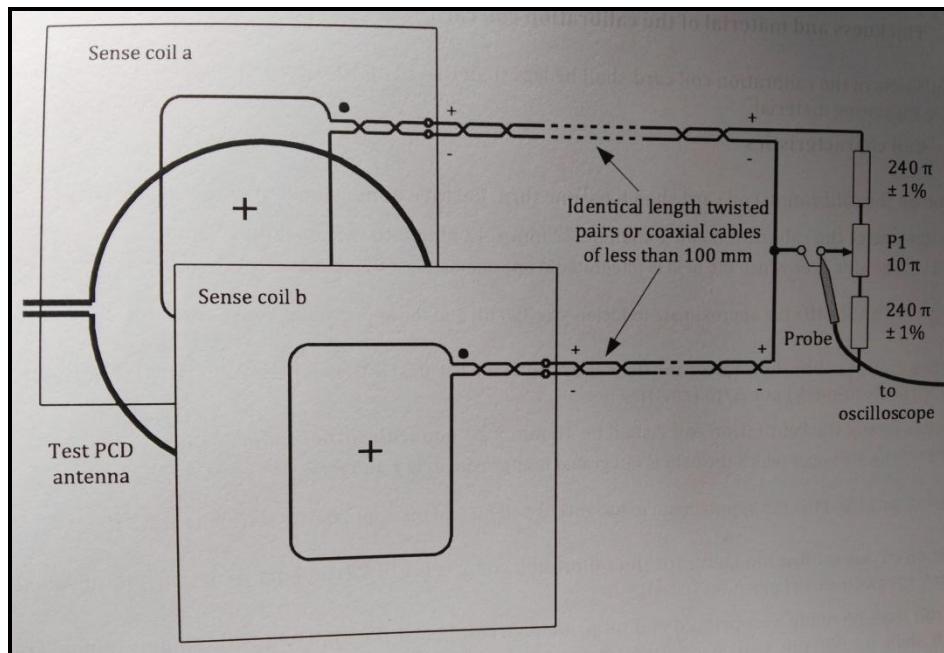


Figura N°4.100. Diagrama de Conexionado del Banco de Pruebas

Según se encuentra especificado en la norma ISO/IEC 10373-6:2016, la conexión entre las Bobinas de Sensado debe efectuarse mediante pares trenzados o cable coaxial, esto se puede observar en la imagen anterior. De esta forma, se dispone de la Placa de Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Prueba N° 2 la cual minimiza las distancias de conexión entre las Bobinas de Sensado evitando efectos parásitos que distorsionen las mediciones realizadas.

A continuación se detallan las piezas que integran a cada uno de los Bancos de Prueba y la metodología del montaje:

Banco de Prueba N° 2: Ensayo de PICCs Tipo 4, 5 y 6.

- Bobina de Calibración N° 2. Cantidad: 1 unidad;
- Bobina de Sensado N° 2, descritas en la norma como Bobina de Sensado N° 2a y Bobina de Sensado N° 2b. Ambas bobinas poseen las mismas dimensiones y características. Cantidad: 2 unidades;
- Antena PCD N° 2. Cantidad: 1 unidad.
- Conexión Bobinas de Sensado – Banco de Prueba N° 2. Cantidad: 1 unidad.

Las Bobinas de Calibración N° 2a y 2b deben encontrarse montadas de forma paralela con la Antena PCD, la distancia de separación entre cada una de estas placas debe ser de 23 [mm] con una tolerancia de  $\pm 0,5$  [mm].

La distancia existente entre la Antena de la Tarjeta/PICC ensayada y la Bobina de la Antena PCD debe ser idéntica a la distancia existente entre la Bobina de la Bobina de Calibración y la Bobina de la Antena PCD. Lo anterior se puede observar claramente en la figura N°4.101 en donde se observa una un espacio existente entre la cara activa de las Bobinas de Sensado b y las Bobinas de Calibración.

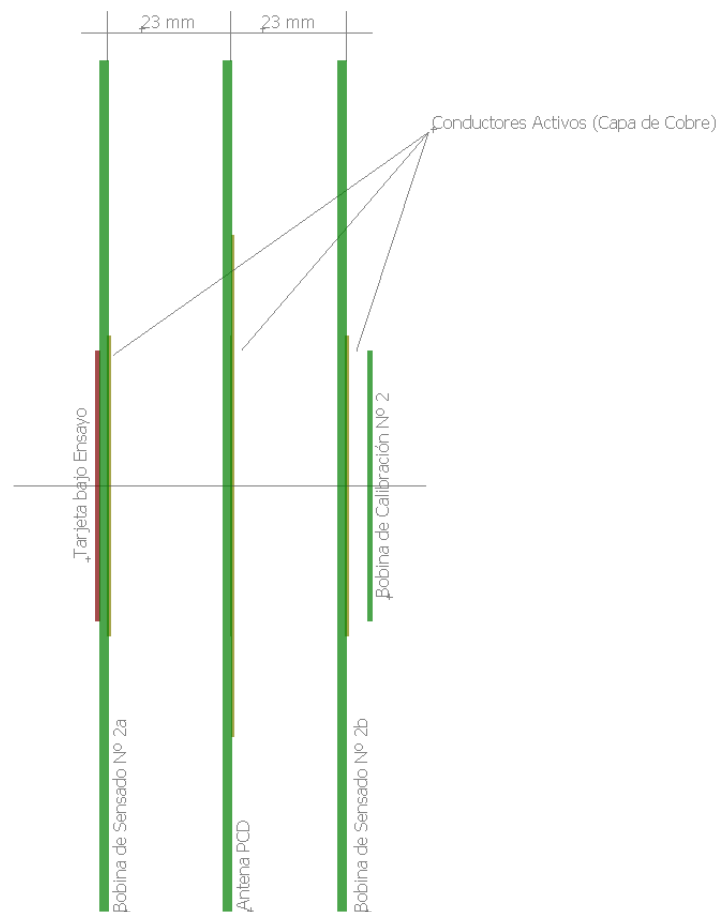


Figura 4.101. Diagrama de Montaje del Banco de Pruebas

En cuanto a los elementos de sujeción necesarios para efectuar el montaje, la norma no especifica el tipo de materiales a utilizar, aunque, con la finalidad de evitar distorsionar el campo magnético durante los ensayos, se recurrió al uso de elementos plásticos para evitar distorsiones en las señales. La figura N°4.102 presenta una imagen del banco montado.



Figura 4.102. Banco de Pruebas



### 4.6.3. Ensayo de Tarjetas

A continuación se detallan los ensayos que se busca realizar con el banco a fin de validar el diseño de las antenas realizadas.

#### 4.6.3.1. ISO/IEC 14443-1

##### 4.6.3.1.1. Exposición de una Tarjeta a un Campo Magnético Oscilante

###### 4.6.3.1.1.1. Objetivo del Ensayo

El objetivo del ensayo es verificar el comportamiento del PICC luego de ser expuesto a un campo magnético oscilante con una frecuencia de 13,56 [MHz].

###### 4.6.3.1.1.2. Banco de Pruebas e Instrumental

1. Banco de Pruebas N° 2;
2. Generador de Funciones Arbitrarias;
3. Osciloscopio Digital y Punta de Pruebas según se especifica la norma ISO/IEC 10373-6:2016;

###### 4.6.3.1.1.3. Procedimiento

- a. Inicialmente deberemos disponer del Generador de Funciones Arbitrarias el cual será conectado a la Antena PCD que integra al Banco de Pruebas. La señal de RF inyectada haciendo uso del Generador producirá un campo magnético irradiado por la Antena PCD. La intensidad de dicho campo se medirá haciendo uso de la Bobina de Calibración del Banco de Ensayos. El valor medio de la intensidad de campo magnético de ensayo se encuentra especificado en la norma ISO/IEC 14443-1:2016. Hacer uso del Osciloscopio para medir la tensión inducida sobre la Bobina de Calibración.

Para obtener el valor medio del campo magnético de ensayo deberemos tomar los valores máximos presentes en la tabla del apartado 4.6.3.1.1.5. Norma ISO/IEC 14443-2:2016 (6.2) y multiplicarlos por 4/3. Lo anterior ha resultado de la lectura del punto 4.4 de la norma ISO/IEC 14443-1:2016 y del punto 6.2 de la norma ISO/IEC 14443-2:2016, tabla 4.19.

Tabla N°4.19. Intensidades de campo magnético, valores medios resultantes de las normas ISO/IEC 14443-1:2016 (4.4) e ISO/IEC 14443-2:2016 (6.2).

PICC	H [A/m] (valor medio) = $4/3 * H_{MAX}$ [A/m] (rms)
PICCs Clase 1	10
PICCs Clase 2	11,33
PICCs Clase 3	11,33
PICCs Clase 4	16
PICCs Clase 5	18,67
PICCs Clase 6	24

- b. Luego de disponer del Banco de Ensayos en funcionamiento tal como se describió en el punto anterior, a continuación colocaremos la Tarjeta/PICC en la posición de testeo debiendo reajustar la señal de RF entregada por el Generador de Funciones Arbitrarias si fuese necesario.
- c. Luego de 5 minutos, remover el PICC de la posición de testeo por lo menos durante 5 segundos.

- d. En función de la Clase de PICC ensayado, reajustar la señal de RF entregada por el Generador de Funciones Arbitrarias a través de la Antena PCD. La señal del Generador debe ser ajustada para alcanzar el valor máximo de intensidad de campo magnético especificada en la norma ISO/IEC 14443-1:2016 (4.4). La medición de la intensidad de campo se realizará a midiendo la diferencia de potencial a la salida de la Bobina de Calibración.
- e. A continuación, colocar nuevamente el PICC en la posición de testeo y reajustar la señal entregada por el Generador de Funciones Arbitrarias para mantener el valor de la intensidad de campo magnético nominal si es que fuese necesario.
- f. Aplicar durante 5 minutos una modulación ASK 100% con la siguiente descripción de su ciclo de actividad:
  1. 5 segundos con un valor de 0 [A/m] (rms);
  2. 25 segundos al valor máximo de intensidad de campo magnético.

Para obtener los valores máximos del campo magnético de ensayo deberemos tomar los valores máximos presentes en la tabla del apartado 4.6.3.1.1.5. Norma ISO/IEC 14443-2:2016 (6.2) y multiplicarlos por 8/5. Lo anterior ha resultado de la lectura del punto 4.4 de la norma ISO/IEC 14443-1:2016 y del punto 6.2 de la norma ISO/IEC 14443-2:2016, tabla 4.20.

Tabla N°4.20. Intensidades de campo magnético, valores máximos resultantes de las normas ISO/IEC 14443-1:2016 (4.4) e ISO/IEC 14443-2:2016 (6.2).

PICC	H [A/m] (valor medio) = 8/5 * H <sub>MAX</sub> [A/m] (rms)
PICCs Clase 1	12
PICCs Clase 2	13,6
PICCs Clase 3	13,6
PICCs Clase 4	19,2
PICCs Clase 5	22,4
PICCs Clase 6	28,8

- g. Una vez finalizado el ensayo deberemos verificar que el PICC funciona correctamente sin presentar fallas originadas como consecuencia de la exposición al campo magnético máximo especificado en la norma ISO/IEC 14443-1.

#### 4.6.3.1.1.4. Norma ISO/IEC 14443-1:2016 (4.4)

Según la norma ISO/IEC 14443-1:2016, si el PICC cumple con los requerimientos de una clase en particular como se especifica en el “Anexo A” de la misma, entonces el PICC, sea de cualquier formato de acuerdo al punto 4.1 de dicha norma, este continuará funcionando de acuerdo a lo esperado luego de ser expuesto a un campo magnético de un valor medio de 4/3 de H<sub>MAX</sub> a 13,56 [MHz] como se especifica en la norma ISO/IEC 14443-2, 6.2 para esta clase de PICC. El tiempo promedio es de 30 segundos y el nivel máximo del campo magnético se encuentra limitado a 8/5 de H<sub>MAX</sub>”

#### 4.6.3.1.1.5. Norma ISO/IEC 14443-2:2016 (6.2)

La siguiente tabla corresponde al punto 6.2 de la norma ISO/IEC 14443-2:2016 donde se especifican los valores mínimos y máximos de las intensidades de campo magnético de ensayo para cada una de las 6 clases de PICC, tabla 4.21.

Tabla N°4.21. Intensidades mínimas y máximas de campo magnético de ensayo.

PICC	H <sub>MIN</sub> [A/m] (rms)	H <sub>MAX</sub> [A/m] (rms)
PICCs Clase 1	1,5	7,5
PICCs Clase 2	1,5	8,5
PICCs Clase 3	1,5	8,5
PICCs Clase 4	2,0	12
PICCs Clase 5	2,5	14
PICCs Clase 6	4,5	18

#### 4.6.3.1.1.6. Resultado del Ensayo

El resultado del ensayo nos indicará si el PICC funciona de acuerdo a lo esperado.

#### 4.6.3.1.1.7. Requerimientos

Para el desarrollo del ensayo mencionado resulta necesario disponer de los siguientes recursos:

- El generador de funciones actualmente en uso posee disponible una entrada externa de disparo mediante la cual se podrá realizar la modulación ASK requerida por el ensayo. La entrada de disparo posee una impedancia de entrada de 50 [Ω], por lo cual, el circuito encargado de gestionar la modulación ASK deberá reunir las siguientes características:
  - Impedancia de salida del puerto de disparo 50 [Ω];
  - Señal cuadrada, valor mínimo 0 [Vcc], valor máximo 5 [Vcc];
  - El circuito deberá generar una señal cuadrada cuya conformación será de 5 [segundos] en estado bajo, 25 [segundos] en estado alto. Dicha señal se aplicará durante 5 minutos.

#### 4.6.3.2. ISO/IEC 14443-2

Los métodos de ensayo descriptos a continuación corresponden son aplicables a Tarjetas/PICCs cuya tasa de transferencia de bits sea de  $f_c/128$ ,  $f_c/8$ ,  $f_c/4$  y  $f_c/2$ . En donde  $f_c$  hace referencia a la frecuencia de la señal portadora, de aquí que  $f_c/128$ , siendo  $f_c = 13,56$  [MHz], equivale a una tasa de transferencia de 106 [kbits/s].

##### 4.6.3.2.1. Transmisión

##### 4.6.3.2.1.1. Objetivo del Ensayo

El propósito de este ensayo es determinar la amplitud de modulación de carga  $V_{LMA}$  de las Tarjetas/PICCs dentro del campo magnético de funcionamiento  $[H_{MIN}, H_{MAX}]$  como se especifica en la norma ISO/IEC 14443-2 para tasas de transferencia de bits desde Tarjetas/PICCs hacia Lectores de  $f_c/128$ ,  $f_c/8$ ,  $f_c/4$  y  $f_c/2$  is es soportado. Por otro lado, también se terminará la funcionalidad de las Tarjetas/PICCs Tipo A y Tipo B dentro de los rangos de modulación correspondientes como se define el la norma ISO/IEC 14443-2. Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de tarjetas, las Tipo A y las Tipo B, las mismas se diferencian no solo a nivel de tasa de transferencia, modulación, codificación, variables asociadas a la norma ISO/IEC 14443-2, sino también a nivel de inicialización y anticodificación (ISO/IEC 14443-3) y protocolo de transmisión utilizado para comunicarse (ISO/IEC 14443-4).

Una de las cuestiones importantes a tener en cuenta durante este ensayo es el valor de la intensidad de campo magnético de prueba. La norma ISO/IEC 14443-6:2016 no especifica los valores de ensayo, solamente menciona que las pruebas deben realizarse dentro del rango de funcionamiento  $[H_{MIN}, H_{MAX}]$ , comenzando desde  $H_{MIN}$ . Por otro lado, tampoco se menciona el valor final del campo de ensayo, se infiere que dicho valor se encuentra limitado por  $H_{MAX}$  correspondiente a cada tipo de tarjeta/PICC ensayada. Los valores anteriores ya se han definido oportunamente en el apartado 4.6.3.1. ISO/IEC 14443-1.

Dado que las antenas a ensayar se encuentran construidas haciendo uso de tintas conductoras, utilizando distintos sustratos a evaluación, con la finalidad de disponer de resultados más significativos, se realizará el ensayo para cada uno de los valores de intensidades de campo de la tabla 4.22.

Tabla N°4.22. Intensidades de campo magnético de ensayo.

PICC	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
PICCs Clase 1	1,5	3	4,5	6	7,5
PICCs Clase 2	1,5	3,25	5	6,75	8,5
PICCs Clase 3	1,5	3,25	5	6,75	8,5
PICCs Clase 4	2,0	4,5	7	9,5	12
PICCs Clase 5	2,5	5,375	8,25	11,125	14
PICCs Clase 6	4,5	7,875	11,25	14,625	18

En donde:

$$H_1 = H_{MIN} \text{ [A/m] (rms);}$$

$$H_2 = H_1 + 0,25 (H_1 + H_5);$$

$$H_3 = H_1 + 0,50 (H_1 + H_5);$$

$$H_4 = H_1 + 0,75 (H_1 + H_5);$$

$$H_5 = H_{MAX} \text{ [A/m] (rms).}$$

La tabla anterior fue definida teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos de intensidades de campo de funcionamiento para cada uno de los 6 tipos de Tarjetas/PICCs definidas en la norma ISO/IEC 14443-1, en nuestro caso, solo utilizaremos los valores correspondientes a los PICCs 4, 5 y 6, siendo estos los de menores dimensiones tal como se detalló oportunamente.

#### 4.6.3.2.1.2. Procedimiento

- a. Para este ensayo deberemos disponer del Banco de Pruebas N°2 y de un Generador de Funciones Arbitrarias. A continuación, conectar este último a la Antena PCD del Banco de Pruebas utilizado. Ajustar la señal de RF del Generador y medir la intensidad de campo magnético requerida haciendo uso de la Bobina de Calibración. Luego, a la salida del circuito de Conexión de Bobinas de Sensado deberemos conectar un Osciloscopio tal como se muestra en la figura N°4.103. El potenciómetro de 10  $[\Omega]$  denominado como P1 deberá ser ajustado para minimizar la señal portadora residual. La señal debe encontrarse atenuada por lo menos 40 [dB] con respecto a la señal obtenida cortocircuitando una de las Bobinas de Sensado.

**PRECAUCIÓN:** La determinación de la amplitud de la señal portadora modulada por la carga del PICC debe ser realizada incrementando la intensidad del campo magnético desde 0 [A/m] (rms), verificando así el correcto funcionamiento comenzando desde  $H_{MIN}$ .

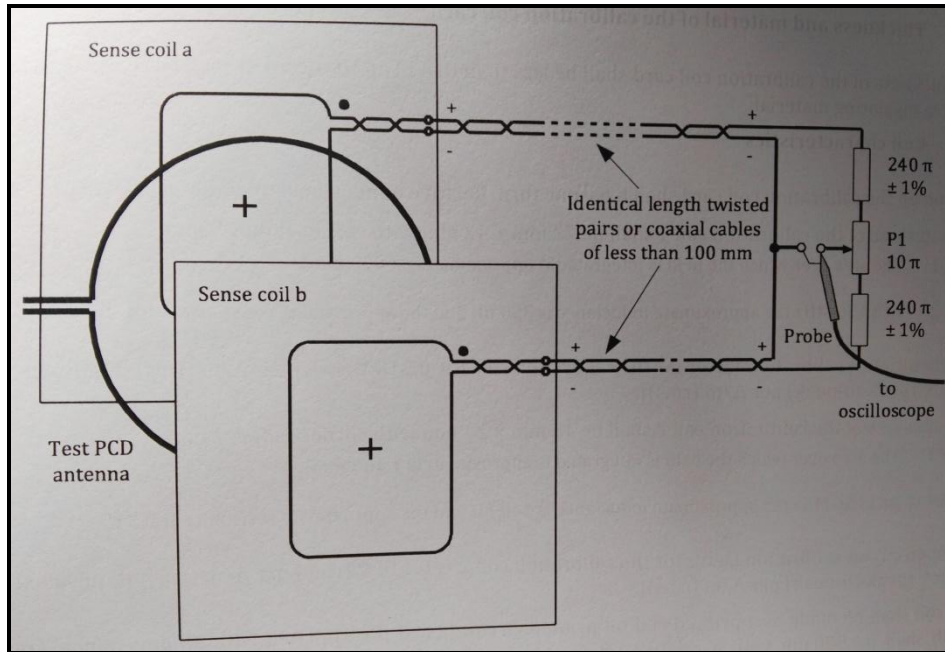


Figura N°4.103. Conexión de bobina de Sensado a Osciloscopio.

- b. La Tarjeta bajo ensayo debe ser colocada en la posición de testeo de forma concéntrica con la Bobina de Sensado a (Ver Figura 4.101. Diagrama de Montaje del Banco de Pruebas). La amplitud de la señal provista por el Generador de Funciones Arbitrarias debe ser reajustada para obtener la intensidad de campo magnética requerida para el ensayo. A continuación, iniciaremos el proceso del testeo de la transmisión de las Tarjetas, para lo cual, mediante el uso del Banco de Pruebas, deberemos enviar secuencias de comando REQA o REQB para obtener la señal de modulación de carga proveniente de la respuesta de la Tarjeta/PICC. Las secuencias de comando serán enviadas con velocidades de tasas de transferencia de bits de  $f_c/128$ . Una secuencia S y un I-Block deben ser enviados mediante el Banco de Pruebas para obtener la señal de carga de modulación cuando testeamos tarjetas con tasas de transferencia de  $f_c/8$ ,  $f_c/4$  y  $f_c/2$ . En nuestro caso, solo nos abocaremos al testeo de tarjetas funcionando con una tasa de transferencia de bits de  $f_c/128$  equivalente a 106 [kbits/s] =  $f_s$  (frecuencia de la señal subportadora).

**NOTA 1:** Las secuencias REQA y REQB se encuentran definidas en la norma ISO/IEC 14443-3.

**NOTA 2:** La secuencia S se encuentra definida en la norma ISO/IEC 14443-4.

**NOTA 3:** El ensayo de modulación de carga no es requerido para tasas de transferencia de bits de  $f_c/64$ ,  $f_c/32$  y  $f_c/16$  ya que estas utilizan subportadoras a una frecuencia de  $f_c/128$ .

Mostrar un segmento de por lo menos seis ciclos de la modulación de carga de la subportadora en un osciloscopio digital y guardar la información muestreada en un archivo para ser analizado mediante el programa de software descrito en el Anexo F de la norma ISO/IEC 10373-6.

Se debe tener cuidado de aplicar un método de sincronización adecuado para bajas amplitudes de la modulación de carga.

Luego realizar una transformada de Fourier con una ventana triangular (función ventana Bartlett) con exactamente seis ciclos de la subportadora de la forma de onda de la modulación muestreada utilizando el programa de software mostrado en el Anexo F de la norma ISO/IEC 10373-6. Utilizar una transformada de Fourier discreta con una escala

mediante la cual una señal sinusoidal pura llegue a su magnitud pico para minimizar los efectos transitorios, evitar analizar un ciclo de subportadora inmediatamente después de un período de no modulación o un cambio de fase de la subportadora. La transformada de Fourier discreta debe ser realizada en las frecuencias extremo de banda generadas por la Tarjeta bajo ensayo, por ejemplo  $f_c + f_s$  y  $f_c - f_s$ .

Las amplitudes pico resultantes de los extremos de banda  $f_c + f_s$  y  $f_c - f_s$  deben encontrarse en función de los valores definidos en la norma ISO/IEC14443-2:2016, (8.2.2).

**NOTA:** Para el ensayo de la modulación de carga para Tarjetas Clase B, la opción de FFT del osciloscopio, puede también ser utilizada en un gran número de ciclos de subportadora sin efectos transitorios ni cambio de fase, es decir, en una parte estable del tiempo de sincronización TR1 como se define en la norma ISO/IEC 14443-2:2016, (9.2.5) o en una parte estable de SOF como lo define la norma ISO/IEC 14443-3:2016, (7.1.4).

#### 4.6.3.2.1.3. Modulación de la Señal Portadora

El siguiente apartado corresponde a un extracto del punto 8.2.2 de la norma ISO/IEC 14443-2:2016.

La Tarjeta/PICC debe ser capaz de comunicarse con el Lector haciendo uso del acoplamiento inductivo generado entre la antena del Lector y la bobina de la Tarjeta. Es aquí en donde la señal de frecuencia portadora del Lector es cargada por la Tarjeta para generar una señal subportadora con una frecuencia  $f_s$  (En nuestro caso de ensayo,  $f_s = f_c/128 = 13,56 \text{ [MHz]}/128 = 106 \text{ [kbits/s]}$ ). La señal subportadora ( $f_s$ ) es generada conmutando una carga existente en la Tarjeta en funcionamiento.

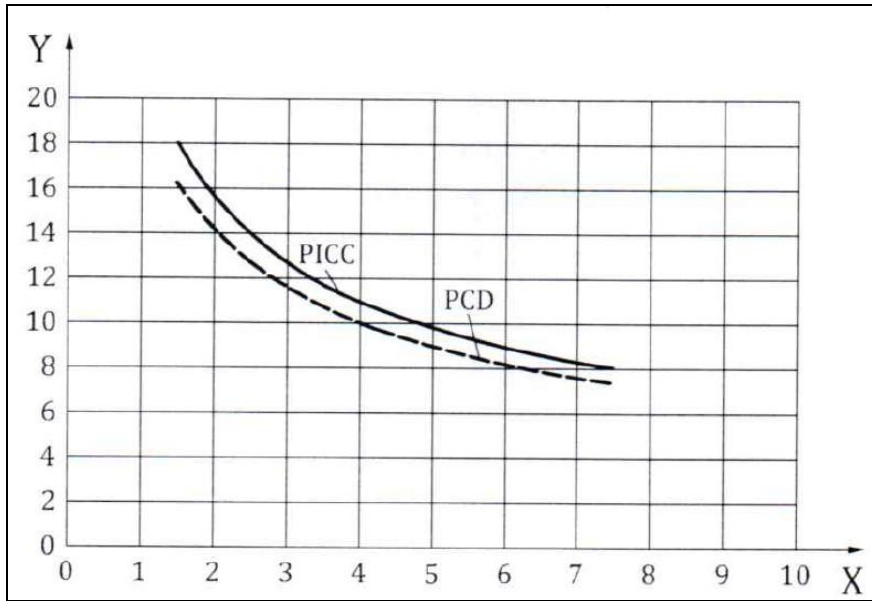
Si la Tarjeta en uso cumple con los requerimientos de una de las tarjetas definidas en la norma ISO/IEC 14443-1, entonces la amplitud de la tensión de la señal portadora luego de ser modulada por la acción de la carga del PICC ( $V_{LMA}$ ) debe poseer por lo menos el valor de  $V_{LMA,PICC}$  para esta clase de Tarjeta. La medición anterior deber realizarse según se describe en la norma ISO/IEC 10373-6 usando el Banco de Pruebas construido, donde H es la intensidad de campo magnético expresada en  $[A/m]$  (rms).

La tabla 4.23 define para cada tipo de PICC, la amplitud de tensión de la señal portadora resultante de la acción de la carga del PICC y el Banco de Pruebas necesario para realizar las mediciones. Las figuras 4.104 a 4.108 presenta los gráficos asociados.

Tabla 4.23. Tensión de la señal portadora por tipo de PICC.

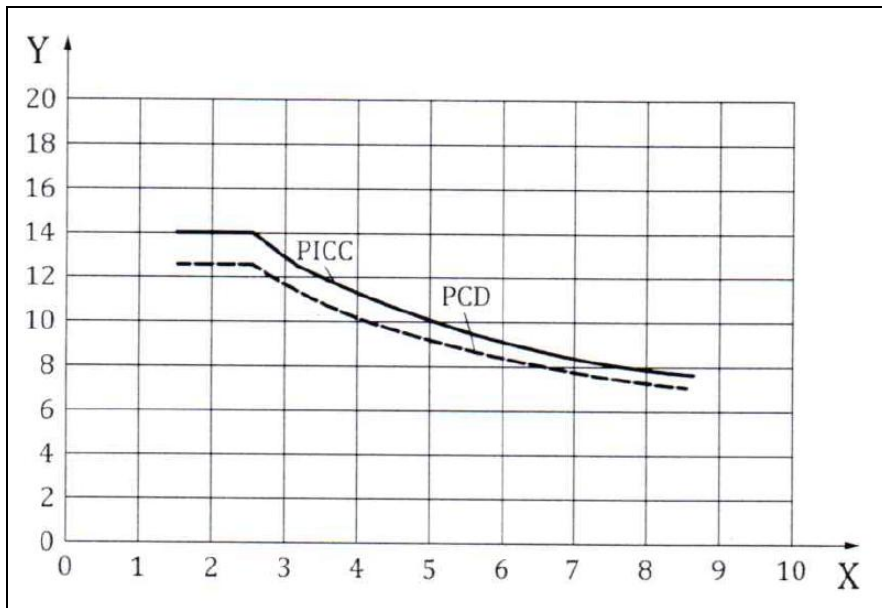
PICC	$V_{LMA, PICC}$ [mV (Valor Pico)]	Banco de Pruebas
PICCs Clase 1	$22/H^{0,5}$	Banco de Pruebas N° 1
PICCs Clase 2	Mínimo (14; $22/H^{0,5}$ )	Banco de Pruebas N° 1
PICCs Clase 3	Mínimo (14; $22/H^{0,5}$ )	Banco de Pruebas N° 1
PICCs Clase 4	Mínimo (18; $40/H^{0,5}$ )	Banco de Pruebas N° 2
PICCs Clase 5	Mínimo (14; $34/H^{0,5}$ )	Banco de Pruebas N° 2
PICCs Clase 6	Mínimo (17; $26/H^{0,5}$ )	Banco de Pruebas N° 2

NOTA: Para los PICCs de clase 4, 5 y 6 el uso del Banco de Pruebas N° 2 incrementa los valores medidos de la amplitud de tensión de la señal portadora luego de ser modulada por la carga del PICC en un factor de aproximadamente de 2 veces comparado con el Banco de Pruebas N° 1.



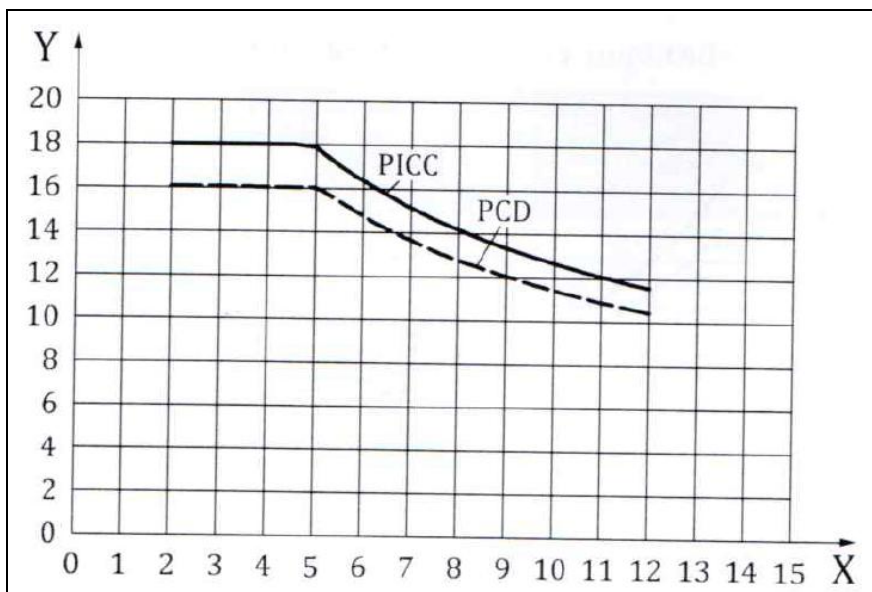
Eje X: Valores de intensidad de campo magnético expresado en [A/m (rms)]  
 Eje Y: amplitud de la señal portadora modulada por la carga del PICC [mV (valor pico)]

Figura N°4.104. Valores límite de amplitud de tensión de la señal portadora luego de ser modulada por la carga del PICC clase 1



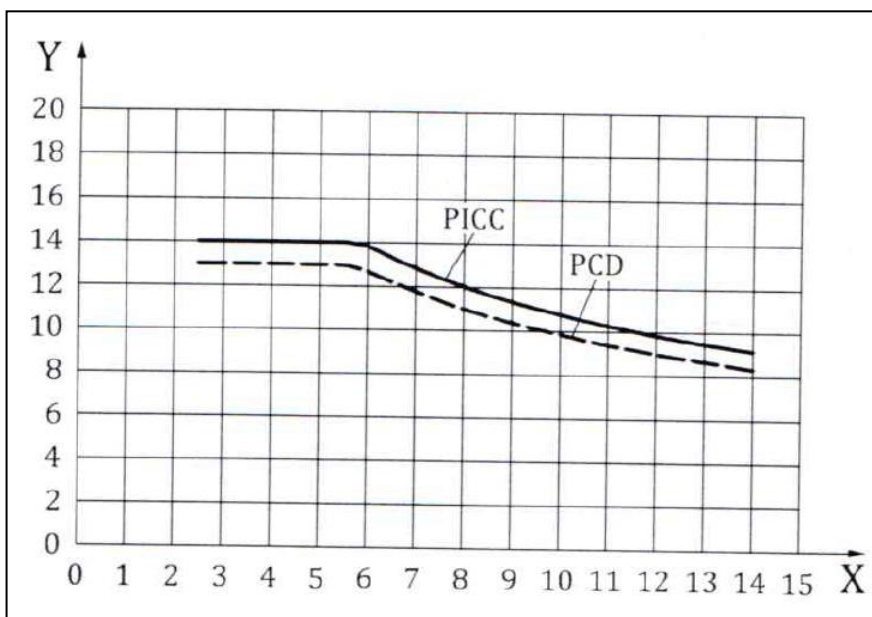
Eje X: Valores de intensidad de campo magnético expresado en [A/m (rms)]  
 Eje Y: amplitud de la señal portadora modulada por la carga del PICC [mV (valor pico)]

Figura N°4.105. Valores límite de amplitud de tensión de la señal portadora luego de ser modulada por la carga del PICC clase 2 y 3



Eje X: Valores de intensidad de campo magnético expresado en [A/m (rms)]  
 Eje Y: amplitud de la señal portadora modulada por la carga del PICC [mV (valor pico)]

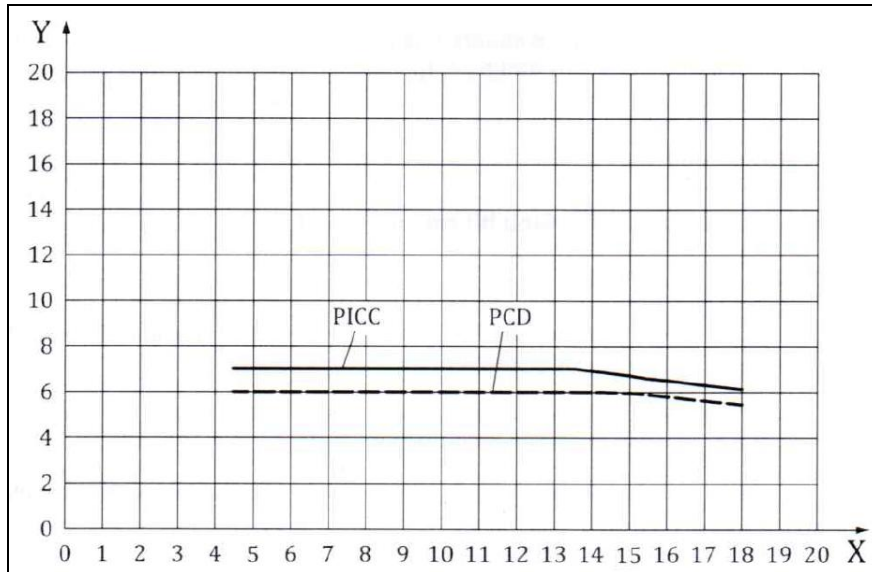
Figura N°4.106. Valores límite de amplitud de tensión de la señal portadora luego de ser modulada por la carga del PICC clase 4



Eje X: Valores de intensidad de campo magnético expresado en [A/m (rms)]  
 Eje Y: amplitud de la señal portadora modulada por la carga del PICC [mV (valor pico)]

Figura N°4.107. Valores límite de amplitud de tensión de la señal portadora luego de ser modulada por la carga del PICC clase 5





Eje X: Valores de intensidad de campo magnético expresado en [A/m (rms)]  
 Eje Y: amplitud de la señal portadora modulada por la carga del PICC [mV (valor pico)]

Figura N°4.108. Valores límite de amplitud de tensión de la señal portadora luego de ser modulada por la carga del PICC clase 6

#### 4.6.3.2.1.4. Resultado del Ensayo

El ensayo nos debe entregar como resultado la medición de las amplitudes pico de los extremos de banda para  $f_c + f_s$ ,  $f_c - f_s$ , las amplitudes de campo aplicadas y modulaciones.

#### 4.6.3.2.1.5. Requerimientos

Para el desarrollo del ensayo mencionado resulta necesario disponer de los siguientes recursos:

- Se debe adquirir la Norma ISO/IEC 14443-2 donde se encuentran definidos los valores de campo magnético de funcionamiento [ $H_{MIN}$ ,  $H_{MAX}$ ]. Lo que es más, se requerirá de dicha norma para verificar que las amplitudes pico resultantes de los extremos de banda  $f_c + f_s$  y  $f_c - f_s$  de encuentren en función de los valores definidos en la misma.
- Se debe adquirir la Norma ISO/IEC 14443-3 donde se encuentran definidas las secuencias REQA y REQB;
- Se debe construir un circuito capaz de modular la señal entregada por el Generador de Funciones Arbitrarias a  $f_c/128$ , sabiendo que  $f_c = 13,56$  [MHz], la frecuencia moduladora será de 106 [kHz] siendo esta una señal cuadrada de la cual se tomará verdadero conocimiento una vez que se disponga de la Norma ISO/IEC 14443-3 donde se encuentran definidas las secuencias REQA y REQB;
- Se deberá escribir el software descrito en el Anexo F de la norma ISO/IEC 10373-6, dicho software será utilizado para analizar la señal proveniente de la modulación de carga de la subportadora extraída del osciloscopio digital.

#### 4.6.3.2.2. Recepción

##### 4.6.3.2.2.1. Objetivo del Ensayo

El propósito de este ensayo es verificar la capacidad de la Tarjeta/PICC ensayada para recibir los comandos enviados por el dispositivo Lector.

#### 4.6.3.2.2.2. Tarjetas Tipo A – Tasas de Transferencia de Bits de fc/128, fc/64, fc/32 y fc/16

##### 4.6.3.2.2.2.1. Condiciones para Tasa de Transferencia de Bits de fc/128

Hay tres condiciones de tiempos definidas en los bordes de la forma de onda correspondiente a la modulación de las tarjetas Tipo A. Parámetros de tiempos de tiempos determinados por la norma ISO/IEC 14443-2:2016, (Ver Figura 4 de la norma ISO/IEC 14443-2:2016).

- Condición 1: valor máximo de  $t_1 - t_2$  y máximo  $t_3$ , sin sobreimpulso;
- Condición 2: valor mínimo alcanzable con el Banco de Pruebas  $t_1 - t_2$  y máximo asociado a  $t_3$ , máximo sobreimpulso;
- Condición 3: valor mínimo alcanzable con el Banco de Pruebas  $t_3$  máximo asociado a  $t_1 - t_2$ , máximo sobreimpulso.

La amplitud de la señal portadora al final de  $t_2$  debería ser inferior al 4 %.

Estas tres condiciones deben ser probadas al menos utilizando  $H_{MIN}$  y  $H_{MAX}$  mientras que el parámetro  $t_1$  es el valor máximo especificado cuando se utilizan las condiciones 1 y 3, y es el mínimo valor especificado cuando se utiliza la condición 2.

##### 4.6.3.2.2.2.2. Condiciones para Tasa de Transferencia de Bits de fc/64, fc/32 y fc/16

Hay tres condiciones de tiempos definidas en los bordes de la forma de onda correspondiente a la modulación de las tarjetas Tipo A. Parámetros de tiempos de tiempos determinados por la norma ISO/IEC 14443-2:2016, (Ver Figuras 7, 8 y 9 de la norma ISO/IEC 14443-2:2016).

- Condición 1: valor máximo de  $t_1 - t_5$  y máximo  $t_6$ , sin sobreimpulso;
- Condición 2: valor mínimo alcanzable con el Banco de Pruebas  $t_1 - t_5$  y máximo asociado a  $t_6$ , máximo sobreimpulso;
- Condición 3: valor mínimo alcanzable con el Banco de Pruebas  $t_6$  máximo asociado a  $t_1 - t_5$ , máximo sobreimpulso.

Estas tres condiciones deben ser probadas al menos utilizando  $H_{MIN}$  y  $H_{MAX}$ , mientras que:

- El parámetro  $a$  es el valor máximo especificado cuando se utiliza la condición 1 y es el mínimo valor alcanzable para el Banco de Pruebas cuando se utilizan las condiciones 2 y 3.
- El parámetro  $t_1$  es el valor máximo especificado cuando se utilizan las condiciones 1 y 3, y es el valor mínimo especificado cuando se utiliza la condición 2.

##### 4.6.3.2.2.2.3. Procedimiento

Bajo las condiciones definidas para la Tasa de Transferencia de Bits de fc/128 la Tarjeta bajo ensayo debe responder a comandos REQA con ATQA.

Para cada Tasa de Transferencia de Bits opcional (fc/64, fc/32 o fc/16) soportada por la Tarjeta bajo ensayo, esta deberá operar bajo las condiciones definidas en "Condiciones para Tasa de Transferencia de Bits de fc/64, fc/32 y fc/16" luego de la selección de la Tasa de Transferencia de Bits en estudio. Esta Tarjeta responderá correctamente a una secuencia tipo I-Block transmitida en la Tasa de Transferencia de Bits opcional.

#### **4.6.3.2.2.3. Tarjetas Tipo B – Tasas de Transferencia de Bits de fc/128, fc/64, fc/32 y fc/16**

##### **4.6.3.2.2.3.1. Condiciones**

Hay tres condiciones de tiempos definidas en los bordes de la forma de onda correspondiente a la modulación de las tarjetas Tipo B. Parámetros de tiempos de tiempos determinados por la norma ISO/IEC 14443-2:2016, 9.1.2:

- Condición 1: valor máximo de  $t_f$  y máximo  $t_r$ , sin bajo ni sobreimpulso;
- Condición 2: valor mínimo alcanzable con el Banco de Pruebas  $t_f$  y máximo asociado a  $t_r$ , máximo bajo y sobreimpulso;
- Condición 3: valor mínimo alcanzable con el Banco de Pruebas  $t_r$  y máximo asociado a  $t_f$ , máximo bajo y sobreimpulso.

Estas tres condiciones deben ser probadas al menos utilizando:

- $H_{MIN}$  y  $H_{MAX}$ ;
- Valor mínimo y máximo del índice  $m$  de modulación para la intensidad del campo magnético asociado y Tasa de Transferencia de Bits en uso (Ver norma ISO/IEC 14443-2:2016, (9.1.2)).

##### **4.6.3.2.2.3.2. Procedimiento**

Bajo las condiciones definidas en el punto anterior, utilizando una Tasa de Transferencia de Bits de fc/128 la Tarjeta bajo ensayo debe responder a comandos REQB con ATQB.

Para cada Tasa de Transferencia de Bits opcional (fc/64, fc/32 o fc/16) soportada por la Tarjeta bajo ensayo, esta deberá operar bajo las condiciones definidas en el punto anterior, luego de la selección de la Tasa de Transferencia de Bits en estudio. Esta Tarjeta responderá correctamente a una secuencia tipo I-Block transmitida en la Tasa de Transferencia de Bits opcional.

#### **4.6.3.2.2.4. Tarjetas Tipo A y B – Tasas de Transferencia de Bits de fc/8, fc/4 y fc/2**

Para este tipo de Tarjetas se utilizará el mismo procedimiento de ensayo definido en “Tarjetas Tipo B – Tasas de Transferencia de Bits de fc/128, fc/64, fc/32 y fc/16”.

##### **4.6.3.2.2.4.1. Resultado del Ensayo**

El ensayo confirmará la operación esperada para la Tasa de Transferencia de Bits de fc/128 equivalente a 106 [kbits/s] siendo la señal portadora de 13,56 [MHz]. Para aquellas Tarjetas que funcionen con una o más Tasas de Transferencia de Bits, el ensayo confirmará el funcionamiento esperado en cada Tasa de Transferencia de Bits soportada bajo ensayo. Las condiciones utilizadas deben ser mencionadas en los resultados del ensayo.

#### **4.6.3.2.3. Efecto producido por la aplicación de carga sobre una Tarjeta**

##### **4.6.3.2.3.1 Objetivo del Ensayo**

El ensayo se realiza con la finalidad de medir el efecto producido por la aplicación de carga sobre una Tarjeta.

#### 4.6.3.2.3.2. Procedimiento

Dependiendo de la Clase de Tarjeta, seleccionar:

- El HMIN relevante tal como se define en la norma ISO/IEC 14443-2:2016 (Tabla 2).
- El PICC de Referencia a utilizar tal como se define en la tabla de “Consideraciones Iniciales” de ensayo de Lectores bajo la norma ISO/IEC 14443-2 y su tensión  $V_{load}$ .
- El Banco de Pruebas a utilizar en el ensayo de acuerdo a la tabla de “Consideraciones Iniciales” de ensayo de Lectores bajo la norma ISO/IEC 14443-2.

Si la Tarjeta bajo ensayo no corresponde a ninguna clase particular a las definidas en la norma ISO/IEC 14443-1, entonces, para la realización del ensayo se utilizarán los parámetros e instrumentos correspondientes al ensayo de Tarjetas Clase 1.

El efecto de carga de la Tarjeta, bajo condiciones de  $H_{MIN}$ , debe ser medido utilizando el Banco de Pruebas. No debe excederse el efecto de carga del PICC de Referencia sintonizado a 13,56 [MHz] y calibrado para obtener un valor de  $V_{load}$  en el conector CON3 para un valor de intensidad de campo magnético correspondiente a  $H_{MIN}$ . El procedimiento de este método de sustitución es el siguiente:

- a. Calibrar el PICC de Referencia a la frecuencia de 13,56 [MHz] como se describe en el apartado “Sintonía del PICC de Referencia”.
- b. Calibrar el Banco de Pruebas de forma tal de conseguir una intensidad de campo magnético igual a  $H_{MIN}$ , valor medido haciendo uso de la Bobina de Calibración.
- c. Colocar el PICC de Referencia en la posición de testeo del Banco de Pruebas. Colocar el jumper J1 en la posición “b” y ajustar R2 para obtener una tensión continua igual a  $V_{load}$  medida en el conector CON3. Otra método alternativo consiste en colocar el jumper J1 en la posición “c” aplicar una tensión continua CON2 de forma tal de obtener el valor de  $V_{load}$  en el conector CON3. En ambos casos, la intensidad de campo magnético debe ser monitoreada y reajustada en función del valor medido en la Bobina de Calibración.
- d. **PRECAUCIÓN:** El valor de R2 debe encontrarse comprendido entre los valores máximo y mínimo según se define en la tabla de “Consideraciones Iniciales” de ensayo de Lectores bajo la norma ISO/IEC 14443-2. Verificar este rango al menos una vez antes de utilizar el método alternativo.
- e. Retirar el PICC de Referencia.
- f. Colocar la Tarjeta bajo ensayo en la posición de testeo del Banco de Pruebas.
- g. Medir el valor de la intensidad del campo magnético haciendo uso de la Bobina de Calibración. La intensidad del campo medido debe ser superior a  $H_{MIN}$ .

#### 4.6.3.2.3.3. Resultado del Ensayo

La Tarjeta bajo testeo cumple con el ensayo siempre y cuando el valor de la intensidad de campo magnético medido en el punto f) resulte superior a  $H_{MIN}$ . De lo contrario, la Tarjeta no cumplirá con los requerimientos del ensayo. Adicionalmente, el ensayo nos deberá entregar el valor del campo medido.

#### **4.6.4. Ajustes y Calibraciones previas a los ensayos.**

A fin de realizar los ensayos descritos en la sección 4.6.3 resultará necesario realizar los siguientes ajustes y calibraciones:

- Ajuste de la Impedancia de Entrada de la Antena PCD N° 2
- Sintonía del PICC de Referencia en uso en función del tipo de Tarjeta bajo ensayo

A continuación se describe el procedimiento a seguir para realizar cada uno de los ajustes y calibraciones previos.

##### **4.6.4.1. Antena PCD N° 2 – Ajuste de la Impedancia de Entrada**

###### **4.6.4.1.1. Objetivo**

Como se mencionó anteriormente, para cada uno de los ensayos descritos se requirió del uso de la Antena PCD. En nuestro caso, dado que nos abocamos al ensayo de tarjetas de menores dimensiones, tipo 4, 5 y 6, se hace únicamente uso de la antena PCD N° 2. Antes de hacer uso de la Antena PCD para efectuar un ensayo, la misma debe ser sometida a un proceso de ajuste de su impedancia de entrada. De aquí que el objetivo del siguiente procedimiento es describir el proceso mediante el cual conseguiremos ajustar la impedancia de entrada de la Antena PCD N° 2 a un valor de 50  $[\Omega]$  resistivos.

###### **4.6.4.1.2. Procedimiento**

Para realizar este procedimiento, inicialmente deberemos disponer de un Generador de Funciones Arbitrarias el cual posee una impedancia de salida de 50  $[\Omega]$ . Debido a que el circuito de la Antena PCD N° 2 que integra nuestro Banco de Pruebas N° 2 se conectará directamente al Generador de Funciones, deberemos inicialmente ajustar la impedancia de entrada de la Antena PCD N° 2 logrando un valor de 50  $[\Omega]$  que nos permita lograr la máxima transferencia de potencia desde el Generador hacia la Antena PCD. De esta forma, a continuación se detalla el procedimiento a seguir para lograr el ajuste de la Antena PCD N° 2.

Durante este proceso mencionado anteriormente se utilizará el siguiente instrumental:

- Generador de Funciones Arbitrarias 25 [MHz]:  
Marca: GW INSTEC;  
Modelo: AFG-2125.
- Osciloscopio Digital Ancho de Banda 150 [MHz], Velocidad de Muestreo 1 G [Sa/s]:  
Marca: GW INSTEC;  
Modelo: GDS-1152A-U.
- Puntas de Pruebas:  
Marca: GW INSTEC;  
Modelo: GPT-150A-2.  
Capacidad de Compensación: Atenuación 10:1: 10 a 35 [pF] / Atenuación 1:1: 47 [pF].

###### **4.6.4.1.2.1 Primer Paso**

Como sabemos, las Puntas de Pruebas utilizadas para realizar mediciones con osciloscopios poseen un valor determinado de Capacidad Parásita. Dicha Capacidad Parásita por más bajo que sea su valor, introduce una variación en la fase de las señales medidas. Por lo tanto, el objetivo del

Paso N° 1 es la construcción y ajuste de un Circuito de Calibración que nos permita compensar la distorsión introducida por las Puntas de Pruebas utilizadas en el proceso de ajuste de impedancia de entrada de la Antena PCD N° 2.

El primer paso se inicia con el ensamblado del Circuito de Calibración mostrado en la figura N°4.109:

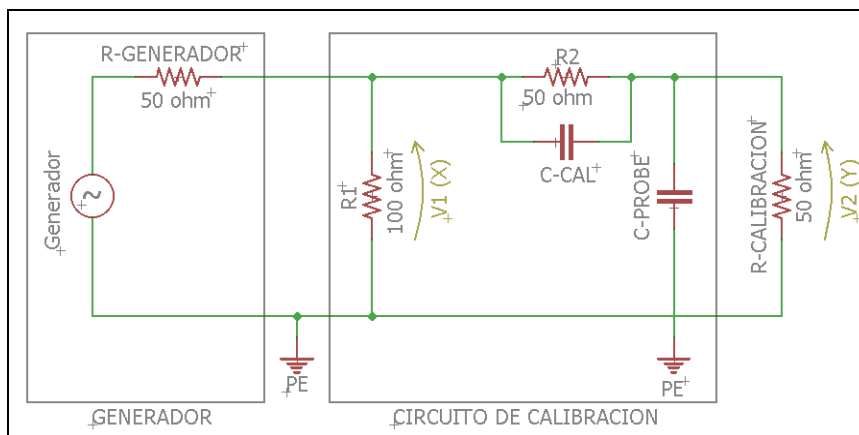
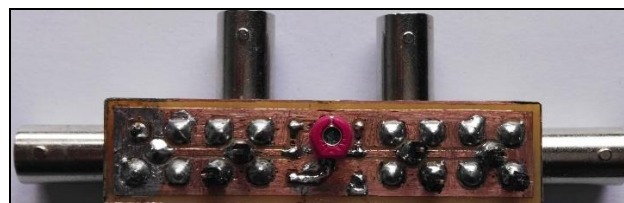
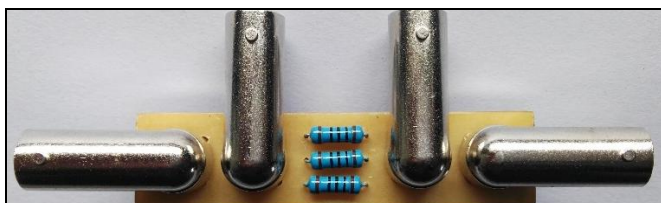


Figura N°4.109. Circuito de Calibración

En el esquemático anterior se puede observar el circuito equivalente del Generador de Funciones Arbitrarias al cual se le conecta el Circuito de Calibración.

Analizando el Circuito de Calibración se puede ver que la señal V1 poseerá el doble de amplitud que la señal V2.

En las figuras 4.110 se muestran ambos lados del circuito impreso correspondiente al Circuito de Calibración con sus componentes montados:



Figuras N°4.110. Impreso del circuito de calibración.

Finalmente, a la salida del Circuito de Calibración se ha conectado una Resistencia de Calibración de 50 [Ω] ± 1 [%], 1/2 [W], figura N°4.111.



Figura N°4.111. Resistencia de Calibración de 50 [Ω] ± 1 [%], 1/2 [W]

A continuación deberemos disponer del Generador de Funciones Arbitrarias el cual se ajustará de la siguiente forma (figura N°4.112):

- Forma de Onda: Sinusoidal;
- Frecuencia: 13,56 [MHz];
- Amplitud: 2 [V] (rms) – 5 [V] (rms) según norma, en este procedimiento se utilizó un valor de 5 [V] (rms) = 7,07 [V] (pico a pico).

Al mismo tiempo, deberemos disponer del Osciloscopio Digital cuyos dos canales serán utilizados para medir las tensiones V1 (X) y V2 (Y) en el Circuito de Calibración. Ambas tensiones serán utilizadas para dibujar la figura de Lissajous integradas por las señales del Canal 1 (X) y el Canal 2 (Y) del Osciloscopio. Por otro lado, podremos notar que en dicho circuito, la punta de prueba que se encuentra en paralelo con el conector de salida (en paralelo con la Resistencia de Calibración) posee una capacidad parásita  $C_{PROBE}$ . Una capacidad de calibración C-CAL en paralelo con la resistencia R2 será utilizada para compensar la capacidad propia de la punta de prueba del Canal 2 (Y), de esta forma, la compensación se conseguirá cuando  $C-CAL = C_{PROBE}$ .

Una vez conectados el Generador de Funciones Arbitrarias, el Osciloscopio y el Circuito de Calibración, deberemos dibujar la figura de Lissajous con los canales 1 (X) y 2 (Y) del osciloscopio. Ambas puntas de prueba del osciloscopio son utilizadas con una atenuación 10:1. La compensación de la capacidad parásita  $C_{PROBE}$  de la punta de prueba del canal 2 se logrará cuando la figura de Lissajous corresponda a una línea recta cerrada a 45°, en dicho momento, la señal V1 y la señal V2 se encontrarán en fase estando compensada la capacidad parásita de la punta de prueba del canal 2 del osciloscopio.

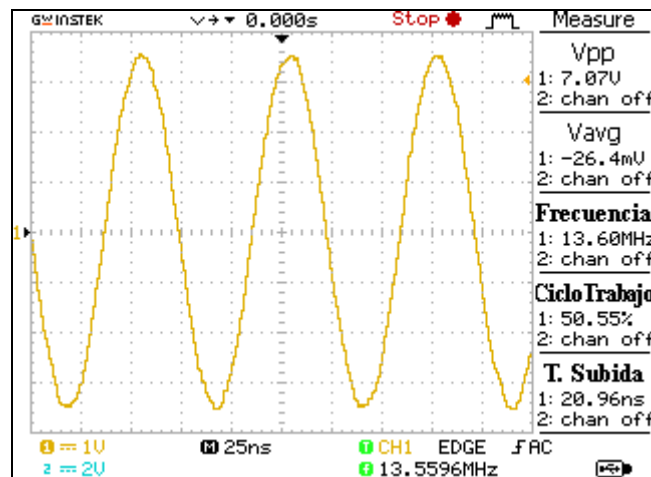


Figura N°4.112. Señal de Calibración entregada por el Generador de Funciones Arbitrarias

En la figura N°4.113 se muestran ambas señales, canal 1 y canal 2 del osciloscopio. Allí notaremos que el valor de V2 corresponde al 51,5 % del valor de V1.

Solo resta ajustar el canal horizontal del osciloscopio para dibujar la figura de Lissajous correspondiente al canal 1 (X) y al canal 2 (Y), la figura N°4.114 presenta la figura previo a realizar la compensación.

Ajustando el capacitor C-CAL se consigue eliminar la diferencia de fase introducida por la capacidad parásita de la punta de prueba del canal 2 del osciloscopio, lo que se puede ver en la figura N°4.115.

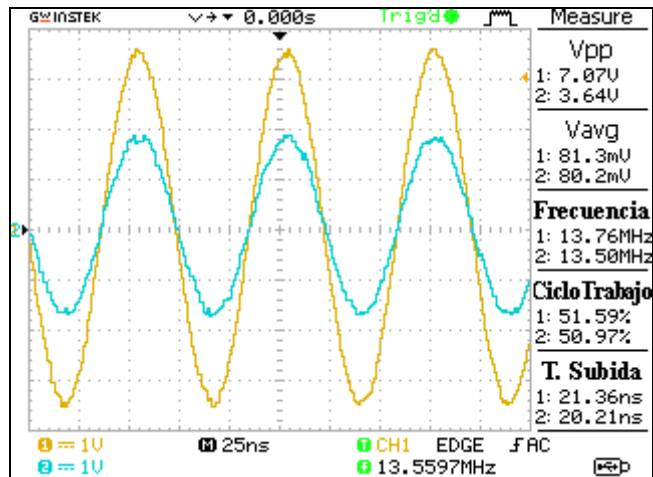


Figura N°4.113. Canal N° 1 = V1 (X), Canal N° 2 = V2 (Y)

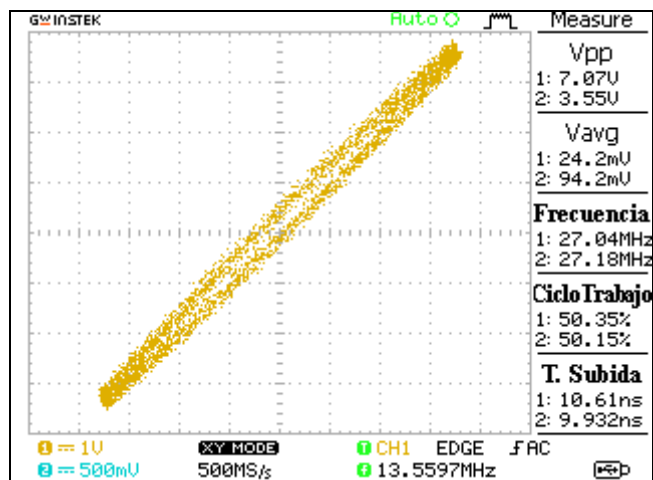


Figura N° 4.114. Figura de Lissajous – CPROBE sin compensar

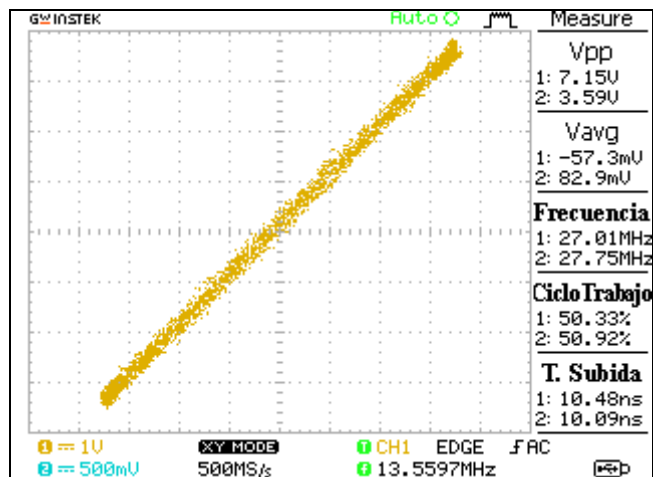


Figura N° 4.115. Figura de Lissajous – CPROBE compensada

#### 4.6.4.1.2.1 Segundo Paso

El siguiente paso consiste en reemplazar la Resistencia de Calibración por la propia Antena PCD N° 2. La figura N°4.116 presenta todo el circuito.



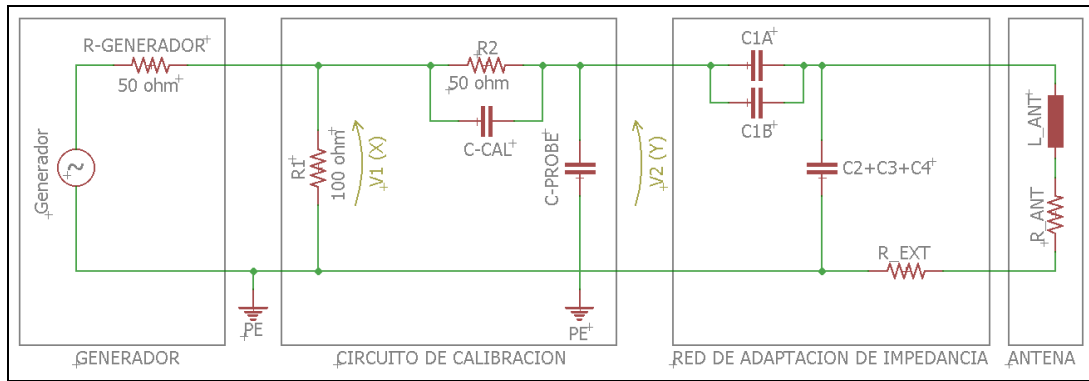


Figura N°4.116. Generador de Funciones Arbitrarias + Circuito de Calibración + Red de Adaptación de Impedancia + Antena PCD.

Según la Norma ISO/IEC 10373, la Red de Adaptación de Impedancia se encontrará compuesta por los componentes electrónicos detallados en la Tabla N°4.29.

Tabla N°4.29. Componentes electrónicos de la red de adaptación.

Referencia	Cantidad	Descripción	Características
C1A	1	100 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C1B	1	12 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C2	1	270 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C3	1	18 [pF] / 15 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
C4	1	5,5 a 30 [pF]	Rango de tensión 200 [V]
R_EXT1, R_EXT2, R_EXT3, R_EXT4	4	2,7 [Ω], 5 [W]	Rango de potencia 5 [W]

Realizaremos un previo análisis antes de reemplazar la Resistencia de Calibración por la Antena PCD N° 2:

Sabiendo que  $C1A + C1B = 112$  [pF], podremos calcular la impedancia del capacitor equivalente C1A-B a 13,56 [MHz] de la siguiente forma:

$$Z(C1A - B) = \frac{1}{2\pi \cdot 13,56[MHz] \cdot 112[pF]} = 104,8[\Omega]$$

Conociendo el valor de la impedancia de C1A-B procederemos a colocar un puente en el lugar donde se ubica el capacitor C2, de esta forma, el circuito de adaptación de impedancia de la Antena PCD N° 2 se reduce al presentado en la figura N°4.117.

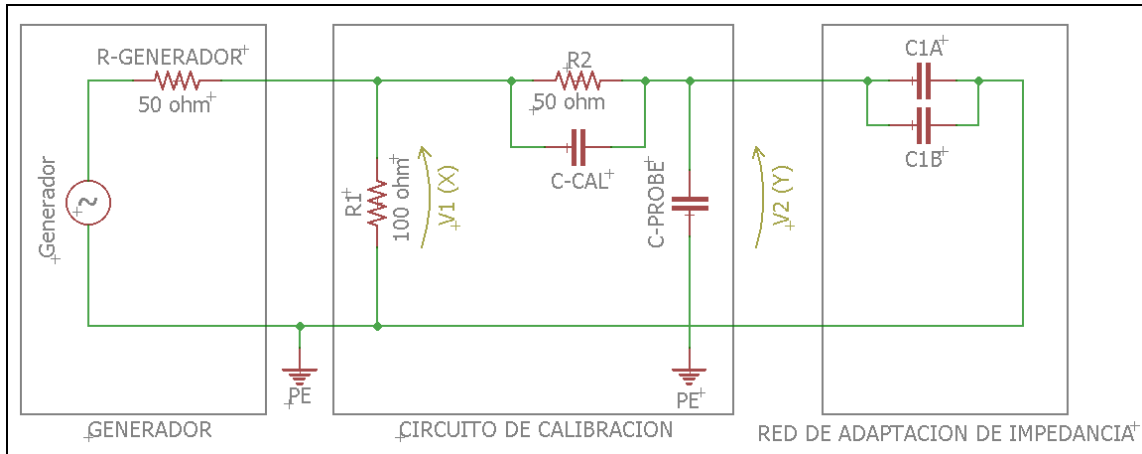


Figura N°4.117. Circuito con red de Adaptación de impedancia con puente en C2.

En la figura N°4.118 se puede ver que  $V1 = 6,76$  [Vpp] y  $V2 = 4,15$  [Vpp], valores que resultan correctos si consideramos  $R2 = 50$  [ $\Omega$ ] y  $Z_{(C1A-B)} = 104,8$  [ $\Omega$ ].

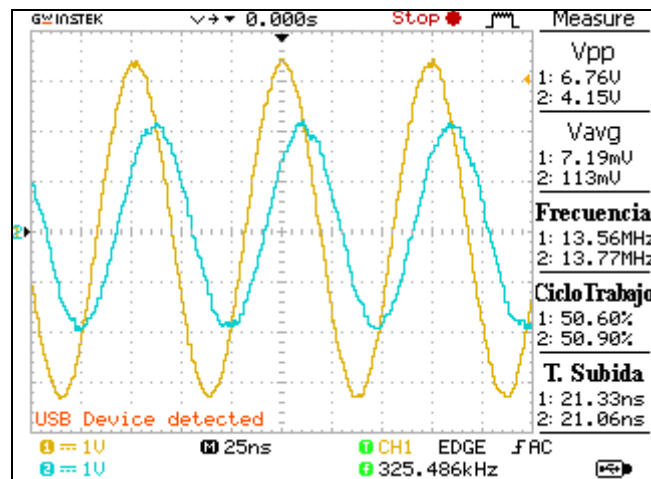


Figura N°4.118. Ajuste Impedancia de Antena PCD N° 2. Canal N° 1 = V1, Canal N° 2 = V2

Aquí se plantea una problemática a resolver, según la Norma ISO/IEC 10373, la Red de Adaptación de Impedancia de la Antena PCD N° 2 debería poseer una impedancia de entrada de  $50$  [ $\Omega$ ], aunque, los capacitores C1A y C1B al encontrarse en paralelo, presentan una impedancia de  $104,8$  [ $\Omega$ ], si tenemos en cuenta que todavía nos resta sumar la impedancia.

#### 4.6.4.2. Sintonía del PICC de Referencia

Como se mencionó anteriormente, los PICCs de Referencia se utilizarán para realizar las pruebas de Efecto de carga aplicado a una Tarjeta, para ello, previamente deberemos sintonizarlos a la frecuencia solicitada por en el ensayo en cuestión. Para realizar esto debemos contar con:

- PICC de Referencia en función del que se desee sintonizar;
- Banco de Pruebas N° 2;
- Generador de Funciones Arbitrarias;
- Osciloscopio Digital y Punta de Pruebas según se especifica la norma ISO/IEC 10373-6:2016;
- Multímetro Digital.

A raíz que el ajuste anterior no se finalizo, se detalla los pasos que se deberían realizar para la sintonización de los PICC de referencia.

#### 4.6.4.2.1. Procedimiento

La frecuencia de resonancia del PICC de Referencia utilizada durante un ensayo debe ser ajustada a 16,56 [MHz] mediante el siguiente procedimiento:

- a. Colocar el Jumper J1 en la posición “a”.
- b. Conectar la Bobina de Calibración al Generador de Funciones Arbitrarias. Por otro lado, conectaremos el PICC de Referencia a un Voltímetro a través del conector CON3.
- c. Colocar el PICC de Referencia a una distancia de 10 [mm] por encima de la Bobina de Calibración. Debemos ubicar las bobinas de ambos dispositivos de forma tal que sus ejes se encuentren alineados entre sí. La Bobina de Calibración se deberá ubicar con su capa activa (Bobina) hacia arriba, mientras que, el PICC de Referencia de deberá ubicar con la Bobina Principal (Capa Bottom) hacia abajo encontrándose enfrentada con la a la Bobina de Calibración. Figura N°4.119.

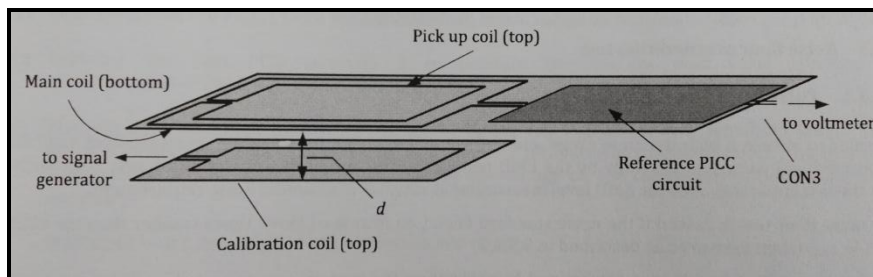


Figura N°4.119. Ubicación de los PICCs de Referencia.

- d. Ajustar el Generador de Funciones Arbitrarias al valor de frecuencia al cual se deberá conseguir la resonancia del PICC de Referencia.
- e. Ajustar los capacitores C1 y C2 del PICC de Referencia para alcanzar el máximo valor de tensión continua en el conector CON3.
- f. El nivel de tensión de la señal senoidal entregada por el Generador de Funciones Arbitrarias deberá ser ajustada de forma tal de medir en el CON3 del PICC de Referencia una tensión continua  $V_{load}$  según se especifica en la tabla N°4.30.

Tabla N°4.30. Valores a tensión a medir sobre CON3

Clase	PICC de Referencia	$V_{load}$	$R2_{min}$	$R2_{max}$
1	1	6 [V]	870 [ $\Omega$ ]	1070 [ $\Omega$ ]
2	2	4,5 [V]	1030 [ $\Omega$ ]	1260 [ $\Omega$ ]
3	3	4,5 [V]	1080 [ $\Omega$ ]	1320 [ $\Omega$ ]
4	4	4,5 [V]	990 [ $\Omega$ ]	1210 [ $\Omega$ ]
5	5	4,5 [V]	960 [ $\Omega$ ]	1170 [ $\Omega$ ]
6	6	4,5 [V]	700 [ $\Omega$ ]	900 [ $\Omega$ ]

- g. Luego repetir los pasos e) y f) hasta que la tensión máxima luego de e) sea  $V_{load}$ .

- h. A continuación deberemos disponer del Banco de Pruebas. Luego conectaremos un Generador de Funciones Arbitrarias a la Antena PCD ajustando el valor de frecuencia al valor de frecuencia de sintonía del PICC de Referencia. El nivel de tensión de la señal entregada por el Generador será ajustado de forma tal de entregar un valor de intensidad de campo magnético igual  $H_{min}$  (**Ver norma ISO/IEC 14443-1:2016 (4.4)**), valor medido mediante el Osciloscopio conectado a la Bobina de Calibración.
- i. Luego, el PICC de Referencia debe ser colocado en la posición de testeo del Banco de Pruebas. Colocar el jumper J1 en la posición “b” y ajustar el valor de R2 consiguiendo medir una tensión continua en CON3 igual a  $V_{load}$ . El valor de la intensidad de campo magnético de testeo debe ser monitoreada haciendo uso de la Bobina de Calibración, y en caso de que resultase necesario, el valor del campo debe ser reajustado.
- j. Repetir los pasos b) a g) con el valor de R2 obtenido en el paso anterior.

## **4.7. Confiabilidad y Validez de la Medición**

Durante el este periodo de trabajo no se realizaron mediciones, las mismas están previstas para la segunda etapa del proyecto.

## **4.8. Métodos de Análisis Estadísticos**

Los mismos no son aplicados en este proyecto.

## **4.9. Resultados**

### **4.9.1. Periodo 2017**

Durante este período se realizó un trabajo de investigación sobre procesos tecnológicos, tintas y sustratos empleados en electrónica impresa, el desarrollo de un banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance y la implementación de una aplicación asociada al seguimiento y trazabilidad de productos, por lo tanto entre los resultados obtenidos en esta etapa podemos nombrar:

- La realización de la adquisición, compilación y estudio de información asociada a los procesos tecnológicos, tintas y sustratos empleados en electrónica impresa.
- El estudio de las normativas ISO/IEC asociada a los ensayos a realizar a la tecnología seleccionada para la implementación de la aplicación de seguimiento y trazabilidad de productos.
- El desarrollo del banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance.
- La selección de los dispositivos más adecuados para la aplicación testigo seleccionada.
- La implementación de la aplicación testigo de seguimiento y trazabilidad de productos.
- Las primeras experiencias con la impresora de tintas de nanopartículas de la FAN.
- El desarrollo de tag NFC en base a los integrados seleccionados.

### **4.9.2. Periodo 2016**

Durante este periodo se realizó un trabajo de investigación de tecnologías y normativo, por lo tanto entre los resultados obtenidos es esta etapa podemos nombrar:

- La realización de la adquisición, compilación y estudio de normas internacionales.
- La búsqueda de información a través de múltiples canales (Antena Tecnológica, MinCyT, etc).
- El análisis de las tecnologías de corto alcance y sus aplicaciones.
- La selección de la aplicación testigo a implementar y la tecnología a utilizar.
- El estudio del diseño del “Banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance”.
- El estudio del diseño y la implementación de tag para NFC.

## **4.10. Discusión**

### **4.10.1. Periodo 2017**

Los principales temas de discusión que se presentan para este periodo de investigación estan asociados a las dificultades que se presentaron para los ajustes del “Banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance”, lo cual se puede deber a alguna mala interpretación de la norma ISO/IEC 10373 o algún error en ella. Para

solucionar este inconveniente se ha solicitado ayuda de personal del INTI con experiencia en el tema. Otro tema de discusión se debió al problema surgido con la impresora de tintas de nanopartículas de la Fundación Argentina de Nanotecnología, esto llevo a replantear las tareas a realizar a fin de quedar parados hasta la puesta en marcha.

#### **4.10.2. Periodo 2016**

Por haberse realizado principalmente tareas de investigación de tecnologías y normativas, no existe tema alguno de discusión.

## 5. Conclusiones

Se ha logrado cumplir casi la totalidad de las actividades planteadas en el GANTT del proyecto, lo que ha generado como consecuencia una familiarización por parte del grupo de investigación con técnicas, equipamiento y materiales relacionados a la electrónica impresa, tecnologías de comunicación de corto alcance, aplicaciones de las mismas para la trazabilidad de productos y el desarrollo de aplicaciones, tanto a nivel hardware como software.

La actividad 6, Diseño e implementación de un “Banco de ensayos de antenas y dispositivos microelectrónicos de comunicación inalámbrica de corto alcance”, no logro finalizarse a raíz de las dificultades que se presentaron en la interpretación de las normas asociadas. Los componentes para el banco fueron totalmente elaborados, tal como se detalla en la sección 4.6.2, no lográndose hacer los ajustes necesarios para realizar las pruebas sobre los dispositivos desarrollados.

En lo que respecta a los objetivos, problemas técnicos sufridos por el equipo de impresión de tintas (CeraPrinter X-Serie) impidieron llegar a realizar la escritura sobre distintos envases y fabricación de las primeras etiquetas, lográndose tan solo realizar las primeras pruebas de impresión, tal como se documenta en la sección 4.3.2.6.

Todo el conocimiento adquirido ha permitido realizar transferencias en múltiples congresos lo que da lugar a que más gente comience a tener interés y se interiorice en la temática. La finalización de la puesta en marcha del banco de ensayos, así como las pruebas sobre las etiquetas desarrolladas en impresos convencionales y la implementación y pruebas de etiquetas sobre distintos materiales se finalizarán en el marco de un proyecto PICTO, en el cual el grupo continúa investigando la temática planteada en este proyecto.

## 6. Bibliografía

- [1] Luis Fernando Aráoz, "Trazabilidad de la Carne Bovina en la Argentina," Enero 2004
- [2] Steriltech, "Trazabilidad de la sangre", <http://steriltech.net/iberia/trazabilidad-de-la-sangre.html>, última visita 14 de Agosto 2016
- [3] Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, "Normativa Nacional", <http://www.anmat.gov.ar/trazabilidad/normativa.asp>, última visita 14 de Agosto 2016
- [4] Telectrónica – Compartiendo soluciones, "RFID en la Industria Automotriz", <http://telectronica.com/volkswagen/>, última visita 14 de Agosto 2016
- [5] Diario La Nación ""Parquímetros: sólo se podrá pagar con la tarjeta SUBE"" <http://www.lanacion.com.ar/1891974-parquímetros-solo-se-podra-pagar-con-la-tarjeta-sube>, última visita 14 de Agosto 2016
- [6] STMicroelectronics "TN1216 - Technical Note - NFC guide," Junio 2015
- [7] NXP Semiconductors N.V. "NFC Everiwhere," Febrero 2015
- [8] <http://www.ecma-international.org/>, última visita 14 de Agosto 2016
- [9] <https://os-s.net/>, última visita 14 de Agosto 2016
- [10] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agrolimentaria, "Trazabilidad", <http://www.senasa.gov.ar/informacion/mas-informacion/trazabilidad>, última visita 17/07/2016
- [11] Nicolás Clemares, Andrés Moltoni, Luciana Moltoni, Lucas Schaab, Ricardo Garro, "Evaluación de un sistema de trazabilidad para miel aplicado en salas de extracción" Congreso Argentino de AgroInformática, CAI 2013
- [12] Moltoni, A., Clemares, N, Gorandi, E., Moltoni L. "Tecnologías electrónicas aplicadas a la trazabilidad apícola", fecha desconocida
- [13] Daniel Antonio Chavarría Chavarría, "Tecnología de comunicación de campo cercano (NFC) y sus aplicaciones", Julio 2001
- [14] RFIDPOINT La comunidad de RFID en Latinoamérica, <http://www.rfidpoint.com/>, última visita 14 de Agosto 2016
- [15] M. Shakila Banu, P. Sasikala, V. Kavitha, G. Yazhini, Lavanya Rajamani and Aruna Dhanapal, "Radio frequency identification (RFID): state of the art and its applications in food processing" Octubre 2011
- [16] Martínez Pérez M, Vizoso Hermida JR, Rimada Mora A, Broullón Molanes FJ, Díaz Candamio J, Espiñeira García D, Portela Fernández C, Carrajo García L, Penas Garrido A, "Estado del arte de la tecnología RFID en el ámbito sanitario", Abril-Julio 2009
- [17] Román Alexis Báez LLancafil, José Luis Chacano Núñez, "Tecnología RFID para el reconocimiento y asignación de pallets y rollos de cartulina en bodega," 2013
- [18] Raúl Serna Mulero, "Implantación de un sistema RFID para obtener trazabilidad en la cadena de suministros," Mayo 2014
- [19] Roy Want, "An Introduction to RFID Technology," Enero-Marzo 2006
- [20] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification," Segunda edición 2003
- [21] <http://www.ceradrop.com/en/products/x-serie/>, última visita 14 de Agosto 2016.
- [22] Ing. María Laura Lefevre, elaborado para la Fundación Argentina de Nanotecnología, "Informe de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva en Tecnologías de Electrónica Impresa", Enero 2016.
- [23] Methode Electronic, Inc, "Tintas conductivas y resistivas", <http://es.methode.com/sensors-and-switches/conductive-and-resistive-inks.html>, última visita 20/12/2016
- [24] Raghu Das, "Printed & Hybrid Electronics: Market Status, Innovations and Products", IDTechEx.
- [25] NXP, "NT3H2111/NT3H2211 - NTAG I2C plus, NFC Forum Type 2 Tag compliant IC with I2C interface", [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/NT3H2111\\_2211.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/NT3H2111_2211.pdf), última visita 20/12/2016.



- [26] NXP, “AN11276 NTAG Antenna Design Guide”, Rev. 1.5 — 27 April 2016.
- [31] Hopkinson, M. (2015, Agosto 27).” With silicon pushed to its limits, what will power the next electronics revolution?”. Extraída el 15/V/2017 desde <https://phys.org/news/2015-08-silicon-limits-power-electronics-revolution.html>
- [32] Shankland, S. (2015, Abril 17). “Adios, silicon: Why exotic designs are the future for the chips in your gadgets”. Extraída 17/V/2017 desde <https://www.cnet.com/news/life-after-silicon-how-the-chip-industry-will-find-a-new-future/>
- [33] Joseph S. Chang, Senior Member, IEEE, Antonio F. Facchetti, and Robert ReussA (Marzo 2017).” Circuits and Systems Perspective of Organic/Printed Electronics: Review, Challenges, and Contemporary and Emerging Design Approaches”. Extraída 17/VI/2017 desde <http://ieeexplore.ieee.org/document/7875098/>
- [34] Perelaer, J. et al. (2010). Printed electronics: the challenges involved in printing devices, interconnects, and contacts based on inorganic materials. *J. Mater. Chem.* 20, 8446–8453.
- [35] Cantatore, Eugenio (2012). *Applications of Organic and Printed Electronics: A Technology-Enabled Revolution*. New York: Springer.
- [36] George Shaker, Ho-Seon Lee, Safieddin Safavi-Naeini, y Manos Tentzeris (2011). *Printed Electronics for Next Generation Wireless Devices*. Ponencia presentada en 2011 Loughborough Antennas & Propagation Conference. Loughborough, UK.
- [37] Aminy E. Ostfeld, Igal Deckman, Abhinav M. Gaikwad, Claire M. Lochner y Ana C. Arias (2015). “Screen printed passive components for flexible power electronics”. *Scientific Reports* 5, Article number: 15959. Extraída el 15/V/2017 desde: <https://www.nature.com/articles/srep15959>.
- [38] Canziani, Monica; Lupi, Daniel; Ortiz, Juan José; Slawiski, Javier y Zaradnik, Ignacio (2016, Octubre 26). *Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos*. Paper presentado en el VII Congreso de Microelectronica Aplicada. San Luis, Argentina.
- [39] Lupi, Daniel; Zaradnik, Ignacio; Turconi, Diego; Dominguez, Facundo (2017, Agosto 10). *Sistema de visualización de precios para supermercados*. Paper presentado en el VIIA Congreso Argentino de Sistemas Embebidos. Buenos Aires, Argentina.
- [40] Saleem Khan, Leandro Lorenzelli y Ravinder Dahiya (2015). *Technologies for Printing Sensors and Electronics over Large Flexible Substrates*. *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 15, NO. 6, pp 3164-3185.
- [41] Ashok Sridhar, Thomas Blaudeck, Reinhard R. Baumann (2011). Inkjet “Printing as a Key Enabling Technology for Printed Electronics. *Material Matters*” Volume 6 Article 1. Extraída el 15/V/2017 desde: [http://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/materials-science/material-matters/material\\_matters\\_v6n1.pdf](http://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/materials-science/material-matters/material_matters_v6n1.pdf).
- [42] K. H. Roth et al., *Material wissenschaft und Werkstofftechnik* 32 (2001) 789.
- [43] J.M. Xu, *sintéticos metales* 115 (2000) 1.
- [44] Miriam Martín Macias (2011). *Tintura digital de tejidos con colorantes dispersos y reactivos* [Tesis de maestría]. Barcelona :Universidad Politecnica de Catalunya.
- [45] Zhen Cui (2016). *Printed Electronics Materials , Technologies and Applications*. Singapore: John Wiley & Sons .
- [46] “Tintas de grafeno en la Universidad de Cambridge”. Extraída el 25/VIII/2017 desde <http://www.3neo.org/noticias/i/3267/48/tintas-de-grafeno-en-la-universidad-de-cambridge>.
- [47] Herrero, Pablo, et.al. (2013). *Pautas para la legibilidad de la información*. 1a ed. , San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, ISBN 978-950-532-207-7.
- [48] Venkata Krishna Rao R., Venkata Abhinav K., Karthik P. S. and Surya PrakashSingh (2015). “Conductive silver inks and their applications in printed and flexible electronics”. *The Royal Society of Chemistry* 2015, 5, pp 77760-77790.
- [49] Jiménez Trillo ( 2011) . [Tesis de doctoral]. *Nueva tecnología litográfica de bajo coste basada en micro-erosión por arco compatible con el procesado sobre gran área de dispositivos orgánicos flexibles*. Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.
- [50] K. H. Roth et al., *Material wissenschaft und Werkstofftechnik* 32 (2001) 789 Extraído 15/VI/2016 de [http://copro.com.ar/Electronica\\_impresa.html](http://copro.com.ar/Electronica_impresa.html).

- [51] R. R. Søndergaard, M. Hösel, and F. C. Krebs (2013), "Roll to Roll fabrication of large area functional organic materials," J. Polymer Sci. Part B: Polymer Phys., vol. 51, pp. 16-34 2013.
- [52] Erika Hrehorova, Alexandra Pekarovicova, V.N. Bliznyuk, and Paul D.Fleming(2007, Septiembre 16). Polymeric Materials for Printed Electronics and Their Interactions with Paper Substrates. 23rd, International conference on digital printing technologies. Anchorage, Alaska.
- [53] D. Sung, V. A. de la Fuente, and V. Subramanian, "Scaling and optimization of gravure-printed silver nanoparticle lines for printed electronics," IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies , Volume: 33, Issue: 1, (March 2010 )
- [54]"Copper Nanoparticle Inks for Printes Electronics". Extraída el 23/XI/2016 desde: [http://web.cut.ac.cy/mep/wp-content/uploads/sites/50/2017/04/PLASMAS\\_Flyer\\_D6.11.pdf](http://web.cut.ac.cy/mep/wp-content/uploads/sites/50/2017/04/PLASMAS_Flyer_D6.11.pdf)
- [55] Data Sheet Cera Print X-Serie . Extraído el 15/VII/2017desde: [http://www.ceradrop.com/content/uploads/2016/04/CeraPrinter\\_X-Serie.pdf](http://www.ceradrop.com/content/uploads/2016/04/CeraPrinter_X-Serie.pdf)
- [56] Inkjet Printing as a Key Enabling Technology for Printed Electronics Extraído el 15/VII/2017 de :<http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/material-matters/inkjet-printing-as.html>
- [57] La evolución de la tecnología inkjet .Extraído el 7/VII/2017 de : <http://www.interempresas.net/Graficas/Articulos/42560-La-evolucion-de-la-tecnologia-Inkjet.html>
- [58] Conductive Ink Markets 2017-2027: Forecasts, Technologies, Players Read .Extraído el 27/VIII/2017 de <http://www.idtechex.com/research/reports/conductive-ink-markets-2017-2027-forecasts-technologies-players-000521.asp>
- [59] Dimatix Materials Printer DMP-2850. Extraído el 27/VIII/2017 de [http://www.fujifilmusa.com/products/industrial\\_inkjet\\_printheads/deposition-products/dmp-2800](http://www.fujifilmusa.com/products/industrial_inkjet_printheads/deposition-products/dmp-2800).
- [60] Barcelona Microelectronics Institute chooses CeraPrinter X-Serie. Extraído el 27/VIII/2017 de : <https://www.printedelectronicsworld.com/articles/10243/barcelona-microelectronics-institute-chooses-ceraprinter-x-serie>.
- [61] Sapphire QS-256/30 AAA Extraído el 7/VII/2017 de [www.dimatix.com](http://www.dimatix.com) Sapphire QS-256-30 AAA.
- [62]Bullido Alonso, Pablo.(2015) *Construcción y caracterización de condensadores flexibles en base a nano partículas metálicas*. [Tesis de especialización] Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- [63]Perelaer, J. et al. (2010). "Printed electronics: the challenges involved in printing devices, interconnects, and contacts based on inorganic materials". Journal of Materials Chemistry. 20, pp8446–8453.
- [64] Arroyo Cuyubamba (2014). Silver-Copper Core-Shell nanoparticles as additives to functionalize plastics through extrusion process .Theorema - UNMSM Volumen 1 - Nº 1 .
- [65]Tintas conductivas . Extraído el 7/VII/2017 de: <http://www.thegraphenebox.com/es/tintas-conductivas/tinta-de-grafeno-base-acuosa-aglutinante-11.html>
- [66]Ink-Jet Printed Graphene Electronics (2012) F. Torrisi, T. Hasan, W. Wu, Z. Sun, A. Lombardo, T. Kulmala, G. W. Hshieh, S. J. Jung, F. Bonaccorso, P. J. Paul, D. P. Chu, A. C. Ferrari\* Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge CB3 0FA, UK - Extraído el 7/VII/2017 de: <http://www.3neo.org/noticias/i/3267/48/tintas-de-grafeno-en-la-universidad-de-cambridge>
- [67]"Científicos españoles desarrollan tinta de grafeno para impresoras 3D" Extraído el 7/VII/2017 de: <http://imprimaria3d.com/noticias/2015/02/13/004305/cient-ficos-espa-oles-desarrollan-tinta-grafeno-impresoras-3d>
- [68] "Propiedades fundamentales y aplicaciones del grafeno y otros materiales bidimensionales" Extraído el 7/VII/2017 de: <https://materiales.imdea.org/proyecto/mad2d/>
- [69]Suprem R. Das, Qiong Nian, Allison A. Cargill, John A. Hondred, Shaowei Ding, Mojib Saei, Gary J. Cheng, Jonathan C. Claussen(2016). "3D nanostructured inkjet printed graphene via UV-pulsed laser irradiation enables paper-based electronics and electrochemical devices." Nanoscale .DOI: 10.1039/C6NR04310K.
- [70]Grace Roger (2015). "Printable/flexible sensors add new options for designers". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://interlinkelectronics.com/news/newsrel54.pdf>
- [71]Ritesh Tipnis, Darin Laird, Mathew Mathai (2008). "Polymer-based Materials for Printed Electronics: Enabling High Efficiency Solar Power and Lighting". Material Matters 2008, 3.4, 92.

- [72] Dae-Hyeong Kim et al. (2008). "Stretchable and Foldable Silicon Integrated Circuits". SCIENCE, VOL 320, pp 507-511.
- [73] Nurdan Demirci Sankır (2005). Flexible electronics: Materials and device fabrication. Blacksburg, Virginia.
- [74] Neftalí Núñez Mendoza (2001), Electrónica de polímeros. Panorámica, Sección Departamental de electrónica física EUITT; Universidad Politécnica de Madrid.
- [75] "Los semiconductores orgánicos permitirán dispositivos más ecológicos y baratos". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <https://blogthinkbig.com/semiconductores-organicos>.
- [76] "An all-inkjet printed flexible capacitor on a textile using a new poly(4-vinylphenol) dielectric ink for wearable applications." Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6411117/>
- [77] "A new nanocomposite dielectric ink and its application in printed thin-film transistors". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353814000359>
- [78] "Room temperature curable zirconium silicate dielectric ink for electronic applications"(2015). Extraído el 25/VII/2017 desde: [https://www.researchgate.net/publication/280836793\\_Room\\_temperature\\_curable\\_zirconium\\_silicate\\_dielectric\\_ink\\_for\\_electronic\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/280836793_Room_temperature_curable_zirconium_silicate_dielectric_ink_for_electronic_applications).
- [79] "Compatibilidad entre sustratos y tintas en la fabricación de empaques". Extraído el 25/VII/2017 desde: <http://www.elempaque.com/temas/Compatibilidad-entre-sustratos-y-tintas-en-la-fabricacion-de-empaques+5083414?pagina=4>.
- [80] "Design Options Abound with Printed Electronics". Extraído el 25/VII/2017 desde: <http://www.dupont.com/products-and-services/electronic-electrical-materials/printed-electronics.html>.
- [81] "Material for Microcircuit - Printed Electronics". Extraído el 20/VIII/2017: [http://anapro.com/eng/aboutus/About\\_ANP.html](http://anapro.com/eng/aboutus/About_ANP.html).
- [82] "NovaCentrix: Setting the standard in printed electronics". Extraído el 20/VIII/2017: <https://www.novacentrix.com/>
- [83] "Inks Summary". Extraído el 20/VIII/2017 desde: [https://www.novacentrix.com/sites/default/files/pdf/NC\\_Inks\\_Summary\\_2017NEW.pdf](https://www.novacentrix.com/sites/default/files/pdf/NC_Inks_Summary_2017NEW.pdf).
- [84] "Materials Science: Organic and Printed Electronics". Extraído el 20/VIII/2017 desde: <http://www.sigmaaldrich.com/argentina.html>
- [85] "Tintas conductivas y resistivas". Extraído el 20/VIII/2017 desde: <http://es.methode.com/sensors-and-switches/conductive-and-resistive-inks.html>
- [86] "Sustratos". Extraída del 15/VI/2017 desde: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=19352489>
- [87] William S. Wong, Alberto Salleo (2009). Flexible Electronics: Materials and applications. US: Springer International.
- [88] Khan, S., Lorenzelli, L., and Dahiya, R. (2014) Technologies for printing sensors and electronics over large flexible substrates: a review. IEEE Sensors Journal . ISSN 1530-437X
- [89] "Choosing the Right Substrates for Flexible & Printed Electronics" Extraído el 20/VIII/2017 desde: [http://www.printedelectronicsnow.com/issues/2014-11-02/view\\_features/choosing-the-right-substrates-for-flexible-printed-electronics/46383](http://www.printedelectronicsnow.com/issues/2014-11-02/view_features/choosing-the-right-substrates-for-flexible-printed-electronics/46383).
- [90] Adam C. Siegel, (et.al) (2010). "Foldable Printed Circuit Boards on Paper Substrates". Advanced Functional Materials, num.20 , pp 28-35.
- [91] Bollström, Roger (2013). *Paper for printed electronics and functionality* [Tesis doctoral]. Åbo Akademi University, Turku, Finland.
- [92] "Powercoatpaper". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://powercoatpaper.com/products/>
- [93] "TECHNICAL DATA SHEET". Extraída el 25/VIII/2017 desde: [http://powercoatpaper.com/media/Technical-Sheet-HD230\\_HD95-Mar17.pdf](http://powercoatpaper.com/media/Technical-Sheet-HD230_HD95-Mar17.pdf).
- [94] "Kapton® polyimide film". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://www.dupont.com/products-and-services/membranes-films/polyimide-films/brands/kapton-polyimide-film.html>
- [95] "Impact that lasts and lasts with DuPont™ Tyvek® for Graphics." Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://www.dupont.com/products-and-services/printing-package-printing/printing-substrates/brands/Tyvek-graphics.html>

- [96] Polyvinyl Fluoride Films (PVF). Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://www.dupont.com/products-and-services/membranes-films/pvf-films.html>
- [97] "DUPONT™ KAPTON® 200RS100". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/membranes-and-films/polyimide-films/documents/DEC-Kapton-RS-data-sheet.pdf>.
- [98] NXP, "NTAG203 NFC Forum Type 2 Tag compliant IC with 144 bytes user", Rev. 3.0 — 17 October 2011.
- [99] NXP, "PN532/C1 Near Field Communication (NFC) controller", [http://www.nxp.com/documents/short\\_data\\_sheet/PN532\\_C1\\_SDS.pdf](http://www.nxp.com/documents/short_data_sheet/PN532_C1_SDS.pdf), última visita 30/04/2017
- [100] ATMEL, "ATSAMW25MR210PB", [http://www.atmel.com/Images/Atmel-42618-SmartConnect-ATSAMW25-MR210PB\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42618-SmartConnect-ATSAMW25-MR210PB_Datasheet.pdf), última visita 30/04/2017.
- [101] NXP, "UM0701-02. PN532 User Manual", Rev.02. <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/141520.pdf?fsrch=1&sr=3&pageNum=1>, última visita 11/12/2017.
- [102] EF Elecfreaks, "Schematic", <http://www.elecfreaks.com/estore/nfc-rfid-breakout-module.html>, última visita 11/12/2017.
- [103] Erik Fosser, Ole Henrik Leister, Carl Erik Moe, "Organisations and vanilla software: What do we know about ERP systems and competitive advantage?", <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.232.3094&rep=rep1&type=pdf>, última visita 11/12/2017.
- [104] Erik Fosser, Ole Henrik Leister, Carl Erik Moe, "ERP systems and competitive advantage: Some initial results", <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.576.3678&rep=rep1&type=pdf>, última visita 11/12/2017.
- [105] Wei She, Bhavani Thuraisingham, "Security for Enterprise Resource Planning Systems", [https://www.utdallas.edu/~bxt043000/Publications/Journal-Papers/DAS/J46\\_Security\\_for\\_Enterprise\\_Resource\\_Planning\\_Systems.pdf](https://www.utdallas.edu/~bxt043000/Publications/Journal-Papers/DAS/J46_Security_for_Enterprise_Resource_Planning_Systems.pdf), última visita 11/12/2017.
- [106] Rahul Puri, "Best Practices Of ERP Implementation", <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/24750/Best%20Practices%20of%20ERP%20Implementation.pdf>, última visita 11/12/2017.
- [107] SAP ERP, <https://www.sap.com/latinamerica/products/enterprise-management-erp.html>, última visita 11/12/2017.
- [108] Oracle ERP, <https://www.oracle.com/ar/applications/erp/index.html>, última visita 11/12/2017.
- [109] SAGE ERP, <http://www.sage.es/software/erp>, última visita 11/12/2017.
- [110] Microsoft Dynamics, <https://www.microsoft.com/es-xl/dynamics365/home>, última visita 11/12/2017.
- [111] Infor ERP, <http://es.infor.com/solutions/erp/>, última visita 11/12/2017.
- [112] Epicor ERP, <http://www.epicor.com/lac/products/erp-software.aspx>, última visita 11/12/2017.
- [113] NXP, "NT3H2111/NT3H2211 - NTAG I2C plus, NFC Forum Type 2 Tag compliant IC with I2C interface", [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/NT3H2111\\_2211.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/NT3H2111_2211.pdf), última visita 20/12/2016

## **7. Anexos**

### **7.1. Anexo I**

Unidad Académica que acredita el proyecto: Departamento de Ingeniería e investigaciones tecnológicas							
Código de Proyecto: C194							
Título del Proyecto: Utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados							
Director: Lupi, Oreste Daniel							
Fecha de inicio: 01/01/2016							
Fecha de finalización: 31/12/2017							
Periodo de la rendición: 01/2017 - 12/2017							
<b>a) Bienes de consumo</b>							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
12	12	08/03/2017	Cyber Office	0002-00005225	20-14134370-0	Lector RFID/NFC c/PN532	926
14	14	12/05/2017	Mastropasqua Claudio Omar	0004-00000434	20-18388251-2	Soportes de acrilicos	193,6
15	15	17/07/2017	Grupo Editor Tercer Milenio	0004-00074848	30-69412424-7	Impresiones	143
16	16	20/07/2017	Candy-ho Electronics	0001-00016262	27-33251963-3	Lector RFID/NFC c/PN532	1350
17	17	08/08/2017	Grupo Editor Tercer Milenio	0004-00074957	30-69412424-7	Impresiones	123
18	18	31/08/2017	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00007670	Pegamento	1777,73
20	20	29/09/217	J.F Ferreteria	20-26095852-7	0002-00001550	Articulos de ferreteria	639,4
21	21	25/10/2017	Grupo Editor Tercer Milenio	0004-00077170	30-69412424-7	Impresiones	153
22	22	06/10/2017	Ferreteria Industrial Sabul	0004-00038206	30-70347564-3	Articulos de ferreteria	250,68
23	23	09/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00008969	Componentes Electronicos	1160
26	26	14/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0005-00028397	Componentes Electronicos	1990
<b>Subtotal del rubro</b>							8706,41
<b>b) Equipamiento</b>							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
23	23	09/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00008969	Decibelmetro	578
27	27	14/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00008981	Kit Raspberry Pi 3	1994,36
28	28	14/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00008982	Modem UL865	3195,13
<b>Subtotal del rubro</b>							5767,49
<b>c) Servicios de terceros</b>							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
13	13	23/03/2017	Ernesto Mater S.A	0004-00000834	30-53994396-7	Circuitos impresos	1739,38
19	19	11/09/2017	Ernesto Mater S.A	0004-00000928	30-53994396-7	Circuitos impresos	1683,58
24	24	11/09/2017	Ernesto Mater S.A	0004-0001011	30-53994396-7	Circuitos impresos	1878,5
<b>Subtotal del rubro</b>							5301,46
<b>d) Participación en eventos científicos</b>							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
1	1	10/10/2017	Servicio Taxi Bs.As	2209	27-18660719-3	Taxi Terminal	229,08
2	2	10/10/2017	Kayenta S.A	0009-00053829	30-71473095-5	Refrigerio	40
3	3	10/10/2017	Sierras de Córdoba S.A.C.I.F.A	40558642	30-54633302-3	Viaje de ida Congreso	950
4	4	11/10/2017	El Jardin	0002-00000338	33-71526950-9	Desayuno	64
5	5	11/10/2017	El Sitio Bar	0002-00066057	30-71218983-1	Almuerzo	95
6	6	11/10/2017	Patio de la Cañada Univ.Nacional de Cordoba	0002-00079057	30-71138880-6	Cena	362
7	7	12/10/2107	Univ.Nacional de Cordoba	2324973	30-54667062-3	Inscripción	800
8	8	12/10/2017	Apart Hotel Magali	0003-00007290	30-67756065-3	Hospedaje	1160
9	9	12/10/2107	-	286	-	Taxi	54,38
10	10	13/10/2017	Dulcerias	0045-01020531	30-70718602-6	Refrigerio	35
11	11	10/10/2017	Sierras de Córdoba S.A.C.I.F.A	40558643	30-54633302-3	Viaje de vuelta congreso	990
<b>Subtotal del rubro</b>							4779,46
<b>e) Trabajo de campo</b>							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
<b>Subtotal del rubro</b>							
<b>f) Bibliografía</b>							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
25	25	31/01/2018	IRAM	0083-00008342	30-52556278-2	Norma ISO/IEC 14443-2	2688
<b>Subtotal del rubro</b>							2688
<b>g) Licencias</b>							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
<b>Subtotal del rubro</b>							

h) Gastos administrativos de cuenta bancaria							
Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto	Importe
<b>Subtotal del rubro</b>							
<b>Sumatoria de todos los rubros</b>							<b>27242,82</b>

La información que consta en este rendición de fondos y detalle de movimientos de la cuenta bancaria del proyecto tiene el carácter de declaración jurada.

Lugar y fecha:.....

.....  
Firma del Director de Proyecto

.....  
Aclaración

.....  
Nº CUIL

7.2. Anexo II

7.3. Anexo III



**VII Congreso de Microelectrónica Aplicada**  
26 al 28 de Octubre de 2016 | San Luis | Argentina

Certificamos que el artículo

*"Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos"*

cuyos autores son

**Mónica Canziani, Daniel Lupi, Juan José Ortiz,  
Ignacio Zaradnik y Javier Slawiski**

ha sido aceptado en el VII Congreso de Microelectrónica Aplicada, desarrollado durante los días 26, 27 y 28 de Octubre de 2016 en San Luis.

  
Ing. Diego Costa  
Coordinador VII Congreso uEA 2016

  
Facultad de Ciencias Físicas,  
Matemáticas y Naturales  
Universidad Nacional de San Luis

  
Dr. Raúl López  
Director Departamento de Física - UNSL

  
Universidad Nacional  
de San Luis



# CASE

2017



Asociación Civil para la Promoción,  
Investigación y Desarrollo de los  
Sistemas Electrónicos Embebidos

CONGRESO ARGENTINO DE SISTEMAS EMBEBIDOS

## Agradecimiento

Agradecemos la participación de  
**“Ignacio Zaradnik, Daniel Lupi, Diego Turconi y Facundo  
Dominguez”**

por presentar el siguiente trabajo en la modalidad *Resumen*:  
**“Sistema de visualización de precios para supermercados”**  
en el Congreso Argentino de Sistemas Embebidos  
realizado del 9 al 11 de Agosto de 2017.



Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Coordinador general SASE 2017

Dr. José Lipovetzky  
Comité CASE 2017

Dra. Luciana De Micco  
Comité CASE 2017

Mg. Ing. Diego J. Brengi  
Comité CASE 2017

**SASE** 2017

**SIMPOSIO ARGENTINO DE  
SISTEMAS EMBEBIDOS**



# Certificado

POR MEDIO DEL PRESENTE, SE CERTIFICA QUE

## Ignacio Zaradnik

HA PARTICIPADO EN EL VIII CONGRESO ARGENTINO DE  
MICROELECTRÓNICA APLICADA, REALIZADO EN CÓRDOBA, EL 11, 12 Y  
13 DE OCTUBRE DE 2017 EN CARÁCTER DE **AUTOR DEL TRABAJO**  
«Procesos tecnológicos, tintas y sustratos empleados en  
electrónica impresa»



ING. MARCELA B BUSNARDO - DIR. COMISIÓN  
ORGANIZADORA IIA



FCEI/IN  
Facultad de  
Ciencias Exactas  
Físicas y Naturales

ING. RODRIGO G. BRUNI - DIR. COMISIÓN  
ORGANIZADORA UNC



**Congreso de Investigación Aplicada y Desarrollo en Nanotecnología**  
26 al 28 de Septiembre - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

**Certificamos que el título**

**Ensayos de impresión con CeraPrinter X-Serie**

**cuyos autores son**

**Villares Had, Bernardo; Lupi, Daniel; Zaradnik, Ignacio; Slawiski, Javier; Campero, Ignacio**

ha sido aceptado en el Congreso de Investigación Aplicada y Desarrollo en Nanotecnología desarrollado durante los días 26, 27 y 28 de Septiembre de 2017 en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

AG. Ing. Guillermo Venturuzzii  
Vicepresidente  
Fundación Argentina de Nanotecnología

Dra. Cristina Cambiaggio  
Secretaria  
Fundación Argentina de Nanotecnología

Ing. Daniel Lupi  
Presidente  
Fundación Argentina de Nanotecnología



# Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos

Canziani, Monica<sup>1</sup>; Lupi, Daniel<sup>1,2</sup>; Ortiz, Juan José<sup>2</sup>; Slawiski, Javier<sup>1</sup>; Zaradnik, Ignacio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Inteligencia Ambiental Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológica, Universidad Nacional de la Matanza. Buenos Aires, Argentina; <sup>2</sup>Fundación Argentina de Nanotecnología. Buenos Aires, Argentina  
[monibe52@yahoo.com.ar](mailto:monibe52@yahoo.com.ar), [javierslawiski@yahoo.com.ar](mailto:javierslawiski@yahoo.com.ar), [izaradnik@gmail.com](mailto:izaradnik@gmail.com)

**Resumen** — En este trabajo nos abocamos a realizar un estudio del estado del arte referente a las tecnologías inalámbricas para seguimiento, identificación y trazabilidad de productos. Presentamos su principio de funcionamiento, estudiamos las tecnologías disponibles actualmente, comparamos sus distintas características y ejemplificamos sus aplicaciones, haciendo principal hincapié en las que trabajan en el rango de bajas y altas frecuencias. El presente trabajo es parte de lo realizado en el marco del proyecto “Utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados”.

**Palabras claves** - RFID – Identificación por Radio Frecuencia; NFC – Comunicación por Campo Cercano

## I. INTRODUCCIÓN

La electrónica impresa es una tecnología que combina la fabricación de productos electrónicos y de impresión de texto/gráfico. Por esta combinación, se pueden fabricar productos electrónicos de alta calidad que son delgados, flexibles, usables y ligeros, de diferentes tamaños, ultra rentables y ecológicos. Se trata de un campo que lleva más de 60 años en desarrollo, no obstante, en las últimas décadas, la tecnología de impresión ha crecido con relación a los avances logrados por la tecnología de fabricación electrónica. Asimismo, existe potencial para ampliar significativamente el campo de utilización, mediante la combinación de esta tecnología con los diversos avances en nanomateriales para aplicaciones de electrónica.

Con esto en mente, se generó un proyecto que busca la formación de recursos humanos capacitados en esta área tecnológica de punta, que utilizando métodos de fabricación innovadores más rápidos y económicos, brinda una solución a las necesidades de sensores y componentes electrónicos de bajo costo y alta calidad, abriendo así el camino a aplicaciones que van desde la trazabilidad de productos hasta la denominada Internet de las Cosas.

A fin de estudiar los procesos, técnicas, materiales y otros se decidió tomar como aplicación testigo los sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos, aplicación en la cual la electrónica impresa se puede emplear para la fabricación de las antenas de los mismos. Y por lo tanto comenzar con un estudio del estado del arte de las tecnologías asociadas. Este estudio no se enfocó a ninguna aplicación en particular, a diferencia de otros trabajos, los cuales se centran en aplicaciones particulares o ámbitos

especiales [15][16][17][18], sino tan solo a ejemplificar algunos usos de ellas, como se detalla en la sección siguiente, sus principios de funcionamiento y la normativas asociadas. Importantes estos últimos al momento de validar los dispositivos desarrollados por técnicas de electrónica impresa.

## II. APLICACIONES

En la actualidad el seguimiento, la identificación y la trazabilidad de productos son aplicados en un sin fin de aplicaciones, en segmentos como el agropecuario, el médico, el automotriz, las transacciones de dinero, entre muchos otros.

En el agropecuario podemos nombrar los sistemas de trazabilidad apícola, estudiados por el laboratorio de Electrónica del Instituto de Ingeniería Rural, CIA del INTA Castelar [11] [12], o los de animales en pie y de los productos fitosanitarios y veterinarios reglamentados por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) [10]. Este último permite asegurar la trazabilidad de la carne de exportación, garantizar su inocuidad, certificar procesos de producción entre muchas otras cosas [1].

Dentro del segmento médico tenemos la trazabilidad de medicamentos, la cual fue establecida por La Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) mediante la Resolución Ministerial N°435/2011 [3], o la trazabilidad de bolsas de sangre, implementada por la empresa Steriltech que permite conseguir un mantenimiento perfecto de la cadena de frío, una distribución racionalizada, una gestión general de la reserva nacional y una garantía frente a los errores de transfusión entre otros [2].

En el sector automotriz tenemos el caso de Volkswagen quien mediante el seguimiento y la identificación de productos ha conseguido no solo bajar los tiempos de inventarios, sino también mejoras en la contabilización efectiva de activos, identificación automática y unívoca de cada producto, entre tantos [4].

En lo referente a los sistemas de pagos, el caso más resonante de los últimos años ha sido la incorporación del sistema SUBE (Sistema Único de Boleto Electrónico), el cual, no sólo se ha convertido en el único sistema de pago en los medios de transporte en Buenos Aires sino que también permite pagos de peajes, y está en vías de ser implementado en los parquímetros de la Ciudad de Buenos Aires [5]. No nos tenemos que olvidar de los sistemas de pago mediante el uso

de teléfonos celulares los cuales utilizan la tecnología conocida como de Comunicación por Campo Cercano (Near Field Communication – NFC). Esta tecnología y la utilizada por las tarjetas SUBE se encuentran reglamentadas en nuestro país por la Resolución 2519/2012 de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones.

Muchos más ejemplos de aplicaciones y casos de éxito asociados al seguimiento, la identificación y la trazabilidad de productos podemos encontrar en la página web de RFID Point [14]. Lo que nos permite ver el inagotable campo de aplicación de las tecnologías relacionadas con el seguimiento, la identificación y la trazabilidad de productos.

### III. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

En un sistema inalámbrico para el seguimiento, identificación y trazabilidad de productos se encuentran interactuando dos dispositivos. Uno de ellos lo denominaremos lector y el segundo como tags o transponder. El equipo lector es el encargado de iniciar la comunicación con el tags, cuya función es la de llevar la información de identificación del objeto, y transmitirla al lector.

Los tags se pueden clasificar por una gran variedad de factores y características, por el tipo de alimentación, por la frecuencia de trabajo, por la funcionalidad, por el protocolo y por el tipo de transferencia de energía y comunicación [17], comenzaremos clasificándolos por tipo de alimentación:

- Pasivos: Son aquellos que no necesitan una alimentación interna, la energía para que estos funcionen es extraída del campo electromagnético generado por el lector. Utilizando el acoplamiento inductivo (Campo cercano) o a través de la captura de ondas electromagnéticas (Campo lejano).
- Activos: Son aquellos que requieren estar alimentados para que pueden transmitir su información [17].

Los tags activos tienen como ventajas una mayor cobertura y una mayor capacidad de datos contra el costo y el tiempo de vida, asociado al uso de la batería, de los tags pasivos.

En lo que respecta a las frecuencias podemos considerar la siguiente clasificación:

- Baja frecuencia (120-150 KHz): Los sistemas que utilizan este rango de frecuencia tiene una distancia de lectura de sólo unos cuantos centímetros y el lector solo pueden leer un elemento a la vez.
- Alta frecuencia (13,56 MHz): Esta frecuencia es muy popular y cubre distancias de 1 cm a 1,5 m. Las etiquetas que trabajan en esta frecuencia son de tipo pasivo.
- Ultra alta frecuencia (0,3 - 1,2 GHz): La distancia entre la etiqueta y el lector puede ser de hasta 4 metros, dependiendo del fabricante y del ambiente. Estas frecuencias no pueden penetrar el metal ni los líquidos a diferencia de las bajas frecuencias, pero pueden transmitir a mayor velocidad y por lo tanto son buenos para leer más de una etiqueta a la vez.

- Microondas (2,45 – 5,8 GHz): La ventaja de utilizar un intervalo tan amplio de frecuencias es su resistencia a fuertes campos electromagnéticos, producidos, por ejemplo, por motores eléctricos, por lo tanto, estos sistemas pueden ser utilizados en líneas de producción de automóviles. Sin embargo, estas etiquetas requieren de mayor potencia y son más costosas, pero es posible lograr lecturas a distancias de hasta 6 metros. Otra aplicación es el cobro automático de peajes en autopistas, en donde se coloca un tag en los automóviles que funciona como tarjeta de prepago. En las estaciones de cobro existen lectores, antenas y sistemas que permiten realizar el cargo correspondiente, sin la necesidad de que el vehículo se detenga.

En la Tabla I se listan las tasas de transmisión de acuerdo a la frecuencia utilizada.

TABLA I.

Banda de Frecuencia		Tasa de Transmisión
120-150 kHz	Baja Frecuencia	1 kbits/s
13,56 MHz	Alta Frecuencia	25 kbits/s
433 MHz	Ultra Alta Frecuencia	100 kbits/s
865-868 MHz		
902-928MHz		
2,45-5,8 GHz	Microondas	> 100 kbits/s

En el 2002, con la finalidad de dotar de mayores prestaciones a la tecnología RFID, Philips y Sony desarrollaron la tecnología de comunicación por campo cercano conocidos como NFC (Near Field Communication). Esta ofrece prestaciones mucho más amplias que la RFID ya que aprovecha el extendido uso de los teléfonos celulares y sus capacidades de cómputo. Es una tecnología de corto alcance, hasta 10 cm, permite tags pasivos y activos, trabaja en la frecuencia de 13.56Mhz y ofrece velocidades de transmisión de datos de 106kbps, 212 kbps y 424 kbps, no estando pensada para transmitir grandes volúmenes de datos, sino más bien para intercambiar información de forma rápida, eficiente y segura [13].

En función de las funcionalidades clasificaremos los tags RFID como:

- Clase 0: sólo lectura.
- Clase 1: pueden ser escritas solamente una vez por parte del usuario o el fabricante y leídas indefinidas veces.
- Clase 2: etiquetas de lectura y escritura, poseen con una capacidad de memoria mayor que las anteriores, son usadas principalmente como identificador de productos.
- Clase 3: contienen capacidades de la clase 2 y cuentan con fuente de alimentación (batería).

- Clase 4: conservan capacidades de la clase 3, pueden comunicarse con otras etiquetas sin la necesidad de contar con la presencia de un lector.
- Clase 5: etiquetas con capacidades de la clase 4, pueden comunicarse con etiquetas de clases 0 y 1.

Y los tags NFC como [6]:

- Tipo 1: Cumplen con las especificaciones de la norma ISO/IEC 14443A. Estas son del tipo lectura/escritura aunque, pueden ser configuradas como solo lectura. La capacidad de memoria varía desde los 93 bytes a 2 kbytes y la tasa de transferencia es de 106 kbit/s. Las tarjetas tipo 1 no soportan mecanismos de anti-colisión de datos.
- Tipo 2: Cumplen con las especificaciones de la norma ISO/IEC 14443A. Estas son del tipo lectura/escritura aunque, pueden ser configuradas como solo lectura. La capacidad de memoria varía desde los 48 bytes a 2 kbytes y la tasa de transferencia es de 106 kbit/s. Las tarjetas tipo 2 soportan mecanismos de anti-colisión de datos.
- Tipo 3: Cumplen con los estándares ISO/IEC 18092 y JIS X 6319-4, excepto por la encriptación y autenticación de datos. Aunque tienen capacidad de lectura y escritura, solo pueden configurarse en modo lectura. Estas poseen 2 kbytes de memoria, su tasa de transferencia es de 212 o 424 kbit/s y soportan anti-colisión de datos.
- Tipo 4: Cumplen con los estándares ISO/IEC 14443A y B. Se encuentran configuradas de fábrica como solo lectura. Estas poseen 32 kbytes de memoria, soportan tasas de transferencia de 106, 212 o 424 kbit/s y soportan anti-colisión de datos.
- Tipo 5: Han sido recientemente adoptadas por las especificaciones del NFC Forum. Cumplen con el estándar ISO/IEC 15693, poseen hasta 8 kbytes de memoria soportando 26,48 kbit/s de tasa de transferencia y mecanismos de anti-colisión.

En lo referente a las tecnologías RFID de baja y alta frecuencia, en las cuales nos enfocaremos por ser las más empleadas en el seguimiento, identificación y trazabilidad de productos, podremos ver que las mismas se diferencian no solo por la frecuencia de transmisión, sino también por sus prestaciones y su capacidad de memoria entre otros. En las tablas II y III [9] se listan algunos de los fabricantes y las características técnicas de las tarjetas producidas por ellos.

Asociado al tipo de transferencia de energía y comunicación los tags se pueden clasificar como:

- De acoplamiento inductivo (Campo cercano)
- Captura de ondas electromagnéticas (Campo lejano) [17].

Los sistemas inalámbricos para el seguimiento, identificación y trazabilidad de productos pueden funcionar de distintos modos, asociados a la tecnología (RFID o NFC) y al tipo de alimentación de los tags (pasivos o activos).

TABLA II.

Proveedor	Tag	Frecuencia
Atmel	Temic T5557	125 kHz
	Temic T5567	
	Temic T5577	
NXP	Hitag1	125 kHz
	Hitag2	
	HitagS-256	
	HitagS-2048	
	Mifare Classic	13,56 MHz
	Mifare Desfire	
	Mifare Desfire EV1	
EM Microelectronic	Mifare Desfire EV2	125 kHz
	EM4450	
	EM4550	
	EM4205	
	EM4305	
	EM4469	
	EM4200	
	EM4100	
EM4102		
Legic	Prime	13,56 MHz
	Advant	

TABLA III.

Proveedor	Tag	Función	Memoria (bits)
Atmel	Temic T5557	Lectura Escritura	330
	Temic T5567		363
	Temic T5577		2048
NXP	Hitag1	Lectura Escritura	2048
	Hitag2		256
	HitagS-256		2048
	HitagS-2048		8K y 32K
	Mifare Classic		32K
	Mifare Desfire		16K, 32K y 64K
	Mifare Desfire EV1		1024
Mifare Desfire EV2	Solo Lectura	0	
EM Microelectronic			EM4450
			EM4550
			EM4205
			EM4305
			EM4469
			EM4200
			EM4100
	EM4102		
TK4100	Lectura Escritura	1K-16K 16K-64K	
Prime			
Legic	Advant		

Los sistemas RFID pueden funcionar en modo pasivo o activo, relacionado en forma directa con el tipo de alimentación de los tags:

- Modo de comunicación pasivo: En este modo de comunicación, la energía necesaria para el funcionamiento del tag es extraída de la señal generada por el lector, ya sea por acoplamiento inductivo o por la captura de ondas electromagnéticas. En el momento en

que el lector solicita una acción al tag, dependiendo de la funcionalidad de este, se genera la señal que lo alimenta. Recibida esta señal, el tag es alimentado y realiza la acción pudiendo ser la transmisión de su código de identificación o almacenando información en su memoria.

- Modo de comunicación activo: En este modo, los tags no requieren esperar que el lector emita una señal para energizar sus circuitos, ya que poseen una batería interna que alimenta constantemente a su lógica. La etiqueta puede estar emitiendo constantemente la información hasta que el lector la detecte.

Los sistemas NFC pueden considerarse como una subcategoría de los sistemas RFID, con la particularidad de que en estos, los tags pueden encontrarse representados por un tag propiamente dicho, o por un dispositivo inteligente tal como un teléfono celular. De aquí que los sistemas NFC soportan 3 modos de comunicación [7]:

- Modo lectura/escritura: Este modo de funcionamiento es similar al modo pasivo previamente descrito, es decir se dispone de un dispositivo encargado de iniciar la transacción el cual genera el campo de RF (señal generada por el lector), luego, lee datos o escribe datos a un segundo dispositivo NFC, pudiendo ser una tarjeta inteligente, un tag o un teléfono celular funcionando en modo simulación. El segundo dispositivo no genera su propio campo RF, pero modula el campo RF creado por el primero.
- Modo punto a punto: Este modo se utiliza para establecer una doble vía de comunicación entre un par de dispositivos NFC habilitados. Cada dispositivo NFC sirve como punto final, es decir, los dos sistemas pueden iniciar una comunicación. Este modo utiliza ya sea un esquema de comunicación pasiva o activa. Su interacción es bidireccional.
- Modo de simulación de tarjeta inteligente (Tags): En este modo de funcionamiento el dispositivo NFC, el cual puede encontrarse representado por un teléfono celular, funciona como tag NFC apareciendo ante un lector externo como si se tratase de una tarjeta sin contactos. De esta manera, dispositivo NFC habilitado se puede utilizar en la infraestructura existente de tarjetas sin contacto para aplicaciones tales como venta de entradas, control de acceso, tránsito, barreras de peaje, y pagos sin contacto. Este modo de comunicación se lleva a cabo mediante un dispositivo activo NFC y un lector NFC.

El método de transmisión inalámbrico entre lector y etiqueta, cambia dependiendo de la frecuencia de operación del sistema y el tipo de aplicación (reglamentado por la normativa) entre otros.

#### IV. NORMATIVA

A continuación describiremos las normativas que rigen según las distintas aplicaciones [20]:

##### A. Identificación animal:

Las siguientes normas se refieren a sistemas de RFID usados en identificación de animales:

- ISO 11784: Estructura de los datos transmitidos;
- ISO 11785: Conceptos técnicos;
- ISO 14223: Especifica la interfaz de aire entre el transceptor y el tag que se utiliza en la identificación por radiofrecuencia de los animales, esta especificación es totalmente compatible con las de las normas ISO 11784 e ISO 11785.

##### B. Tarjetas inteligentes sin contacto:

Las siguientes normas describen las características de los tres tipos distintos de tags de acuerdo al rango de proximidad en la que se establece la comunicación:

- ISO 10536: Distancias de lectura de 0 a 1 cm;
- ISO 14443: Distancias de lectura de 0 a 10 cm;
- ISO 15693: Distancias de lectura de 0 a 1 m.

Cada una de ellas especifica la interfaz física, la interfaz de aire y la inicialización, el sistema de anticollisiones, el protocolo, etc. Además de las normas antes mencionadas existe también:

- ISO 10373: Métodos de testeo para tarjetas inteligentes sin contacto.

##### C. Uso de Tarjetas inteligentes en herramientas y dispositivos de fijación:

- ISO 69873: Describe los parámetros y métodos de funcionamiento de las tarjetas inteligentes con el rango de proximidad entre 7 y 15cm.

##### D. Uso de Tarjetas inteligentes en la Identificación de contenedores:

- ISO 10374 - Proporciona un estándar con respecto a la identificación de los contenedores de cargas basado en tags de microondas.

##### E. Sistemas antirrobo para mercancías:

- VDI 4470 proporciona una introducción práctica a la inspección y pruebas de los sistemas instalados para los sistemas de vigilancia electrónica de artículos (EAS).

##### F. Gestión de artículos en la cadena de suministros de los sistemas productivos:

- ISO 18000: Esta norma se utiliza en la identificación de artículos en la cadena de suministro de los sistemas productivos. La misma posee varias partes según la frecuencia de uso.

- Parte 1: Arquitectura y definición de parámetros a estandarizar;
- Parte 2: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencias por debajo de 135 kHz;
- Parte 3: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencia de 13,56 MHz;
- Parte 4: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencia de 2,45 GHz;
- Parte 6: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencias entre 860 MHz y 960 MHz;
- Parte 7: Parámetros para comunicaciones utilizando frecuencia de 433 MHz.
- ISO / IEC 15961: Definición de comandos en los lectores y de los tags.
- ISO / IEC 15962: Reglas de codificación de datos.
- ISO / IEC 15963: Gestión de artículos RFID.
- ISO / IEC 15459-4: Sistema de códigos de identificación únicos artículo.

#### G. Estándares específicos de NFC:

La interfaz y el protocolo para la comunicación de campo cercano se define en la norma ISO/IEC 18092 y también en las normas ECMA-340 [8] y la ECMA-352 [8], estándares de Asociación de Fabricantes de Computadoras de Europa (ECMA) [6].

##### 1) ISO/IEC 18092 –Interfaz y Protocolo NFC 1(NFCIP-1)

Este estándar define los modos de comunicación para la interfaz y protocolo NFC (NFCIP-1), utilizando dispositivos acoplados de forma inductiva que operan a una frecuencia central de 13,56 MHz a través de la interconexión con periféricos de computadoras. También define los modos operativos activo y pasivos de NFCIP-1, para configurar una red de comunicación usando dispositivos NFC para productos en red y equipamiento de consumo. En particular, especifica esquemas de modulación, codificación, tasas de transferencia y formato de la interfaz RF. También describe esquemas de inicialización y las condiciones requeridas para el control anticolidión para la inicialización como también, protocolo de transporte, incluyendo activación del protocolo y métodos de intercambio de datos.

##### 2) ECMA-340:2013 – Interfaz y Protocolo NFC 1 (NFCIP-1).

Este estándar describe la interfaz y protocolo NFC 1 (NFCIP-1), conforme a la ISO/IEC 18092.

##### 3) ECMA-352:2013 – Interfaz y Protocolo NFC 2 (NFCIP-2).

Este estándar describe la interfaz y protocolo NFC 2 (NFCIP-2), conforme a la ISO/IEC 21481.

## V. CONCLUSIONES

La selección como aplicación testigo de los sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos representa una excelente área de estudio. El inagotable campo de aplicaciones que pudimos observar, desde aplicaciones agropecuarias, médicas e industriales, nos permite una gran variedad de ámbitos para estudiar los procesos, las técnicas y los materiales asociados a la electrónica impresa.

En función de la clasificación de los tags y de los modos de funcionamiento de los sistemas se decidió enfocarnos en aquellos que funcionen con tags pasivos y cuyas frecuencias de trabajo sean bajas (120-150 kHz) y altas (13,56 MHz), dejando de lado por el momento las ultra alta frecuencias (0,3-1,2 GHz) y las microondas. Esta selección se fundamenta en la gran variedad de aplicaciones que se encuentran con dichas frecuencias, la pasividad de dichas tecnologías y la facilidad de acceso y costo de los componentes asociados. Además esta selección incluye tanto soluciones típicas de RFID como ser Mifare o Temic y las nuevas soluciones basadas en el estándar NFC.

Como trabajo futuro se plantea el estudio y diseño de antenas para los tags seleccionados, las cuales serán desarrolladas como parte del circuito impreso de los mismos, utilizando distintos tipos de formas, materiales (tintas) y sustratos. Esto nos permitirá definir las mejores opciones para cada aplicación o producto.

Se estudiará el funcionamiento de la impresora CeraPrinter X-Series de la marca Ceradrop [21], la cual posee la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) y será la herramienta para la implementación de las antenas.

Además se realizará un estudio profundo de las normativas presentadas, centrándonos en parámetros de comunicación utilizando las frecuencias seleccionadas, lo cual nos servirá para validar los diseños de antenas desarrolladas. Junto con este estudio se planteará el desarrollo de un banco de prueba donde se puedan probar los diseños previamente elaborados.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Luis Fernando Aráoz, "Trazabilidad de la Carne Bovina en la Argentina," Enero 2004
- [2] Steriltech, "Trazabilidad de la sangre", <http://steriltech.net/iberia/trazabilidad-de-la-sangre.html>, última visita 14 de Agosto 2016
- [3] Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, "Normativa Nacional", <http://www.anmat.gov.ar/trazabilidad/normativa.asp>, última visita 14 de Agosto 2016
- [4] Teletrónica – Compartiendo soluciones, "RFID en la Industria Automotriz", <http://telectronica.com/volkswagen/>, última visita 14 de Agosto 2016
- [5] Diario La Nación "Parquímetros: sólo se podrá pagar con la tarjeta SUBE" <http://www.lanacion.com.ar/1891974-parquímetros-solo-se-podra-pagar-con-la-tarjeta-sube>, última visita 14 de Agosto 2016
- [6] STMicroelectronics "TN1216 - Technical Note - NFC guide," Junio 2015
- [7] NXP Semiconductors N.V. "NFC Everiwhere," Febrero 2015
- [8] <http://www.ecma-international.org/>, última visita 14 de Agosto 2016
- [9] <https://os-s.net/>, última visita 14 de Agosto 2016



- [10] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, "Trazabilidad", <http://www.senasa.gov.ar/informacion/mas-informacion/trazabilidad>, última visita 17/07/2016
- [11] Nicolás Clemares, Andrés Moltoni, Luciana Moltoni, Lucas Schaab, Ricardo Garro, "Evaluación de un sistema de trazabilidad para miel aplicado en salas de extracción" Congreso Argentino de AgroInformatica, CAI 2013
- [12] Moltoni, A., Clemares, N., Gorandi, E., Moltoni L. "Tecnologías electrónicas aplicadas a la trazabilidad apícola", fecha desconocida
- [13] Daniel Antonio Chavarría Chavarría, "Tecnología de comunicación de campo cercano (NFC) y sus aplicaciones", Julio 2001
- [14] RFIDPOINT La comunidad de RFID en Latinoamérica, <http://www.rfidpoint.com/>, última visita 14 de Agosto 2016
- [15] M. Shakila Banu, P. Sasikala, V. Kavitha, G. Yazhini, Lavanya Rajamani and Aruna Dhanapal, "Radio frequency identification (RFID): state of the art and its applications in food processing" Octubre 2011
- [16] Martínez Pérez M, Vizoso Hermida JR, Rimada Mora A, Broullón Molanes FJ, Díaz Candamio J, Espiñeira García D, Portela Fernández C, Carrajo García L, Penas Garrido A, "Estado del arte de la tecnología RFID en el ámbito sanitario", Abril-Julio 2009
- [17] Román Alexis Báez LLancafil, José Luis Chacano Núñez, "Tecnología RFID para el reconocimiento y asignación de pallets y rollos de cartulina en bodega," 2013
- [18] Raúl Serna Mulero, "Implantación de un sistema RFID para obtener trazabilidad en la cadena de suministros," Mayo 2014
- [19] Roy Want, "An Introduction to RFID Technology," Enero-Marzo 2006
- [20] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification," Segunda edición 2003
- [21] <http://www.ceradrop.com/en/products/x-serie/>, última visita 14 de Agosto 2016.

# Sistema de visualización de precios para supermercados

Lupi, Daniel<sup>1,2</sup>; Zaradnik, Ignacio<sup>1</sup>; Turconi, Diego<sup>1</sup>; Dominguez, Facundo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Inteligencia Ambiental Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológica, Universidad Nacional de la Matanza. Buenos Aires, Argentina; <sup>2</sup>Fundación Argentina de Nanotecnología. Buenos Aires, Argentina  
izaradnik@gmail.com

Se presenta un sistema de visualización de precios para supermercados basado en tecnología RFID/NFC (Identificación por Radio Frecuencia / Comunicación de Campo Cercano). Se detalla el hardware empleado, así como el firmware y el software desarrollado. El presente trabajo es parte de lo realizado en el marco del proyecto "Utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados".

El objetivo de dicho proyecto es la formación de recursos humanos en electrónica impresa, la cual brinda una solución a las necesidades de sensores y componentes electrónicos de bajo costo y alta calidad, entre las que podemos nombrar: pantallas flexibles, etiquetas y envases inteligentes, libros interactivos, sensores de presión y temperatura, etc. Además, permite reducir el tiempo de fabricación y los costos de producción, ya que no necesita una sala limpia como en el caso de la microelectrónica. A fin de estudiar los procesos, técnicas, materiales y otros se decidió tomar como aplicación testigo los sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos, la cual dio nombre al proyecto, donde la electrónica impresa se puede emplear para la fabricación de las antenas de los mismos. Esta decisión representa una excelente área de estudio, a raíz del inagotable campo de aplicaciones que pudimos observar, como por ejemplo aplicaciones agropecuarias, médicas e industriales, que nos permite una gran variedad de ámbitos para el estudio de los procesos, las técnicas y los materiales asociados a la electrónica impresa.

Como parte del proyecto se planteó: un estudio del estado del arte de la tecnología asociada a los sistemas planteados [1]; un estudio de las distintas tintas, sustratos y materiales empleados en electrónica impresa; el desarrollo de una metodología para el diseño de las antenas; la elaboración de un banco de pruebas para las antenas diseñadas; y la implementación de una aplicación concreta de la tecnología. Entre las distintas aplicaciones se decidió por un sistema de visualización de precios para supermercados. La decisión se basó en la gran variedad de sustratos que ofrecen los distintos productos de un supermercado, lo que permite evaluar fácilmente el potencial de la Electrónica impresa.

El sistema está formado por: tags RFID/NFC, colocados en cada producto; un dispositivo lector-visualizador; un software de base de datos; y un software de gestión. Estos últimos dos

elementos forman parte de un modesto sistema EPR (enterprise resource planning - sistemas de planificación de recursos empresariales). Estos sistemas están pensados para proyectar y gestionar todos los recursos y sus usos en una compañía, y optimizar e incorporar todos los procesos de la organización. Sus aplicaciones van desde logística y transporte hasta el ámbito aeroespacial y defensa [2], y sus funcionalidades o módulos básicos incluyen: administración financiera; de recursos humanos; de producción; de ventas, distribución y logística; de la relación con los clientes y proveedores; de la cadena de suministros entre otros [3].

A raíz que la implementación del sistema se realizó en simultáneo con las otras tareas, es que para el mismo se emplearon tags comerciales y no los desarrollados. Los tags empleados están basados en el chip NTAG203 de NXP [4], compatible con los tag Tipo 2 de NFC Forum, figura N°1a. La figura N°1b muestra una imagen del lector empleado para la aplicación, el cual está basado en el chip PN532 de NXP [5]. El mismo soporta los estándares ISO/IEC 14443A/B.

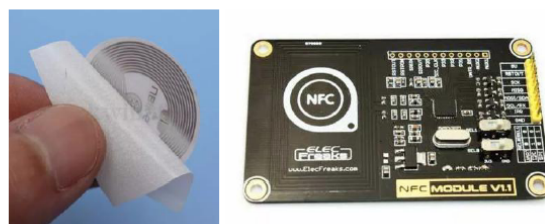


Figura N°1a. Tag NFC. N°1b Lector NFC

Se empleó la interfaz UART del dispositivo lector para conectarse con la placa de control y comunicación, la cual es el kit de desarrollo del módulo ATSAMW25[6]. El mismo está formado por un microcontrolador Cortex M0+ (ATSAMD21) y un transceptor de Wifi (ATWINC1500). A fin de visualizar la descripción y el precio del producto se conectó a la interfaz I2C un display de 16x2 caracteres de la firma Winstar, la figura N°2 presenta una imagen del sistema.

El sistema funciona de la siguiente manera: el producto, del cual se desea hacer la consulta, se acerca al lector; este realiza la lectura del número de identificación (ID) del tag y lo envía a través del puerto UART al módulo de control y comunicación; recibido el dato y verificada su integridad el mismo se reenvía a través de una conexión Wifi a un servidor

de base de datos; recepcionado el dato se busca en la base de datos la descripción y el costo, los cuales se envían al módulo de control y comunicación a través de la misma conexión Wifi y finalmente los datos se presentan en el display de caracteres asociado al módulo.

Para el desarrollo del firmware se tomó como base del proyecto el ejemplo WINC1500\_WIFI\_SERIAL\_EXAMPLE, el cual es parte del Atmel Software Framework 3.29.0 (ASF) incluido en el IDE. El ejemplo transmite la información recibida por el puerto serie a una dirección IP. Como parte del proyecto se implementó la configuración de parámetros (dirección IP, el puerto, el nombre y la clave de la red Wifi) a través del puerto serie, la comunicación por I2C y el manejo del display.

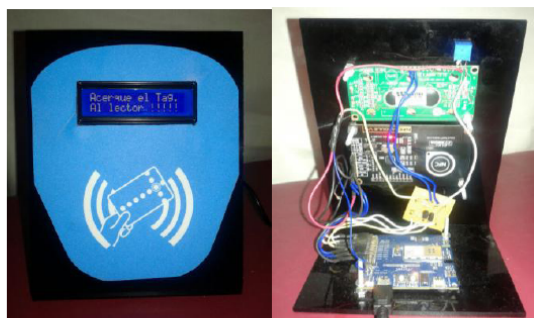


Figura N°2. Hardware del sistema.

En lo que respecta al software de base de datos y gestión se implementó un bloque que podría ser parte de muchos de los módulos previamente mencionados. Dicho bloque se encargará del Alta/Baja/Modificación de productos. La figura N°3 presenta la pantalla principal y la de nuestro módulo.



Figura N°3. Interfaz del Software.

El software desarrollado posee la misma arquitectura de los sistemas ERP, servidor / cliente con tres niveles, formada por tres capas lógicas: una capa de presentación, la cual consta de una interfaz gráfica de usuario; una capa de aplicación,

compuesta por programas que reciben y procesan las solicitudes generadas por los usuarios a través de la capa de presentación y una capa de base de datos, donde se gestionan los datos operativos y empresariales de toda la empresa [3].

Para el desarrollo de la capa de base de datos se empleó MySQL [7], el cual es un sistema de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario con licencia GNU GPL y para las capas de presentación y aplicación se empleó la versión de prueba de LabWindows/CVI [8], el cual es un entorno de desarrollo integrado ANSI C de National Instruments que incluye herramientas de ingeniería con bibliotecas integradas para análisis y diseño de UI (interfaces de usuario).

El desarrollo realizado logra ejemplificar de modo sencillo el uso de la tecnología asociada a los sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados, y el uso de dispositivos RFID/NFC para este tipo de aplicaciones.

Si bien no fueron tenidas en cuenta cuestiones de seguridad en la comunicación inalámbrica, el módulo ATSAMW25 posee el circuito integrado de criptoautenticación ATECC508, el cual a futuro permitiría mejorar la seguridad.

Si bien, como se planteó previamente, el sistema se realizó en simultáneo con las otras tareas por lo que se usaron tags comerciales, y no los diseñados e impresos por nosotros, se evaluó el sistema con tags pertenecientes al kit de desarrollo de chip seleccionado, NT3H2111 [9]. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios además de que permitió evaluar distintos factores de forma y sustratos.

## REFERENCIAS

- [1] Canziani, Monica; Lupi, Daniel; Ortiz, Juan José; Slawiski, Javier; Zaradnik, Ignacio, "Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos", Congreso de microelectrónica aplicada 2016, San Luis, Argentina.
- [2] Erik Fossen, Ole Henrik Leister, Carl Erik Moe, "ERP systems and competitive advantage: Some initial results", <http://www.diku.dk/~henglein/3gERP-workshop-2008/papers/fosser-leister-moe-newman.pdf>, última visita 30/04/2017.
- [3] Wei She, Bhavani Thuraisingham, "Security for Enterprise Resource Planning Systems", [https://www.utdallas.edu/~bxt043000/Publications/Journal-Papers/DAS/146\\_Security\\_for\\_Enterprise\\_Resource\\_Planning\\_Systems.pdf](https://www.utdallas.edu/~bxt043000/Publications/Journal-Papers/DAS/146_Security_for_Enterprise_Resource_Planning_Systems.pdf), última visita 30/04/2017.
- [4] NXP, "NTAG203 NFC Forum Type 2 Tag compliant IC with 144 bytes user", Rev. 3.0 — 17 October 2011.
- [5] NXP, "PN532/C1 Near Field Communication (NFC) controller", [http://www.nxp.com/documents/short\\_data\\_sheet/PN532\\_C1\\_SDS.pdf](http://www.nxp.com/documents/short_data_sheet/PN532_C1_SDS.pdf), última visita 30/04/2017.
- [6] ATMEL, "ATSAMW25MR210PB", [http://www.atmel.com/Images/Atmel-142618-SmartConnect-ATSAMW25-MR210PB\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-142618-SmartConnect-ATSAMW25-MR210PB_Datasheet.pdf), última visita 30/04/2017.
- [7] MySQL, <https://www.mysql.com/>, última visita 30/04/2017.
- [8] National Instruments, <http://www.ni.com/lwcv/whatis/esa/>, última visita 30/04/2017.
- [9] NXP, "NT3H2111/NT3H2211 - NTAG I2C plus, NFC Forum Type 2 Tag compliant IC with I2C interface", [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/NT3H2111\\_2211.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/NT3H2111_2211.pdf), última visita 20/12/2016.

# Procesos Tecnológicos, Tintas y Sustratos empleados en Electrónica Impresa

Canziani, Monica<sup>1</sup>; Zaradnik, Ignacio<sup>1</sup>; Tantignone, Hugo<sup>1</sup>; Lupi, Daniel<sup>1,2</sup>; Villares Had, Bernardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Inteligencia Ambiental Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológica, Universidad Nacional de la Matanza. Buenos Aires, Argentina; <sup>2</sup>Fundación Argentina de Nanotecnología. Buenos Aires, Argentina  
[monibe52@yahoo.com.ar](mailto:monibe52@yahoo.com.ar), [izaradnik@gmail.com](mailto:izaradnik@gmail.com)

**Resumen** — En este trabajo se realizará un estudio de los procesos tecnológicos asociados a la electrónica impresa, así como también las principales características de tintas y sustratos utilizados en la misma. El presente trabajo es parte de lo desarrollado en el marco del proyecto “Utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados”.

**Palabras claves** – Flexografía; Serigrafía; Inkjet; Tintas conductivas; Tintas dieléctricas; Sustrato

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad no se puede concebir la vida sin la participación de dispositivos electrónicos, los cuales han logrado que la misma sea mucho más confortable. Pero la tecnología en la cual están basados estos dispositivos electrónicos, la tecnología del silicio, está encontrando límites para su mayor adopción. Uno de ellos, y tal vez el más difundido, es la escala de integración, es decir el tamaño de los transistores que integren los dispositivos, para el cual se están evaluando distintas alternativas [1][2]. Otros limitantes que están frenando la mayor integración de la electrónica en nuestros días son la superficie de trabajo disponible, un factor de forma flexible, el bajo consumo de operación, el peso, el requerimiento de materiales no contaminantes, entre otros. Como solución a estos limitantes se presenta la electrónica impresa, que es un conjunto de métodos de impresión utilizados para crear dispositivos eléctricos en varios sustratos.

Con el desarrollo de nuevas tintas y sustratos se plantean novedosas aplicaciones en sectores existentes y otros de reciente surgimiento, entre ellas podemos nombrar: energía fotovoltaica, electrodos de borde de la pantalla, electrónica del automóvil, e-textiles y electrónicos portátiles, dispositivos de RFID, sensores piezorresistivos, capacitivos y biosensores impresos, OLED y un gran sector de la iluminación LED [3][4][5].

Por lo expuesto se ha planteado la formación de un grupo de investigación en esta temática, con el objetivo principal de la formación de recursos humanos en electrónica impresa. A fin de estudiar los procesos, técnicas, materiales y otros se decidió tomar como aplicación testigo los sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos. Esta decisión representa una excelente área de estudio, a raíz del inagotable campo de aplicaciones que pudimos observar, como por ejemplo aplicaciones agropecuarias, médicas e industriales, que nos permite una gran variedad de ámbitos para el estudio de los procesos, las técnicas y los materiales asociados a la electrónica impresa.

Como parte del proyecto se planteó: un estudio del estado del arte de la tecnología asociada a los sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados [6]; un estudio de los procesos tecnológicos, las tintas y sustratos empleados en electrónica impresa, lo que nos aboca en este trabajo; el desarrollo de una metodología para el diseño de las antenas; la elaboración de un banco de pruebas para las antenas diseñadas; y la implementación de una aplicación concreta de la tecnología [7].

## II. PROCESOS TECNOLÓGICOS

Joseph S. Chang et al. [8] presenta una revisión de circuitos electrónicos impresos, abarcando circuitos digitales, analógicos, de señal mixta y, por último, varios "sistemas" de electrónica impresa (sistemas RFID, OLED, array de micrófonos). En cada uno de ellos hace referencia a los procesos de fabricación de los mismos, haciendo en un primer lugar una división entre procesos *aditivos* y *sustractivos*. En general, debido a que los procesos sustractivos requieren grabado (etching) y/o despegue (lift-off), las etapas de procesamiento no sólo son complejas y requieren una infraestructura sofisticada/intensiva, sino que también implican el uso de productos químicos tóxicos/corrosivos, suelen trabajar a altas temperaturas (PET de bajo costo no se puede utilizar), son lentas, y a menudo no escalables (por ejemplo, no se puede imprimir tamaño de papel tapiz). Sin embargo, los procesos sustractivos a menudo producen un mejor rendimiento en términos de movilidad del portador, mayor resolución y variaciones reducidas. La figura N°1 resume los diferentes procesos de impresión de electrónica impresa, clasificándolos como aditivos y sustractivos. En el eje de abscisas del gráfico se presenta el grado de resolución que puede obtener la tecnología. Una menor resolución siempre es deseada, ya que esto implica menores parámetros parásitos y mayores velocidades de trabajo. En el eje ordenadas se representa el rendimiento de la tecnología, el cual está medido en  $m^2/s$  y representa la rapidez del proceso de impresión.

Otras formas de clasificar los procesos tecnológicos son: si se realiza contacto o no en el mismo, si es analógico a digital, en función de la escalabilidad y de la temperatura de trabajo.

En el proceso de impresión por contacto, estructuras con patrones a transferir, previamente entintados, se ponen en contacto físico con el sustrato. En un proceso sin contacto, la tinta se distribuye a través de aberturas o boquillas. El contacto puede causar efectos no deseados, tales como contaminación y perturbación de la estructura física del

sustrato, Saleem Khan et al. [9] abordan el estudio desde este enfoque.

El proceso analógico usa mascarar para los patrones de capas (flexografía o huecograbado), mientras que el digital no (Inkjet o Aerosoljet), la premisa básica de los procesos digitales es el posicionamiento preciso de una gota de líquido o sólido de un volumen pequeño en función de la información de un archivo digital. Los procesos digitales son más sencillos y ofrecen un bajo costo de fabricación [10].

La escalabilidad es importante, porque si bien existen un gran número de trabajos reportados sobre materiales e impresión la escalabilidad de muchos de ellos es difícil de implementar. Los procesos más escalables son probablemente los procesos de bobina a bobina (roll to roll – R2R) que pueden presentar alto rendimiento y formatos grandes.

En función de la temperatura de procesamiento, aunque no existe una definición definitiva de "baja temperatura", sería razonable indicar que es menor a 120°C, ya que es la temperatura máxima tolerada por los sustratos de PET económicos (tereftalato de polietileno).

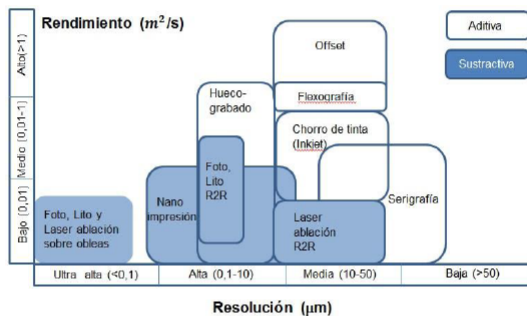


Figura N°1. Clasificación de procesos.

Para la fabricación de dispositivos electrónicos los procesos más utilizados son: serigrafía, impresión flexográfica, huecograbado, impresión off-set e impresión a chorro de tinta (inkjet) [9][12][13].

La serigrafía consiste en transferir una tinta a través de una malla tensada en un marco o bastidor, el paso de la tinta se bloquea en las áreas donde no habrá imagen, quedando libre la zona donde pasará la tinta, estas zonas representan las áreas de impresión en contacto con el sustrato que se va a imprimir [14]. Este sistema es repetitivo, una vez que el primer modelo se ha logrado, la impresión puede ser repetida cientos y hasta miles de veces sin perder definición.

La flexografía transfiere la tinta sobre el sustrato a través de un patrón con estructuras elevadas. La tinta es recogida a través de un rodillo especial, llamado Anilox, y pasada al rodillo con patrones elevados, quien a su vez transfiere la tinta sobre los sustratos que corren entre él y los cilindros de impresión. Es un método de impresión en relieve muy rápido y ha sido ampliamente utilizado para la impresión de pantalla plana. El mecanismo de impresión flexográfico es adecuado para sustratos flexibles debido a que la presión de impresión

no es elevada [9]. Este método permite capas de espesor aproximadamente 1µm y una resolución del orden de los 20µm [10].

En el proceso de huecograbado se realiza la transferencia de tintas a través del contacto físico entre un rodillo de grandes dimensiones recubierto con cobre (electroenchapado), donde se graba el patrón de impresión mediante procedimientos electromecánicos o usando laser, y el sustrato. Este método es capaz de producir patrones de alta calidad de una manera rentable en procesos R2R [9]. Este método permite un rango más amplio en los espesores de las capas, que pueden variar de 1µm a 8µm, además de ofrecer una resolución menor a 20µm [10].

La impresión offset por huecograbado es una versión avanzada de impresión por huecograbado en la que una banda elástica se utiliza para evitar daños en el cilindro debido al contacto directo con el sustrato. Esta banda toma la tinta de las ranuras del rodillo y la transfiere al sustrato. La velocidad de impresión y el espesor de la banda son los parámetros más dominantes en la calidad de la impresión [9]. Este método permite capas de un espesor muy delgado, en el orden de los 0,5µm y una resolución similar al proceso de huecograbado [10].

Todos estos procesos descriptos hasta el momento son procesos aditivos, analógicos, escalables y de baja temperatura y a excepción de la serigrafía son procesos por contacto.

El proceso de impresión por chorro de tinta, Inkjet, es una técnica para la transferencia directa de materiales. A través de este se depositan materiales en forma de solución coloidal o química por medio de boquillas micrométricas. Es un proceso sin contacto que deposita selectivamente una amplia gama de materiales sobre una amplia gama de sustratos de forma de gota a gota; los requisitos de espacio en laboratorio o industria, la inversión inicial y el tiempo de puesta en marcha para ejecutar una instalación de impresión por chorro de tinta son inferiores a la mayoría de las tecnologías de impresión; es adecuado para una amplia gama de escalas de producción, desde el prototipo hasta la producción industrial a gran escala; el consumo de tinta y el desperdicio de material son mínimos; es flexible con respecto a su posicionamiento dentro de una cadena de proceso y además puede producir películas finas estampadas, un requisito clave para la electrónica orgánica [10].

Saleem Khan et al. [9] presenta una tabla donde se puede apreciar para cada uno de los procesos antes mencionados parámetros como la resolución y el espesor de la impresión, la velocidad del proceso, el rango de viscosidad de la tinta/solución, entre otros.

En el ámbito nacional, el Centro de Micro y Nanotecnología del Bicentenario (CMNB) del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) cuenta con una impresora serigráfica semi-automática, con alineación óptica y mesada de vacío [15], y recientemente se ha adquirido un probador de impresión para laboratorio. Este último equipamiento le permitirá realizar pruebas de impresión en el laboratorio, simulando condiciones similares a las de las impresoras gráficas, en tecnologías como flexografía y

huecograbado. Asimismo, la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) cuenta con una impresora Inkjet CeraPrinter X-Serie de la empresa Ceradrop [16].

### III. TINTAS

Las tintas y los recubrimientos son un factor clave en la electrónica impresa. Debido al potencial de este mercado, los grandes y pequeños fabricantes de tintas están desarrollando productos junto con las grandes multinacionales como Sun Chemical y DuPont para crear nuevas y económicamente sólidas empresas como Plextronics, Kovio y PolyI. Existe en el mercado una gran variedad de tintas para impresión electrónica, entre las que se encuentran las tintas conductoras (compuestas por partículas de Plata, Cobre, Grafeno, polímeros, etc.), las semiconductoras y las dieléctricas o aislantes.

#### A. Tintas conductoras:

Hay dos tipos de tintas principalmente usadas. La primera es una suspensión de nanopartículas, conocida como tinta de nanopartículas (NP). La segunda es conocida como de descomposición metalorgánica (MOD), un ejemplo de esta es la disolución de una sal de plata en un solvente adecuado. Cada una tiene sus ventajas y desventajas. Las tintas MOD, por ejemplo, reduce la obstrucción de boquillas (en el caso del proceso Inkjet), y no requiere de estabilizadores coloidales. Las tintas NP tienen usualmente un mayor contenido de partículas, poseen menor resistencia de contacto y están disponibles ampliamente en el mercado [17][20].

Las tintas con nanopartículas de Ag tienen como características su alta capacidad de conductividad, buena adhesión a distintos sustratos de plástico y vidrio y además una amplia gama de temperatura de curado. Las nanopartículas de cobre no se pueden usar directamente para la elaboración de tintas conductoras debido a que se oxidan fácilmente, sin embargo, si se las recubre con algún polímero, carbono, sílica o plata pueden permanecer estables. Las nanopartículas con recubrimiento de plata presentan mejor conductividad que las anteriores, manteniendo un costo bajo [17]. Adicionalmente, las tintas de grafeno ofrecen alta transparencia, temperatura de curado baja y moderada resistencia eléctrica [18].

Entre las aplicaciones de las tintas conductoras encontramos: dispositivos de identificación por radio frecuencia (RFID), celdas fotovoltaicas, sensores para la industria automotriz, circuitos impresos flexibles, transistores de efecto de campo, conductores transparentes, etc. [18] [19] [21].

Imitando la conductividad metálica tenemos los materiales conductores orgánicos cristalinos tales como películas de poliacetileno combinadas con dopantes tipo p o tipo n. Estos materiales conductores orgánicos se clasifican como polímeros conductores intrínsecos. Saleem Khan et al. [9] presenta un interesante resumen sobre estos, sus características y aplicaciones, tanto en el empleo de tintas conductoras como semiconductoras, mientras que Erika Hrehorova et al. [22] presenta un estudio de la interacción de ellos con sustratos de papel.

#### B. Tintas semiconductoras:

Tintas basadas en materiales semiconductores son muy importantes para el desarrollo de electrónica activa y de dispositivos de sensado, como ejemplo tenemos: sensores de temperatura y humedad, energía solar e iluminación, dispositivos flexibles, pantallas de cristal líquido (LCD) y diodos orgánicos emisores de luz (OLED)[32][33][34].

Los materiales semiconductores pueden ser inorgánicos u orgánicos. Los materiales inorgánicos poseen propiedades superiores en termino de desempeño y estabilidad, pero el trabajo con ellos conlleva procesos poco compatibles con las técnicas de impresión usuales, entre las que podemos nombrar deposición en vacío y deposición química de vapor (CVD). Además el procesamiento de estos materiales en soluciones requiere altas temperaturas (entre 300-750°C, dependiendo el material), las cuales son poco compatibles con los sustratos flexibles. Como ejemplo de estos podemos nombrar el Silicio (Si), óxidos de metales de transición y Calcogenuro [9].

Los semiconductores orgánicos presentan una buena solubilidad y la adecuada dispersión, parámetros importantes desde el punto de vista de la capacidad de impresión. Los mismos se pueden dividir en tres grupos principales: polímeros conjugados, cadenas u oligómeros cortos de polímero, e híbridos orgánicos e inorgánicos. Siendo su principal diferencia la movilidad de cargas, un detalle sobre sus estructuras y las características de cada uno de estos grupos se encuentra detallada en trabajo de Nurdan Demirci Sankr [11].

#### C. Tintas dieléctricas:

Las tintas y revestimientos dieléctricos juegan un papel importante en la protección y mejora de los materiales conductores. Cuando están diseñados para ser compatibles con tintas conductoras específicas crean una capa aislante y pueden proporcionar enlaces cruzados que hacen que las tintas de plata impresas sean más duraderas. Las características de estas tintas proporcionan funcionalidades para aplicaciones específicas, incluyendo el aislamiento en tintas conductoras de película gruesa de polímero en la fabricación de interruptores de membrana y circuitos flexibles.

Algunos de los materiales dieléctricos orgánicos utilizados comúnmente en la electrónica impresa son: 4-vinilfenol (PVP), Metacrilato de metilo, Tereftalato polietileno, Poliamida, Alcohol polivinílico (PVA) y Poliestireno [9].

Ejemplos concretos del uso de tintas dieléctricas podemos encontrar en el desarrollo de un capacitor sobre una prenda textil con el uso de una tinta dieléctrica basada en polímero (4-vinilfenol) [23] y el desarrollo de transistores de película delgada basados en una nueva tinta dieléctrica obtenida de una dispersión de Ca<sub>2</sub>Nb<sub>3</sub>O<sub>10</sub> [24].

#### D. Parámetros:

Para la selección de la tinta a utilizar en un proyecto se deben considerar los parámetros que la caracterizan, a continuación resumiremos algunos de ellos:

1) *Función*: Básicamente si se trata de una tinta conductora, semiconductor o dieléctrica (aislante).

2) *Material*: Es decir de que compuesto es la tinta, ejemplos de ellos fueron nombrados previamente. Asociado a cada uno de estos materiales están sus características físicas/químicas como ser la conductividad eléctrica y térmica, la constante dieléctrica, la solubilidad en agua, etc.

3) *Proceso de impresión*: Tal como vimos antes, existen distintos procesos para realizar la impresión de electrónica, cada uno de estos procesos poseen características particulares, por lo tanto las tintas a ser empleadas deben ser aptas para el proceso en cuestión.

4) *Sustrato*: De forma similar a que existen tintas especiales para cada proceso de impresión, las hojas de datos detallan para que tipo de sustratos son recomendadas las tintas. Muchas veces íntimamente relacionado con el proceso de impresión.

5) *Tamaño de partícula*: Las tintas son una solución de un material (conductor, semiconductor o dieléctrico) en un solvente. En dicha solución el material está en forma de partículas. El tamaño de estas partículas es muy importante dependiendo de la resolución que se quiere obtener en la impresión, así como también del proceso de impresión que se utiliza. Es muy importante en procesos de impresión Inkjet ya que los cabezales de impresión tienen un tamaño máximo de partícula.

6) *Solvente*: El solvente es aquella sustancia que permite la dispersión de otra sustancia en su seno. Es el medio dispersante de la disolución. Normalmente, el solvente establece el estado físico de la disolución, por lo que se dice que el solvente es el componente de una disolución que está en el mismo estado físico que la disolución. También es el componente de la mezcla que se encuentra en mayor proporción. Se puede mencionar entre los solventes más usados el agua y algunos solventes polares como el Ethyl, el Alcohol e IPA (alcohol isopropílico). El solvente de una tinta es de importancia porque según sus características y especificaciones, se debe hacer la elección del sustrato a utilizar.

7) *Contenido sólido wt%*: Es el porcentaje del peso del material en la solución.

8) *Viscosidad (cps)*: La viscosidad se define como la resistencia de un líquido a fluir, a pesar de que la composición química de la tinta puede variar, la tinta final debe tener una viscosidad específica (consistencia) para el proceso seleccionado. En el caso del proceso de Inkjet, si la tinta es muy líquida, puede gotear desde los rociadores a destiempo, si por el contrario es muy espesa, el cartucho no liberará la tinta sobre el sustrato.

9) *Tiempo de vida*: Es el tiempo durante el cual la tinta mantiene las propiedades especificadas, luego de este tiempo la partículas disueltas en el solvente tienen a aglutinarse.

10) *Condiciones de secado*: Este parámetro específica como debe ser realizado el proceso de secado de la tinta, es decir a que temperatura, durante cuanto tiempo y si debe ser

aplicado algún proceso especial, como por ejemplo una luz ultravioleta. La temperatura de secado depende mucho del solvente usado y es muy importante al momento de seleccionar el sustrato a utilizar.

11) *Cobertura (cm<sup>2</sup>/g)*: Este parámetro indica la superficie en cm<sup>2</sup> que puede cubrir cada gramo de tinta.

12) *Energía superficial*: es la fuerza que existe en la superficie de los líquidos, las moléculas en la capa superficial se ajustan apretadamente entre ellas, creando el fenómeno de tensión superficial. Cuando hay poca adhesión es necesario subir la tensión superficial del sustrato o reducir la tensión superficial de la superficie de la tinta.

Como ejemplo se detallan los parámetros de la Pasta de polímero de plata conductora C2080415P2 de la firma Gwent Group [25], se presenta esta pasta en particular por estar disponible en el INTI.

En ella se puede apreciar el tipo de tinta, es decir su función, el material (Pasta de polímero de plata conductora), el proceso para el cual puede ser empleada (serigrafía), sobre los sustratos donde puede usarse (poliamida, PET, PEN), el contenido de sólidos (44.75% - 45.25%), la viscosidad (0.72 - 1.78 Pa s), la cobertura (250 - 270 cm<sup>2</sup> per g), el proceso de secado (entre 10 y 30 minutos a una temperatura de entre 130°C y 150°C) y el tiempo de vida (6 meses). Así como también por tratarse de una tinta conductora se especifica la resistividad (925.68 Ωcm a 60°C).

#### IV. SUSTRATOS:

Se pueden encontrar una gran cantidad de materiales como sustratos para electrónica impresa, estos se pueden apreciar en los distintos productos que ofrece la empresa Sigma-Aldrich, actualmente Merck [26]. Bajo la categoría "*Organic and Printed Electronics*" encontramos la categoría "*Sustrates and Electrode Materials*" donde en "*Sustrates*" encontramos alternativas de: vidrio de óxido de estaño dopado con flúor (FTO), sustratos (vidrio, silicio, Mica) recubiertos de oro, sustratos (vidrio, plástico/polímeros) revestidos de óxido de indio y estaño (ITO), obleas de silicio y sustratos cristalinos simples (Óxido de Aluminio, Arseniuro de Galio, Titanato de estroncio, etc.). Sin embargo para el caso de electrónica flexible, las opciones de sustratos deben cumplir ciertas propiedades: ópticas (transparencia, birrefringencia); aspereza de la superficie (cuanto más fina es la película del dispositivo, más sensible su funcionamiento eléctrico a las asperezas); propiedades térmica y termomecánicas (temperatura de trabajo, coeficiente de expansión térmica (CTE)); propiedades químicas (resistencia a solventes y propiedades de barrera para la humedad y los gases); propiedades mecánicas (módulo de elasticidad) y propiedades eléctricas y magnéticas (conductividad, permeabilidad). Hay tres los sustratos que se pueden usar para aplicaciones flexibles: vidrio delgado, películas de metal y plásticos (polímeros) [9] [27].

Paneles de vidrio son actualmente utilizados como sustrato en tecnología de pantallas planas. Los paneles de vidrio se convierten en flexibles cuando su espesor es reducido a algunos cientos de micrones. Hojas de vidrio mantienen todas las ventajas de los paneles: transmitancia óptica, bajo índice de birrefringencia, superficie suave, bajo coeficiente de expansión térmica, resistencia a la mayoría de los procesos

químicos, impermeabilidad al oxígeno y el agua, resistencia a los rasguños y la aislación eléctrica [27]. Sin embargo es frágil y difícil de manejar, por lo cual se suele laminar con plástico o aplicar algún tipo de recubrimiento [9] [27].

Láminas de metal menor que 125µm son flexibles. El acero inoxidable, por ejemplo, ha sido usado ampliamente en investigación (celdas solares principalmente) debido a su alta resistencia a la corrosión y procesos químicos. Además soporta temperaturas muy altas del orden de los 1000°C, es dimensionalmente estable, es una excelente barrera contra la humedad y el oxígeno, puede servir como disipador térmico y proveer blindaje magnético. La principal desventaja que presenta es la aspereza de su superficie, la que en el mejor de los casos puede llegar a 100 nm, en contraste al vidrio que posee una aspereza menor que 1nm. Para asegurar la integridad eléctrica de un dispositivo de película delgada, la lámina de acero debe ser pulida o aplanada con algún recubrimiento (orgánico o inorgánico) [9] [27].

Los polímeros son altamente flexibles, pueden ser económicas, y permiten procesos R2R. Sin embargo, ellos son térmicamente y dimensionalmente menos estables que los sustratos de vidrio y son fácilmente permeables al oxígeno y el agua. Es esencial que la temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , sea compatible con la temperatura del proceso del dispositivo. Sin embargo, una alta temperatura  $T_g$  solamente no es suficiente. La estabilidad dimensional y el coeficiente de expansión térmica (CTE) también son importantes. Diferencias entre los CTE del sustrato y el material del dispositivo puede producir la rotura del dispositivo. Algunos candidatos para sustratos flexibles incluyen los polímeros semicristalinos termoplásticos: el tereftalato de polietileno (PET) y el naftalato de polietileno, polímeros nanocristalinos termoplásticos: policarbonato (PC) y Polisulfona (PES), y materiales del alta  $T_g$ : Poliariolato (PAR), Olefina policíclica (PCO), y poliamida (PI) [27]. Un caso particular de este último polímero es el Kapton, el cual es una capa poliamida desarrollada por DuPont la cual es estable en un rango de temperatura amplio, que va desde -269°C hasta los 400°C [28].

En la tabla I se presenta las características típicas de hojas de vidrio, plásticos (polímeros) y acero inoxidable de 100µm de espesor [27].

Aunque los polímeros poseen un costo y flexibilidad muy atractivos, estas dos características presentan limitaciones. Los costos para pequeñas cantidades y prototipos no son tan económicos y la flexibilidad que pueden tener los sustratos está limitada a 3 o 6 veces el espesor del mismo, lo que imposibilita doblar o plegar estos circuitos para crear estructuras en tres dimensiones. Para estos casos el papel se presenta como una alternativa de sustrato ya que ofrece un conjunto de características que lo hacen adecuado: es un material que fácilmente se puede encontrar en cualquier lado; pueden plegarse, desplegarse y doblarse para su almacenamiento en espacios reducidos o para formar estructuras tridimensionales autosustentables; puede ser mecanizado con tijeras o perforadoras fácilmente; es liviano y delgado; son porosos lo que permite su utilización en

electrodos médicos adhesivos; se pueden combinar con dispositivos analíticos micro-portátiles o microfluidicos en papel (mPADS) para analizar muestras [29].

Tabla I. Características típicas de sustratos.

Propiedades	Unidades	Vidrio (1737)	Plásticos (PEN,PI)	Acero inoxidable (430)
Espesor	um	100	100	100
Ancho	g/cm2	250	120	800
Radio de cobertura seguro	cm	40	4	4
Procesable R2R ?	-	Imposible	Posible	Si
Visiblemente transparente	-	Si	A veces	No
Máxima temperatura de proceso	°C	600	180-300	1000
CTE	ppm/°C	4	16	10
Modulo de elasticidad	Gpa	70	5	200
Permeabilidad con el oxígeno, agua o vapor		No	Si	No
Coefficiente de expansión de hidrólisis	ppm/%RH	Ninguno	11,11	Ninguno
Requiere homeado?	-	A veces	Si	No
Requiere planarización?	-	No	No	Si
Conductividad eléctrica	-	Ninguna	Ninguna	Alta
Conductividad térmica	W/m.°C	1	0,1-0,2	16
Deformación después de fabricación	-	No	Si	No

El papel es un sustrato que a pesar de ser flexible y compatible con métodos de impresión rápidos, tiene una superficie rugosa y es un material bastante absorbente. Estas irregularidades provocan que se produzca en los caminos del circuito impreso con la tinta pérdida de conducción en algunos sectores. Esto obliga al uso de recubrimientos especiales en los papeles buscando mejorar esas características. En el trabajo de Roger Bollström [30], donde se realiza un estudio detallado del papel y su utilización en electrónica impresa, se presentan los materiales utilizados como recubrimientos y se hace un análisis del impacto de la aspereza y la porosidad del papel.

Adam C. Siegel et al. [29] caracterizan varias propiedades de los circuitos electrónicos basados en papel, incluyendo la relación entre la conductividad superficial de conductores metálicos y la aspereza de la superficie; y la estabilidad mecánica de los conductores en función del ángulo de pliegue y el número de ciclos de doblaje u desdoblaje del mismo.

## V. CONCLUSIONES

El estudio realizado ha permitido familiarizarse con los procesos, las técnicas y los materiales asociados a la electrónica impresa. A raíz de lo estudiado y los detalles técnicos de la impresora Inkjet que posee la FAN [16], se ha logrado definir el tipo de tinta y sus características, datos los



cuales han sido especificados a un fabricante nacional de tintas para su desarrollo.

Una vez que la tinta este elaborada, se imprimirán las antenas diseñadas para los dispositivos RFID/NFC que forman parte del sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos planteado como aplicación testigo. Los dispositivos están basados en chips NFC de la empresa NXP (NT3H2111/NT3H2211). Como sustrato se utilizará papel, el cual pertenece a la empresa Powercoat [32] y se realizarán pruebas sobre varios de los productos de la empresa.

El desempeño de los dispositivos desarrollados será evaluado a través de un banco de pruebas para tag que ha sido diseñado según la norma ISO/IEC 10373.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Hopkinson, M. (2015, Agosto 27). "With silicon pushed to its limits, what will power the next electronics revolution?". Extraída el 15/V/2017 desde <https://phys.org/news/2015-08-silicon-limits-power-electronics-revolution.html>
- [2] Shankland, S. (2015, Abril 17). "Adios, silicon: Why exotic designs are the future for the chips in your gadgets?". Extraída 17/V/2017 desde <https://www.cnet.com/news/life-after-silicon-how-the-chip-industry-will-find-a-new-future/>
- [3] Cantatore, Eugenio (2012). *Applications of Organic and Printed Electronics: A Technology-Enabled Revolution*. New York: Springer.
- [4] George Shaker, Ho-Seon Lee, Safieddin Safavi-Naeini, y Manos Tentzeris (2011). *Printed Electronics for Next Generation Wireless Devices*. Ponencia presentada en 2011 Loughborough Antennas & Propagation Conference. Loughborough, UK.
- [5] Aminy E. Ostfeld, Igal Deckman, Abhinav M. Gaikwad, Claire M. Lochner y Ana C. Arias (2015). "Screen printed passive components for flexible power electronics". *Scientific Reports* 5, Article number: 15959. Extraída el 15/V/2017 desde <https://www.nature.com/articles/srep15959>.
- [6] Canziani, Monica; Lupi, Daniel; Ortiz, Juan José; Slawiski, Javier y Zaradnik, Ignacio (2016, Octubre 26). *Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos*. Paper presentado en el VII Congreso de Microelectronica Aplicada. San Luis, Argentina
- [7] Lupi, Daniel; Zaradnik, Ignacio; Turconi, Diego; Dominguez, Facundo (2017, Agosto 10). *Sistema de visualización de precios para supermercados*. Paper presentado en el VII Congreso Argentino de Sistemas Embebidos. Buenos Aires, Argentina.
- [8] Joseph S. Chang, Senior Member, IEEE, Antonio F. Facchetti, and Robert Reuss (2017). *A Circuits and Systems Perspective of Organic/Printed Electronics: Review, Challenges, and Contemporary and Emerging Design Approaches*. IEEE JOURNAL ON EMERGING AND SELECTED TOPICS IN CIRCUITS AND SYSTEMS, VOL. 7, NO. 1, pp 7-26.
- [9] Saleem Khan, Leandro Lorenzelli y Ravinder Dahiya (2015). *Technologies for Printing Sensors and Electronics over Large Flexible Substrates*. IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 15, NO. 6, pp 3164-3185.
- [10] Ashok Sridhar, Thomas Blaudeck, Reinhard R. Baumann (2011). *Inkjet Printing as a Key Enabling Technology for Printed Electronics*. Material Matters Volume 6 Article 1. Extraída el 15/V/2017 desde: [http://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/materials-science/material-matters/material\\_matters\\_v6n1.pdf](http://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/materials-science/material-matters/material_matters_v6n1.pdf)
- [11] Nurdan Demirci Sankur (2005). *Flexible electronics: Materials and device fabrication*. Blacksburg, Virginia.
- [12] Miriam Martín Macías (2011). *Tintura digital de tejidos con colorantes dispersos y reactivos* [Tesis de maestría]. Barcelona :Universidad Politécnica de Catalunya.
- [13] Zhen Cui (2016). *Printed Electronics Materials , Technologies and Applications*. Singapore: John Wiley & Sons.
- [14] Herrero, Pablo, et.al. (2013). *Pautas para la legibilidad de la información*. 1a ed. , San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, ISBN 978-950-532-207-7.
- [15] Centro de Micro y Nano tecnología INTI. "Campos de Acción – Infraestructura - Sala Limpia". Extraída el 15/V/2017 desde <http://www.inti.gov.ar/micronanoelectronica/infraestructura-salalimpia.htm>.
- [16] "CeraPrinter X-Serie TumKey Materials Deposition Inkjet". Extraída el 20/VI/2017 desde <http://www.ceradrop.com/en/products/x-serie/>
- [17] Bullido Alonso, Pablo. *Construcción y caracterización de condensadores flexibles en base a nano partículas metálicas*. [Tesis de especialización] Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- [18] "Tintas de grafeno en la Universidad de Cambridge". Extraída el 25/VIII/2017 desde <http://www.3neo.org/noticias/i/3267/48/tintas-de-grafeno-en-la-universidad-de-cambridge>
- [19] Venkata Krishna Rao R., Venkata Abhinav K., Karthik P. S. and Surya Prakash Singh (2015). "Conductive silver inks and their applications in printed and flexible electronics". The Royal Society of Chemistry 2015, 5, pp 77760-77790.
- [20] Perelaer, J. et al. (2010). "Printed electronics: the challenges involved in printing devices, interconnects, and contacts based on inorganic materials". Journal of Materials Chemistry. 20, pp8446–8453.
- [21] "Copper Nanoparticle Inks for Printes Electronics". Extraída el 23/XI/2016 desde [http://web.cut.ac.cy/mep/wp-content/uploads/sites/50/2017/04/PLASMAS\\_Flyer\\_D6.11.pdf](http://web.cut.ac.cy/mep/wp-content/uploads/sites/50/2017/04/PLASMAS_Flyer_D6.11.pdf)
- [22] Erika Hrehorova, Alexandra Pekarovicova, V.N. Bliznyuk, and Paul D. Fleming (2007, Septiembre 16). *Polymeric Materials for Printed Electronics and Their Interactions with Paper Substrates*. 23rd, International conference on digital printing technologies. Anchorage, Alaska.
- [23] Yi Li, R. Torah, S.Beeby (2012, Octubre 28). *Modeling and An all-inkjet printed flexible capacitor on a textile using a new poly(4-vinylphenol) dielectric ink for wearable applications*. Sensor 2012 IEEE. Taipei, Taiwan.
- [24] XinzhouWu, Zheng Cuia, Xinzhou Wua ,Wenming Sua,Fei Fei (2014). "A new nano composite dielectric ink and its application in printed thin-film transistors". Composites Science and Technology, volumen 94, pp 117-122.
- [25] Gwent Group. "C208415p2 - Conductive Silver Polymer paste". Extraída el 25/VIII/2017 desde: [http://www.gwent.org/gem\\_data\\_sheets/polymer\\_systems\\_products/flexible\\_conductor\\_and\\_membrane\\_touch\\_switch/45\\_per\\_cent\\_ag\\_c208041\\_5p2.pdf](http://www.gwent.org/gem_data_sheets/polymer_systems_products/flexible_conductor_and_membrane_touch_switch/45_per_cent_ag_c208041_5p2.pdf)
- [26] "Sustrates". Extraída del 15/VI/2017 desde: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=19352489>
- [27] William S. Wong,Alberto Sallee (2009). *Flexible Electronics: Materials and applications*. US: Springer International.
- [28] "Dupont Kapton Summaryof Properties". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/membranes-and-films/polyimide-films/documents/DEC-Kapton-summary-of-properties.pdf>.
- [29] Adam C. Siegel, (et.al) (2010). "Foldable Printed Circuit Boards on Paper Substrates". Advanced Functional Materials, num.20 , pp 28-35.
- [30] Bollström, Roger (2013). *Paper for printed electronics and functionality* [Tesis doctoral]. Åbo Akademi University, Turku, Finland.
- [31] "Powercoatpaper". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://powercoatpaper.com/#>
- [32] Grace Roger (2015). "Printable/flexible sensors add new options for designers". Extraída el 25/VIII/2017 desde: <http://interlinkelectronics.com/news/newsrel54.pdf>
- [33] Ritesh Tipnis, Darin Laird, Mathew Mathai (2008). "Polymer-based Materials for Printed Electronics: Enabling High Efficiency Solar Power and Lighting". Material Matters 2008, 3.4, 92.
- [34] Dae-Hyeong Kim at el. (2008). "Stretchable and Foldable Silicon Integrated Circuits". SCIENCE, VOL 320, pp 507-511.

Villares Had, B.<sup>1</sup>; Lupi, D.<sup>1,2</sup>; Zaradnik, I.<sup>2</sup>; Slawiski, J.<sup>2</sup>; Campero, I.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Fundación Argentina de Nanotecnología. Bs. As., Argentina. <sup>2</sup>Laboratorio de Inteligencia Ambiental Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológica, Universidad Nacional de la Matanza. Bs. As., Argentina.

**Introducción:** La integración de dispositivos electrónicos esta encontrando limites en la superficie de trabajo disponible, en un factor de forma flexible, en el bajo consumo de operación, en el peso, en el requerimiento de materiales no contaminantes, entre otros. La electrónica impresa se presenta como una solución a estos inconvenientes, permitiendo su aplicación en sectores existente y otros recientemente surgidos, entre los que podemos nombrar: energía fotovoltaica, electrodos de borde de la pantalla, electrónica del automóvil, e-textiles y electrónicos portátiles, dispositivos de RFID, sensores piezorresistivos, capacitivos y biosensores impresos, OLED y la iluminación LED. Por lo expuesto se formó de un grupo de investigación en esta temática, con el objetivo principal de la formación de recursos humanos en esta área. Como parte del proyecto se planteó: un estudio de los procesos tecnológicos, las tintas y sustratos empleados en electrónica impresa. Entre dichos procesos encontramos el Inkjet, del cual se presentan una breve introducción y los ensayos realizados.

El proceso de impresión por chorro de tinta, Inkjet, es una técnica para la transferencia directa de materiales. A través de este se depositan materiales en forma de solución coloidal o química por medio de boquillas micrométricas. Es un proceso sin contacto que deposita selectivamente una amplia gama de materiales sobre una amplia gama de sustratos de forma de gota a gota; los requisitos de espacio en laboratorio o industria, la inversión inicial y el tiempo de puesta en marcha para ejecutar una instalación de impresión por chorro de tinta son inferiores a la mayoría de las tecnologías de impresión; es adecuado para una amplia gama de escalas de producción, desde el prototipo hasta la producción industrial a gran escala; el consumo de tinta y el desperdicio de material son mínimos; es flexible con respecto a su posicionamiento dentro de una cadena de proceso y además puede producir películas finas estampadas, un requisito clave para la electrónica orgánica.



CeraPrinter X-Serie disponible en la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN)

La CeraPrinter X-Serie posee sistemas para deposición de múltiples materiales. Tiene tres cabezales de impresión que pueden trabajar con distintos tipos de tintas acuosas, biológicas, solventes y basadas en curado UV. Puede realizar el curado en áreas completas en cada paso de impresión y trabaja con sustratos de hasta 305 mm x 305 mm de área imprimible con espesor de hasta 10 mm. Cuenta cinco ejes de movimiento, tres ejes de traslación y dos de rotaciones motorizadas, con resolución de impresión ajustable, alineación del sustrato ( $\pm 2 \mu\text{m}$ ) y auto calibración de los inyectores ( $<\pm 3 \mu\text{m}$ ). Posee cabezales Dimatix Fujifilm clase Q de 30 pico litros de volumen nominal de gota, son de carácter industrial, tienen 256 boquillas y soportan solventes base acuosa y orgánicos, El rango de viscosidad es de 8-20 cP y el tamaño de partícula máximo es 0.90  $\mu\text{m}$ .



Fig.1.



Fig.2.

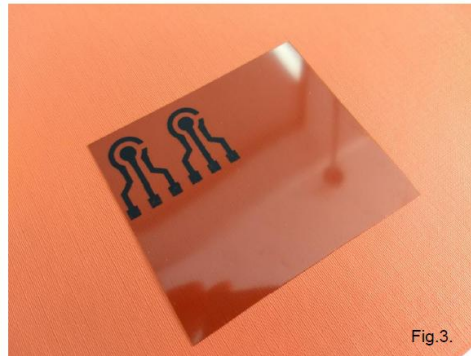


Fig.3.

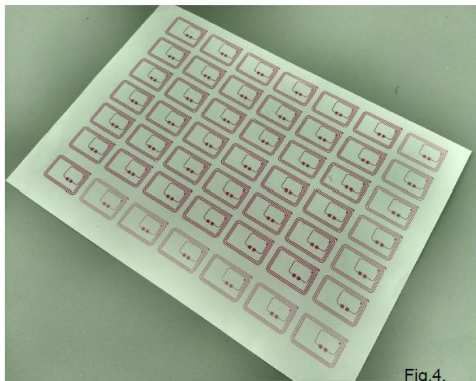


Fig.4.

**Fig.1.** Interdigitado, impreso en Ag sobre premium paper poroso, Tinta:JS-B40G, Sustrato: Powercoat xd 129um. **Fig.2.** Prueba de concepto, sensor de deformación, Tinta:JS-B40G, Sustrato: Powercoat hd 97.4 um. **Fig.3.** Prueba de concepto, sensores electroquímicos, Tinta: Nanotubos de carbono de fabricación nacional, Sustrato: Kapton HN. **Fig.4.** Pruebas de concepto antenas RFID con tinta modelo (tinta grafica), Tinta: DYE genérica para inkjet, Sustrato: Powercoat hd 97.4 um.

**Conclusiones:** A través de los ensayos realizados se logro una familiarización con la impresora CeraPrinter Serie X, tanto con el software asociado a la misma, así como también a cuestiones mecánicas del equipo y consideraciones de tintas y sustratos empleados en los desarrollos de electrónica impresa. Dicha experiencia será utilizada para el desarrollo de dispositivos para sistemas inalámbricos de seguimiento y trazabilidad de productos.

## 7.5. Anexo V



<b>Código</b>	FPI-017
<b>Objeto</b>	Nota de alta patrimonial de bienes adquiridos con el proyecto
<b>Usuario</b>	Director de proyecto de investigación
<b>Autor</b>	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
<b>Versión</b>	2.1
<b>Vigencia</b>	13/10/2015

**Sr. Secretario Administrativo**  
**Unidad Académica**  
**S/D**

Por medio de la presente informo que los siguientes bienes han sido adquiridos con el presupuesto asignado al proyecto: Utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados. Código: C194, acreditado en el Programa PROINCE X./ CyTMA2..., en ejecución desde: 01./01./2016. y hasta:31./12./2017.

**Detalle de bienes a incorporar al patrimonio de la Unidad Académica una vez finalizado el proyecto según consta en el FPI-015: Planilla de rendición de gastos y administración de fondos que acompaña al presente Informe de** *(colocar una cruz donde corresponda)* **Avance:... Final:X.**

Nº de Orden	Folio Nº	Fecha	Proveedor o Prestador	Nº de Comprobante	Nº de CUIT	Descripción/ Concepto
23	23	09/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00008969	Decibelímetro
27	27	14/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00008981	Kit Raspberry 3
28	28	14/02/2018	Electrocomponentes	30-58260502-1	0013-00008982	Modem UL865

Asimismo, durante el período de ejecución del proyecto, los bienes antes detallados se encuentran bajo mi responsabilidad, en cuanto a su guarda y preservación.

Lugar y fecha:.....

.....  
 Firma del Director del Proyecto

.....  
 Aclaración de firma

.....  
 CUIL Nº