



## **TESINA**

Proyecto de desarrollo experimental de una plataforma  
para planificar el mantenimiento de componentes  
aeronáuticos críticos mediante tecnología de  
identificación

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN  
MANUFACTURA AVANZADA**

PRESENTA

**INGENIERO JAVIER ANTONIO AGUILAR ESCORZA**

TOLUCA, ESTADO DE MEXICO, DICIEMBRE 2016



REV  
DR. NERY DELGADILLO  
17/10/ET

EM



10 de octubre de 2016

Dr. Miguel González Valadez  
Director de posgrado

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno **Ing. Javier Antonio Aguilar Escorza**, una vez revisada la tesina titulada: "**Proyecto de desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación**", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de Maestro en Manufactura Avanzada durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 10 días del mes de octubre del año 2016.

M. en C. José Juan Rivera Ramírez  
Asesor Académico

---

Grado y nombre completo  
Asesor en Planta





01 de diciembre de 2016

### **Respetables miembros del Jurado**

Me ha tocado el honor de haber sido designado Revisor del trabajo titulado **“A Proyecto de desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación”** del Ing. **JAVIER ANTONIO AGUILAR ESCORZA**.

Después de haber leído detalladamente el trabajo que me fue entregado, he tenido la oportunidad de intercambiar información con el sustentante y como resultado de estas acciones he concluido que: El trabajo cumple con los requisitos suficientes para obtener el grado, por lo que no tengo ningún inconveniente en emitir esta carta de aprobación, a fin de que pueda seguir con sus trámites correspondientes para su titulación.

El trabajo tiene los siguientes aspectos positivos:

- 1.- Excelente correlación entre el desarrollo de sus hipótesis con sus resultados.
- 2.- En su redacción menciona la fuente de todo trabajo no original.

El trabajo tiene las siguientes oportunidades de mejora:

- 1.- Que mencione algunos aspectos para realizar un trabajo a futuro.



Haciendo un análisis crítico del trabajo y balanceando lo positivo y las oportunidades de mejora, considero **RECOMENDAR** al Jurado que le otorgue el Grado de Maestro en Manufactura Avanzada, al Ing. **JAVIER ANTONIO AGUILAR ESCORZA** por lo que acepto se imprima el trabajo de tesis.

No obstante lo anterior, le solicitaría al sustentante me responda las siguientes preguntas:

- 1.- ¿Cuál es el modulo programador de un RFID?
- 2.- ¿Por qué RFID LF no trasmite del todo en los metales?
- 3.- ¿Cómo se basa para asignar la codificación en su tabla 7?

Le agradecería al Honorable Jurado tenga en consideración la propuesta de otorgar el Grado que pongo a su consideración.

**Atentamente**



---

**Dr. Nery Delgadillo Checa**



---

# RESUMEN

---

El presente trabajo presenta el desarrollo de una plataforma que permita la identificación de componentes aeronáuticos mediante tecnología (RFID) en etiquetas físicas (TAG) las cuales contendrán información relevante para permitir planificar el mantenimiento (1).

Los componentes aeronáuticos son validados bajo normas muy estrictas, requieren de revisiones periódicas y pruebas muy minuciosas para asegurar su correcto funcionamiento, de no ser así son descartadas y tratadas para ya no ser utilizadas dentro de la aviación. Así, el mantenimiento: predictivo, preventivo y correctivo, son realizados dentro de la aviación comercial, para así mantener la integridad y funcionamiento óptimo de los componentes.

Los proveedores de servicios aeronáuticos de mantenimiento, reparaciones y revisión incluyen la combinación de acciones administrativas, de gestión y supervisión técnica. Al ingresar los componentes en el taller, se le asigna una tarea de revisión, mantenimiento o reparación, que de acuerdo a la base de datos interna o al reporte por parte del personal de plataforma, se procede a su mantenimiento, que a través de los diferentes procesos de limpieza, inspección, reparación y pruebas pueden ser devueltos o no a la circulación.

Mediante tecnología de identificación y de una plataforma que permita la identificación de cada componente, se podrán optimizar las operaciones del MRO en los procesos, la planificación y las tareas u operaciones ya que se tendrá la base para futuras mejoras.



---

# AGRADECIMIENTOS

---

A mi familia



---

# ÍNDICE

---

Resumen.....	I
Agradecimientos.....	II
Índice .....	III
Índice de figuras.....	V
Índice de tablas .....	VII
Glosario.....	VIII
Capítulo 1 .....	1
Introducción.....	1
Antecedentes .....	1
Definición del problema .....	4
Justificación.....	5
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos .....	7
Hipótesis .....	7
Marco teórico .....	8
Capítulo 2.....	17
Definición del proyecto.....	17
Descripción y planificación.....	17



---

# ÍNDICE CONTINUACIÓN

---

Trazabilidad .....	20
Desarrollo del proyecto .....	23
Definición tecnológica .....	23
Codificación de componentes.....	31
CAPITULO 3.....	39
Resultados .....	39
Datos y resultados.....	39
RFID y AERONAUTICA EN LA ACTUALIDAD .....	42
Conclusiones .....	44
Referencias bibliográficas .....	47



---

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Figura 1. El lector y el TAG son los componentes principales de cada sistema RFID</i> .....	8
<i>Figura 2. Diagrama de bloques del funcionamiento básico de un TAG.</i> .....	9
<i>Figura 3. Comparación entre un sistema pasivo y activo RFID.</i> .....	10
<i>Figura 4. Transmisión de una señal electromagnética desde un lector a un TAG.</i> .....	10
<i>Figura 5. Campo eléctrico inducido por una antena.</i> .....	11
<i>Figura 6. Rango de frecuencias disponibles para RFID.</i> .....	12
<i>Figura 7. Propiedades entre las diferentes frecuencias RFID.</i> .....	13
<i>Figura 8. Ejemplo de aplicación de tecnología NFC.</i> .....	14
<i>Figura 9. RFID como control de acceso.</i> .....	15
<i>Figura 10. RFID en el manejo de inventarios en el sector aeronáutico.</i> .....	16
<i>Figura 11: El ensamble de la rueda del tren de aterrizaje principal.</i> .....	18
<i>Figura 12: Esquema del taller de ruedas.</i> .....	19
<i>Figura 13: Ejemplo de listado para la inspección.</i> .....	21
<i>Figura 14: Aplicación de la tecnología RFID en almacén MRO.</i> .....	22
<i>Figura 15: Esquemático que ejemplifica el desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos.</i> .....	23
<i>Figura 16: Diagrama de funcionamiento del protocolo NFC.</i> .....	28
<i>Figura 17: ACR122U USB NFC Reader</i> .....	29
<i>Figura 18: Aplicación Goto Tags para la lectura y escritura de TAG NFC bajo sistema operativo Windows.</i> .....	30
<i>Figura 19. Cadena codificada de componente.</i> .....	33
<i>Figura 20: Gogo Tags aplicación para guardar datos como texto plano en TAG NFC.</i> .....	35



---

# ÍNDICE DE FIGURAS CONTINUACIÓN

---

<i>Figura 21: Edición del texto plano para guardar en TAG NFC. ....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 22: Preparación para grabado de TAG NFC.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 23: Grabación correcta de los datos en el TAG NFC. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 24: Visualización de los datos leídos de TAG NFC como texto plano.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 25: Imagen del prototipo desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 26. Captura de la información recolectada en las pruebas de la plataforma. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 27. FLYtag® desarrollado por MAINtag. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 28. Sensor de presión de aire SmartStem RFID de la grúa reemplaza la válvula de llenado estándar.....</i>	<i>43</i>



---

# ÍNDICE DE TABLAS

---

<i>Tabla 1: Características de modelos RFID en el mercado.</i> .....	24
<i>Tabla 2: Ponderación para la matriz de toma decisión.</i> .....	25
<i>Tabla 3: Comparación de frecuencias de trabajo RFID.</i> .....	25
<i>Tabla 4: Matriz de toma de decisión.</i> .....	26
<i>Tabla 5: Ponderación de la tabla de toma de decisión.</i> .....	26
<i>Tabla 6: Características de los tipos de TAG de acuerdo a NFC Forum.</i> .....	29
<i>Tabla 7: Descripción y significado de los bloques de la cadena de memoria del TAG NFC.</i> .....	31
<i>Tabla 8: Descripción y significado de los bloques de la cadena de memoria del TAG NFC (Continuación).</i> .....	32
<i>Tabla 9: Descripción y significado de los bloques de la cadena de memoria del TAG NFC (Continuación).</i> .....	33
<i>Tabla 10. Tabla de codificación de información de los componentes aeronáuticos a cadena de texto plano para TAG NFC.</i> .....	34



---

# GLOSARIO

---

*Tag*. - Del idioma inglés, se define como etiqueta, o dispositivo que contiene información almacenada (2).

*RFID*. - Siglas en inglés de: "Radio-frequency identification", Identificación por Radio Frecuencia (3) (4).

*MRO*. - Siglas en inglés de: Maintenance, Repair, and Overhaul, se define como proveedores de servicios de mantenimiento, reparaciones y revisión.

*ADC*. - Siglas en inglés de: "Analog to digital converter", conversión analógica-digital que consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales.

*API*. - Siglas en inglés de: "Application programming interface", interfaz de programación de aplicaciones.

*LF*. - Siglas en inglés de: "Low Frequency", baja frecuencia del espectro electromagnético de 30Hz a 300 kHz.

*HF*. - Siglas en inglés de: "High Frequency", altas frecuencia del espectro electromagnético de 3 MHz a 30 MHz.

*UHF*. - Siglas en inglés de: "Ultra High Frequency", ultra alta frecuencia del espectro electromagnético de 300 MHz a 3 GHz.

*PLM*. - Siglas en inglés de: "Product Lifecycle Management ", administración del ciclo de vida del producto es el proceso que administra el ciclo de vida completo de un producto desde su concepción, pasando por su diseño y fabricación, hasta su servicio y eliminación.



---

# GLOSARIO CONTINUACIÓN

---

*PND.* - Siglas en español de: "Pruebas No Destructivas", denominadas a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

*PN.* - Siglas en inglés: "Part Number", números de parte que se refieren al modelo determinado por cada fabricante para un producto o equipo.

*Hardware.* - Del idioma inglés se refiere a todas las partes tangibles de un sistema informático; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

*Software.* - al equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.

*Aviónica.* - son los sistemas electrónicos utilizados en los aviones, satélites artificiales y naves espaciales. Sistemas de aviónica incluyen las comunicaciones, la navegación, la visualización y gestión de múltiples sistemas, y los cientos de sistemas que se ajustan a las aeronaves para realizar las funciones individuales.

*ERP.* - Siglas en inglés de: "Enterprise Resource Planning", que se refiere a un software de gestión de procesos de negocio que permite a una organización utilizar un sistema de aplicaciones integradas para gestionar el negocio y automatizar muchas funciones de back office relacionadas con la tecnología, los servicios y los recursos humanos.



---

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

### Antecedentes

El sueño de volar se remonta a la prehistoria. Años de investigación y trabajo por muchas personas ansiosas de conseguir esa proeza, generaron resultados débiles y lentos, pero continuos. Desde el primer avión propiamente dicho, la seguridad de las personas tanto en su interior como su exterior ha sido uno de los principales objetivos en los procedimientos operativos y el entrenamiento, de forma que se eviten accidentes.

La aviación comercial está dedicada al transporte aéreo de personas o bien de mercancías. En 1919 nacen las primeras compañías aéreas en Europa y en México desde 1934. La escasez de aviones y refacciones propicio un máximo aprovechamiento de los recursos, que aunado a la confiabilidad de los componentes aeronáuticos requirió de personal y equipo especializado para su mantenimiento además de agencias y órganos reguladores que tienen a su cargo la seguridad del transporte aéreo.

La industria aeroespacial que se encarga del diseño, fabricación, comercialización y mantenimiento de aeronaves, los componentes y las piezas están comprometidas con

la seguridad, de ahí la importancia de los sistemas de gestión de calidad que tienen como objetivo reducir las probabilidades de accidentes catastróficos a un nivel aceptable y tratar de garantizar tengan una máxima posibilidad de sobrevivir. El mantenimiento es pieza clave para asegurar la fiabilidad en los diversos componentes, realizado bajo normas y estándares estrictos por personal altamente calificado, asegurando y registrando los procedimientos de los componentes.

Aeroméxico como principal línea aérea Mexicana cuenta con el servicio de mantenimiento a terceros como proveedor MRO, con lo que posee uno de los mejores registros de confiabilidad por mantenimiento a escala mundial, con un compromiso de "primero la seguridad", la mejor calidad en operaciones, mantenimiento, alta confiabilidad y costos competitivos, ofreciendo personal altamente calificado con gran experiencia, capacitado por los fabricantes, ubicación geográfica estratégica, con talleres de reparación especializados y representantes de las más importantes compañías de la industria aeroespacial.

La operación de un taller MRO dentro de la república mexicana, que realiza operaciones con varias aerolíneas y maneja una gran cantidad de componentes aeronáuticos implica tareas de mantenimiento, reparación y revisión variante, con grandes trabajos de planeación, ejecución y logística que involucran una gran cantidad de información.

Grandes empresas de la industria aeronáutica comercial y militar han desarrollado tecnología de identificación por radio frecuencia RFID (por sus siglas en Ingles) para el seguimiento y manejo de componentes junto con la documentación técnica interna reduciendo significativamente los costos de operación, eliminando demoras, trabajos intensos de mantenimiento a la vez que facilita el acceso a los historiales de mantenimiento.

El RFID es una tecnología de conversión analógica-digital (ADC) que utiliza ondas de radiofrecuencia para transferir información entre un lector y un TAG (etiqueta) para identificar, categorizar, dar seguimiento, entre otros. Cada TAG contiene un microchip que permite almacenar datos, así como una antena, que opera reconociendo ciertas frecuencias estándares, esto permite transferir los datos entre un lector RFID y TAG. Los sistemas de RFID son rápidos, confiables, toleran ambientes extremos y no requieren de la vista física o el contacto entre ellos.

La tecnología RFID puede trabajar a baja en diferentes frecuencias, la selección depende de las condiciones de trabajo, la velocidad y datos a transmitir. La tecnología RFID presenta una amplia gama de nuevas capacidades con el potencial no sólo para optimizar los procesos actuales, sino hasta automatizar ciertas tareas dentro de ciertos entornos.

Boeing (5) como una de las grandes compañías de aeronaves comerciales del mundo, utiliza dentro de sus nuevas aeronaves la tecnología RFID para facilitar la identificación de algunos de los componentes para sus tareas de mantenimiento, que indican cuando hay que enviar el componente a algún proveedor MRO. Al utilizar RFID dentro de sus instalaciones permite el manejo de su información técnica interna y de la logística de manera centralizada.

La Gestión del ciclo de vida de productos (PLM por sus siglas en Ingles), es el proceso en el que se administra el ciclo de vida completo de un producto desde su concepción, hasta su servicio y eliminación. Consiste en la gestión, a través de soluciones integradas de software. PLM es una serie de capacidades que permiten a una empresa administrar e innovar efectivamente sus productos y los servicios relacionados con ellos, a lo largo de su vida económica.

Al utilizar los MRO los principios de PLM, se pueden logra operaciones más simples, mejorar el desempeño de los activos, al mismo tiempo que cierra el círculo entre ingeniería, manufactura y servicios para perfeccionar los productos.

En este contexto, el desarrollo de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos, que registre, almacene y de seguimiento a la información de cada uno permitirá identificarlos al inicio del proceso, planificar las tareas u operaciones, asignar al personal técnico y la secuencia de tareas subsecuentes, registrando cada operación y permitiendo el seguimiento para su posterior análisis todo gracias a la utilización de tecnología RFID, se lograra mejorar los tiempos de entrega de los componentes, los trámites administrativos, reducción de horas extra, minimizar las demoras en las aeronaves propias y sobre todo se aumentara la confiabilidad así como la seguridad de los componentes.

## Definición del problema

Los proveedores de servicios aeronáuticos de mantenimiento, reparaciones y revisión (MRO por sus siglas en Ingles) de componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos incluyen la combinación de acciones administrativas, de gestión y supervisión técnica y dependen de documentación técnica detallada sobre las configuraciones de las aeronaves, piezas, sistemas específicos y el historial de cada componente durante todo el ciclo de vida. La documentación técnica debe demostrar la conformidad con las regulaciones sectoriales.

Al ingresar los componentes al MRO para su mantenimiento, el supervisor debe de planear su proceso y asignar las tareas al personal como:

- ✓ Inspección
- ✓ Desarmado
- ✓ Limpieza
- ✓ Verificación de dimensiones
- ✓ Pruebas no destructivas (PND)
- ✓ Armado
- ✓ Pruebas funcionales
- ✓ Inspección final
- ✓ Embalado

De acuerdo a la carga de trabajo, a la prioridad del componente, al inicio del proceso se asignan las tareas extra de mantenimiento. Tiempo después se da seguimiento de acuerdo a las necesidades del componente a través de la inspección para la asignación de más o menos tareas.

La cantidad y complejidad del tiempo invertido provoca desatender tareas y nuevas solicitudes, hasta terminar los anteriores. Además, la distribución de los diferentes procesos para el mantenimiento y su extensión imposibilita el llevar de manera actualizada el seguimiento de las tareas y su estatus.

## Justificación

Desde los primeros vuelos, la seguridad de las personas ha sido uno de los principales objetivos para evitar accidentes por lo que con un transporte aéreo seguro, eficiente, competitivo y que satisfaga las necesidades de la sociedad en general.

Las funciones realizadas por las aeronaves son sumamente complejas, requiere de componentes fuertes y confiables, ya que de estos depende la supervivencia de los usuarios y de la población en general. Para lograr tal confiabilidad los componentes son validados bajo normas muy estrictas, requieren de revisiones periódicas y pruebas muy minuciosas para asegurar su correcto funcionamiento, de no ser así son descartadas y tratadas para ya no ser utilizadas dentro de la aviación. Así el mantenimiento: predictivo, preventivo y correctivo, son realizados dentro de la aviación comercial, para así mantener la integridad y funcionamiento óptimo de los componentes.

La seguridad de las personas tanto en su interior como en el exterior de las aeronaves ha sido uno de los principales objetivos de empresas como Aeroméxico, la aerolínea más prominente de México y durante años la misión de seguridad se ha desarrollado por toda su organización, ofreciendo servicios de mantenimiento por los que mantiene una buena reputación a nivel mundial.

Los proveedores MRO incluyen la combinación de acciones administrativas, de gestión y supervisión técnica. En Aeroméxico, al ingresar un componente crítico a su MRO localizado en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México AICM, al taller se le asigna la tarea de revisión, mantenimiento o reparación del componente, que de acuerdo a la base de datos interna o al reporte por parte del personal de plataforma, el componente ingresa al taller en donde después de recibirlo e inspeccionarlo se procede a su de mantenimiento, que a través de diferentes proceso de limpieza, inspección, reparación y pruebas pueden ser devueltos o no a la circulación.

Con lo anterior, se propone el desarrollo de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación, que registre, almacene y de seguimiento a la información de cada componente se puede justificar como una opción para su mejoramiento, así, en el MRO cuando ingrese un componente al proceso de mantenimiento, la plataforma permitirá identificar los componentes al inicio del proceso, apoyar a la planificación de las tareas u operaciones, asignar al personal técnico y la secuencia de tareas subsecuentes, registrando cada operación y permitiendo el seguimiento para su posterior análisis.

## **Objetivo general**

Diseñar una plataforma para planificar las tareas del mantenimiento de componentes aeronáuticos utilizando tecnología de identificación para el seguimiento.

## **Objetivos específicos**

1. Limitar las tareas de inspección, desensamble y ensamble para el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos.
2. Limitar las rutas críticas de las tareas de inspección, desensamble y ensamble en el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos.
3. Reconocer la tecnología de identificación adecuada para operar en el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos.
4. Confeccionar una plataforma para la lectura de tecnología de identificación y seguimiento de componentes.
5. Simular la planificación de tareas en la plataforma para el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos.
6. Probar la planificación de tareas mediante la aplicación de la lectura de la tecnología de identificación.

## **Hipótesis**

Es posible diseñar una plataforma que apoye la planificación de las tareas de mantenimiento de componentes aeronáuticos utilizando tecnología de identificación.

## Marco teórico

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología de conversión analógica-digital (ADC) que utiliza ondas de radiofrecuencia para transferir datos entre un lector y un TAG para identificar, categorizar, dar seguimiento, entre otros (Figura 1). Los sistemas de RFID son rápidos, confiables, y no requieren de la vista física o el contacto entre ellos. RFID es un sistema que consta de: un lector de TAG, una antena, fuente de alimentación y un ordenador.

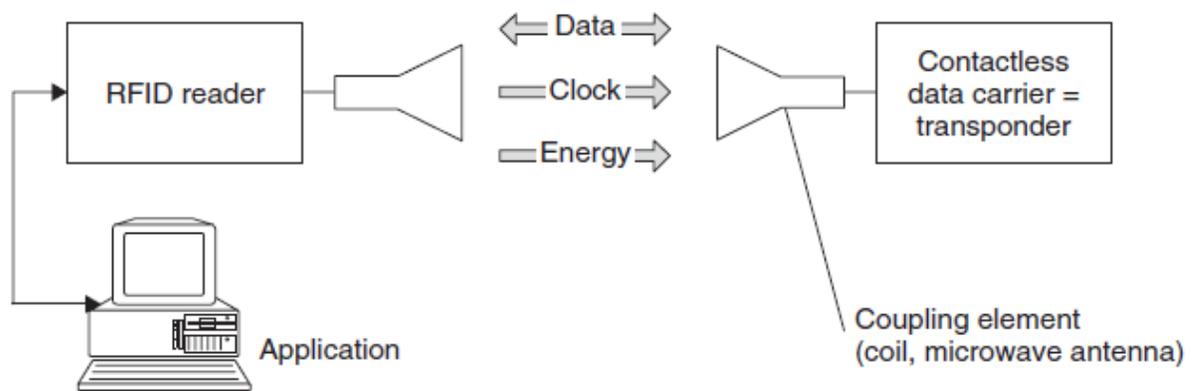


Figura 1. El lector y el TAG son los componentes principales de cada sistema RFID

El funcionamiento (Figura 2) de un TAG, comienza, cuando el lector activa la antena y envía impulsos hacia los TAG. Si la operación de la frecuencia de la etiqueta es la misma del pulso, la etiqueta responde al lector, entonces, después de algunos segundos, el número de identificación del TAG es obtenido.

Los tipos de TAG utilizados son pasivos y activos (Figura 3). Los de tipo pasivo no requieren del uso de una batería para trabajar, por lo que no importa el lugar u objeto en donde se coloque, ya que no necesita una fuente de energía conectado a él. Por otro lado, el activo transmite la señal de radio con un rango de lectura alto (hasta 200m), pero esto necesita una batería para alimentar la memoria, la radio y los circuitos.

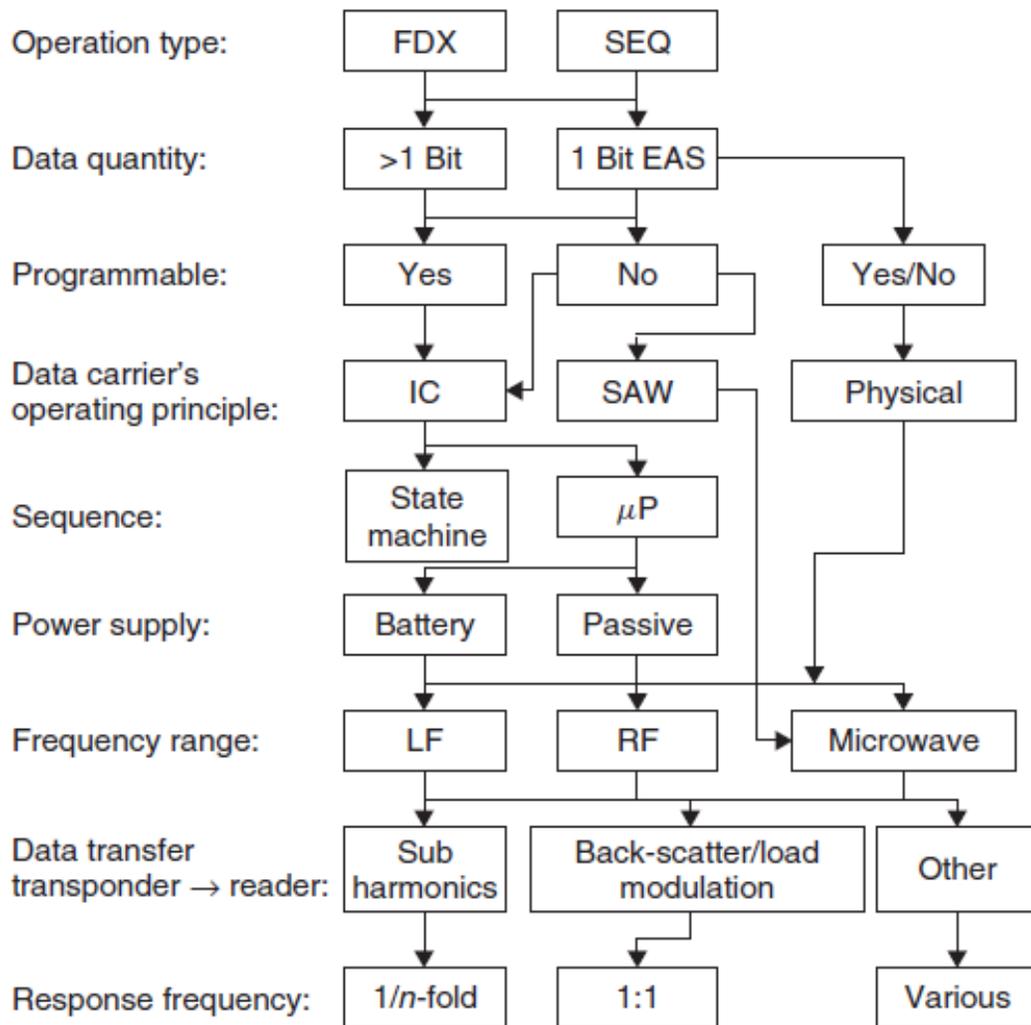


Figura 2. Diagrama de bloques del funcionamiento básico de un TAG.

Tanto, los pasivos como los activos pueden ser de sólo lectura, lectura y escritura o también puede ser programado de fábrica o por un operario mediante el uso del lector RFID y una API.

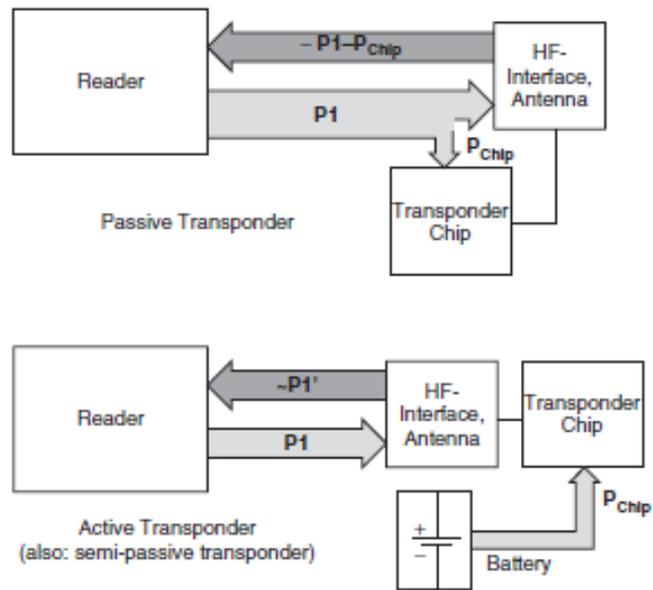


Figura 3. Comparación entre un sistema pasivo y activo RFID.

La interacción básica entre el TAG y el lector, es la obtención de la energía transportada dentro del campo magnético como señal, la cual transmite información que es leída por el lector Figura 4 (5).

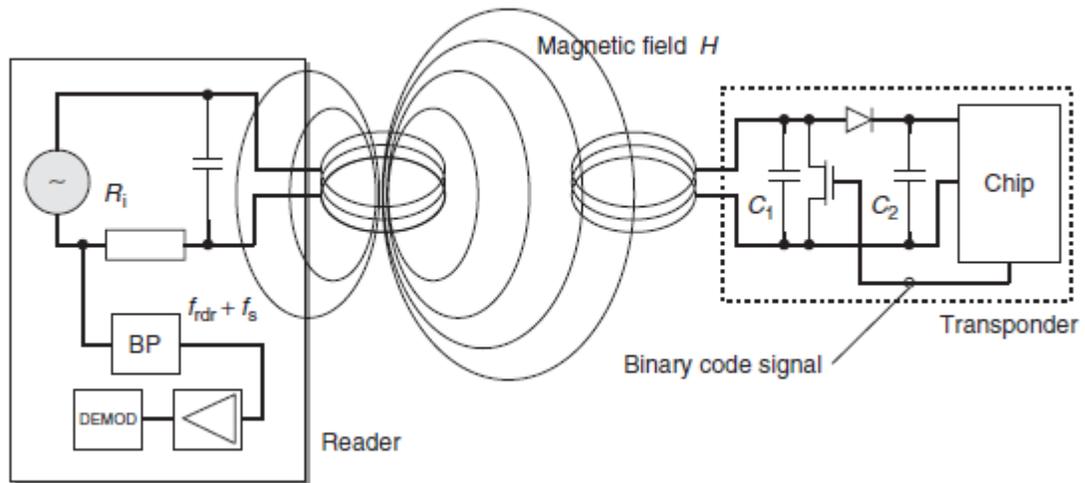


Figura 4. Transmisión de una señal electromagnética desde un lector a un TAG.

Al tener una señal creada cómo un campo magnético que varía en el tiempo y que induce un efecto eléctrico, las propiedades del emisor, receptor y del medio afectan la forma en que la información es transmitida (Figura 5). La gran mayoría de los sistemas RFID funcionan según el principio del acoplamiento inductivo. Por lo tanto, la comprensión de los procedimientos de transferencia de energía y de datos requiere una explicación completa en los principios físicos de los fenómenos magnéticos que ya se encuentran publicados.

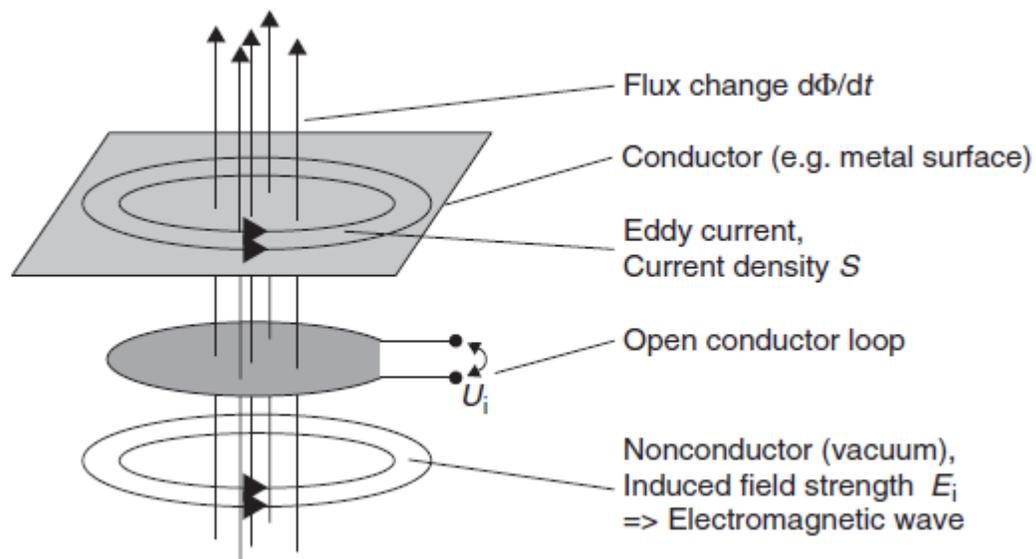


Figura 5. Campo eléctrico inducido por una antena.

Debido a que los sistemas RFID generan e irradian ondas electromagnéticas, están legalmente clasificados como sistemas de radio. La función de otros servicios de radio no debe ser perturbada ni afectada por el funcionamiento de los sistemas RFID. Es importante garantizar que los sistemas RFID no interfieran con la radio y la televisión cercanas, los servicios de radio móvil, comunicaciones civiles, industriales y militares, por lo que las frecuencias ISM (Industrial Scientific and Medical) es decir, industriales, científicas y médicas de alta frecuencia son las pioneras en utilizarse internacionalmente, disponibles en el rango de frecuencias por debajo de 135 kHz debido a la no asignación de frecuencias separadas.

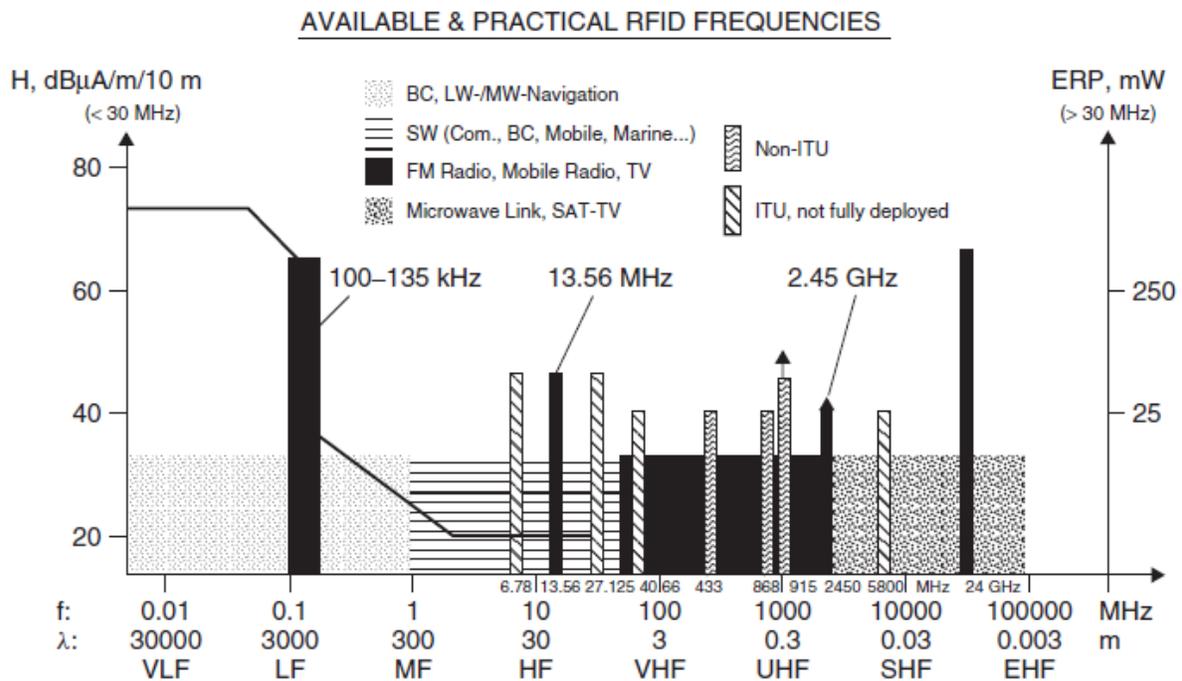


Figura 6. Rango de frecuencias disponibles para RFID.

Al trabajar con los diferentes rangos de frecuencias disponibles, se realzan las ventajas y desventajas, las cuales dependen de las propiedades físicas del medio y la frecuencia.

Dentro del medio, los diferentes materiales con una permeabilidad relativa  $> 1$  se denominan materiales ferromagnéticos. Estos materiales son el hierro, cobalto, níquel, diversas aleaciones y ferrita. Una característica importante de un material magnético es la característica de magnetización o curva de histéresis. Debido a esta propiedad, algunos materiales no son buenos conductores de la señal, aunado a esto, cada frecuencia presenta dificultades propias, como la longitud de onda, amplitud, la energía requerida, velocidad de transmisión y otras tantas.

Los TAG de tecnología RFID pueden trabajar a baja frecuencia (LF 30 KHz a 300 KHz, usualmente 125 KHz), alta frecuencia (HF 3 a 30 MHz, usualmente 13.56 MHz), Ultra Alta Frecuencia (UHF 300 MHz a 3 GHz, 860 a 960 MHz y 900 a 950 MHz). Algunas de las ventajas de las etiquetas de LF son: es adecuado para aplicaciones que requieren la lectura de pequeñas cantidades de datos a baja velocidad y las distancias mínimas, también penetra en los materiales, así como el agua, tejidos, madera y aluminio.

System	Baud rate (kBd)	$f_{\text{Subcarrier}}$ (kHz)	$f_{\text{TX}}$	Range
ISO 14443	106	847	13.56 MHz	0–10 cm
ISO 15693 short	26.48	484	13.56 MHz	0–30 cm
ISO 15693 long	6.62	484	13.56 MHz	0–70 cm
Long-range system	9.0	212	13.56 MHz	0–1 m
LF system	–0–10	No subcarrier	<125 kHz	0–1.5 m

Figura 7. Propiedades entre las diferentes frecuencias RFID.

De otro lado, las desventajas que podemos encontrar son: que no penetra ni transmite del todo en los metales, se ocupa de sólo pequeñas cantidades de datos, velocidades de lectura, que utiliza antenas más grandes, y finalmente su rango de operación es mínimo. Las etiquetas HF presentan algunas ventajas como: simple diseño de la antena, mayor tasa de transferencia de datos. Las desventajas son: frecuencia regulada por normas, su rango de lectura es de 0,7 m aproximadamente. Las etiquetas UHF son eficaces en torno a los metales, distancias superiores a 1 m, alta velocidad de datos, antenas más pequeñas, y sus desventajas son el costo y el tamaño de los elementos utilizados.

En 2003, se aprobó el estándar ISO/IEC, relacionada a la comunicación de campo cercano (NFC) que no es un sistema RFID propiamente, sino una interfaz de datos inalámbrica entre dispositivos, similar al infrarrojo o el bien conocido Bluetooth. RFID. NFC tiene sus raíces en la tecnología RFID, que permite que el hardware compatible suministre energía y se comuniquen con una etiqueta electrónica no pasiva y pasiva usando ondas de radio. Esto se utiliza para la identificación, autenticación y seguimiento.

NFC es un conjunto de tecnologías inalámbricas de corto alcance, que normalmente trabajan con una separación de 10 cm o menos. NFC opera en la frecuencia de 13,56 MHz en dentro de la norma ISO / IEC 18000-3 con velocidades que van desde 106 kbit/s hasta 424 kbit/s.

Las etiquetas NFC contienen datos y suelen ser de sólo lectura, pero pueden escribirse. Pueden ser personalizados por sus fabricantes o utilizar las especificaciones de NFC Forum (4).

Para la comunicación entre dos interfaces NFC, la interfaz NFC individual puede asumir funciones diferentes, es decir, de un iniciador NFC (dispositivo maestro) o un objetivo NFC (dispositivo esclavo).



*Figura 8. Ejemplo de aplicación de tecnología NFC.*

La comunicación siempre se inicia con el iniciador NFC. Además, la comunicación NFC distingue entre dos modos operativos diferentes, el activo y el pasivo.

La tecnología RFID presenta una amplia gama de nuevas capacidades con el potencial no sólo para optimizar los procesos actuales, pero en última instancia, crear nuevas formas utilizar sistemas de identificación RFID han sido pocas en los últimos años, principalmente en los sistemas de seguridad (6), pero en realidad hay otras aplicaciones interesantes para él (7).

Los casos de éxito, existen y han demostrado las ventajas de la tecnología aplicada inteligentemente. Principalmente desarrolladas para tareas complejas y con un alto manejo de información crítica.

Dentro de las aplicaciones comerciales de la tecnología RFID, se encuentran:

- ✓ Logística y trazabilidad de la cadena de Suministro
- ✓ Seguimiento del nivel de inventario
- ✓ Administración de materiales
- ✓ Control de acceso y seguridad.
- ✓ RTLS (Sistema de localización en tiempo real)
- ✓ Sistemas de pago
- ✓ Multimedia y entretenimiento
- ✓ Mercadotecnia.



*Figura 9. RFID como control de acceso.*

Dentro del área aeronáutica, existen precedentes como “RFID for MRO Work In Progress Tracking” (8), “RFID-Enabled Aerospace Manufacturing: Theoretical Models, Simulation and Implementation Issues” (9) y “RFID Enabled Handheld Solution for Aerospace MRO Operations Track and Trace” (10) los cuales son trabajos teóricos con poca experimentación de campo y resultados no tan desarrollados, pero que se pueden tomar como base para una aplicación en un proyecto de desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación.



*Figura 10. RFID en el manejo de inventarios en el sector aeronáutico.*

El desarrollo experimental estará formado por una plataforma con hardware y software que registre, mediante la lectura de tecnología inalámbrica RFID un número de identificación para cada componente, almacene y visualice la información de cada uno de los números de identificación de los componentes que se han cargado al sistema.

---

# CAPITULO 2

---

## Definición del proyecto

### Descripción y planificación

En este capítulo se aborda la descripción y características del desarrollo del proyecto, definiendo las características físicas, funcionales, eléctricas requeridas para cumplir los objetivos establecidos y tener una base sólida para su desarrollo.

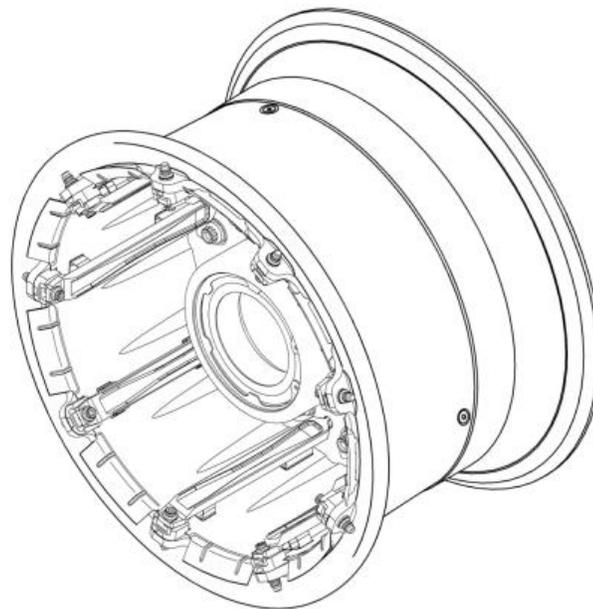
El proyecto de desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación se divide en dos fases, la primera el uso de tecnología RFID- NFC y segunda la recolección de la información para su procesamiento y análisis para su incorporación en el proceso de planeación y seguimiento de los componentes.

El presente trabajo se desarrolló dentro del taller MRO de Aeroméxico dentro del hangar del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) en el taller de reparaciones de la Terminal 1 (T1).

Dentro del taller MRO, se encuentran los talleres de ruedas, neumático, electromecánico, asientos, eléctrico, motor y aviónica. El área de trabajo en que se desarrolló el proyecto es en el taller de ruedas, el cual está dividido en 7 áreas, el área de recepción-embarque, inspección, desensamble, limpieza, inspección PND, ensamble, pruebas.

Dentro del taller de ruedas, el modelo de rueda utilizado en este trabajo C20626200 "Main Landing Gear Wheel Assembly" de la compañía Safran - MESSIER-BUGATT con el ATA 32-49-83 Rev. 5 del cual están referidas las operaciones y procedimientos para su proceso de mantenimiento dentro del taller de reparaciones.

Para este trabajo, el desarrollo de la plataforma para la planificación del mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación requiere el poder identificar el componente y las operaciones a realizar durante las fases de mantenimiento: inspección, desarmado, limpieza, verificación de dimensiones, pruebas no destructivas (PND), armado, pruebas funcionales, inspección final y embalado referidas para el componente aeronáutico crítico Figura 11.



I-324983-1-1

General View  
FIGURE 1/GRAPHIC32-49-83-991-001-A01

**32-49-83**

Page 3  
Apr 29/15

Figura 11: El ensamble de la rueda del tren de aterrizaje principal.

El área en donde se desarrolla el proceso de mantenimiento está representada en la Figura 12. Dentro de cada área se desarrollan operaciones de acuerdo a cada manual de operación de los componentes aeronáuticos críticos, durante cada paso indicado en cada manual, se requiere el identificar, marcar y evaluar las acciones a desarrollar.

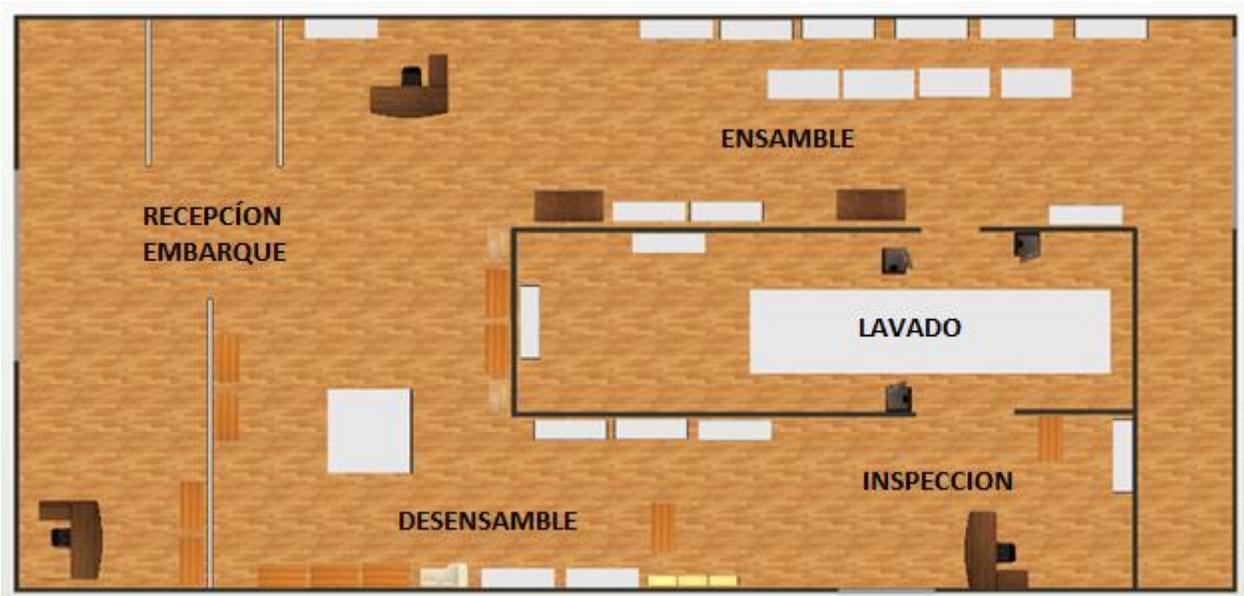


Figura 12: Esquema del taller de ruedas.

## Trazabilidad

Dentro del taller se procesan diariamente un promedio de 30 ruedas de diferentes números de parte (PN) de al menos 3 modelos de aeronaves diferentes.

Cada ensamble de rueda posee un número de serie único, al igual que las "n" números de partes que lo componen que debe ser identificados, inspeccionados y registrados para la elaboración del reporte final de mantenimiento del componente, el cual debe ser resguardado para su futura consulta. La Figura 13 ejemplifica uno de los formularios que deben ser anexados al reporte y papelería que acompaña el componente durante todo el proceso de mantenimiento.

Debido al alto volumen de componentes, procesos, validaciones y reportes, el desarrollar una planeación certera y eficiente implica un gran trabajo por cada una de las áreas del taller de ruedas. Cada área cuenta con un equipo de cómputo, el cual además de ser utilizado como visualizador de los manuales de mantenimiento, plataforma para el llenado de los reportes y resguardo de información.

La planeación de mantenimiento preventivo es realizada por el área de mantenimiento operativo, de acuerdo a la bitácora, registro y tiempo de vuelo de cada componente, el cual es asignado al proceso de mantenimiento dentro del taller.

Por la aplicación y funciones que desempeñan de este tipo de componentes aeronáuticos, el proceso de mantenimiento con carácter de urgentes para su uso en la aerolínea, requieren ingresar y procesar el componente de manera rápida y segura manteniendo siempre los estándares de calidad y seguridad aeronáutica.

Dentro del taller de ruedas, la planeación diaria se realiza a partir del listado entregado por el área de mantenimiento operativo, en el que los procesos y actividades de cada mecánico, operador y asistentes son definidos por el jefe del taller.

Inspections  
 Table 5004 (continued)

PART	INSPECTION PROCEDURE	TIRE REPLACEMENTS					*
		1	2	3	4	5/7	
Outer half-wheel sub-assembly (1-240) and inner half-wheel (1-540)	Visual inspection					X	X
	Penetrant inspection					X	X
	Dimensional check					X	X
	Conductivity test (IACS)						X
	Hardness test						X
	Out-of-roundness inspection						X
Bearing cups (1-250) and (1-260) (only if removed)	Visual inspection	X	X	X	X	X	X
	Dimensional check	X	X	X	X	X	X
Bearing cones (1-140) and (1-170)	Visual inspection	X	X	X	X	X	X
Outer bearing seals (1-130) and (1-160)	Visual inspection	X	X	X	X	X	X
	Dimensional check	X	X	X	X	X	X
Inner bearing seals (1-220) and (1-230)	Visual inspection	X	X	X	X	X	X
	Dimensional check	X	X	X	X	X	X
Bolts (1-180)	Visual inspection	X	X	X	X	X	X
	Non-destructive test					X	X
Washers (1-190)	Visual inspection	X	X	X	X	X	X
Nuts (1-200)	Breakaway torque check	X	X	X	X	X	X
Prefomed packing (1-350)	Visual inspection	X	X	X	X	X	X
Drive keys (1-390)	Visual inspection					X	X
	Non-destructive test					X	X
	Dimensional check					X	X
Bolts (1-400)	Visual inspection					X	X
	Penetrant inspection					X	X
Nuts (1-420)	Breakaway torque check					X	X
Heat shield assemblies (1-440)	Visual inspection					X	X
Valve stem of the valve assembly (1-010)	Visual inspection					X	X

- Table legend:
- \* = Overloaded (the main landing gear wheel assembly rolled with a flat tire or the other main landing gear wheel assembly on the same axle had a flat tire) or overheated (a fuse plug assembly of the main landing gear wheel assembly released the tire pressure).

La tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID) permite el intercambio de información por medio de ondas electromagnéticas sin necesidad de contacto directo, que es ampliamente utilizada para dentro de la industria aeronáutica para fines de inventarios y almacenes (11) Figura 14.



Figura 14: Aplicación de la tecnología RFID en almacén MRO.

Los sistemas de RFID son rápidos, confiables, y no requieren de la vista física o el contacto entre ellos. RFID es un sistema que consta de: un lector de TAG, una antena, fuente de alimentación y un ordenador.

El proceso de la RFID comienza cuando el lector activa la antena y envía impulsos hacia los TAG. Si la operación de la frecuencia de la etiqueta es la misma del pulso, la etiqueta responde al lector, entonces, después de algunos segundos, el número de identificación del TAG es obtenido.

El desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos, que permita recolectar información de manera automatizada y que permita el manejo de esta para ser procesada y permita generar una planificación. Adicionalmente se puede proponer un procedimiento para auditar dicha información.

# Desarrollo del proyecto

## Definición tecnológica

El desarrollo experimental consta de una serie de lectores RFID que recolecten la información de los TAG que se asignan a cada componente que ingrese al taller, los cuales contendrán información individual y personalizada y que podrá ser actualizada en cada estación de trabajo, esta información, la cual va a ser almacenada y preparada para su uso, permitirá la planeación y todas estas características en conjunto se denomina como la plataforma (Figura 15).

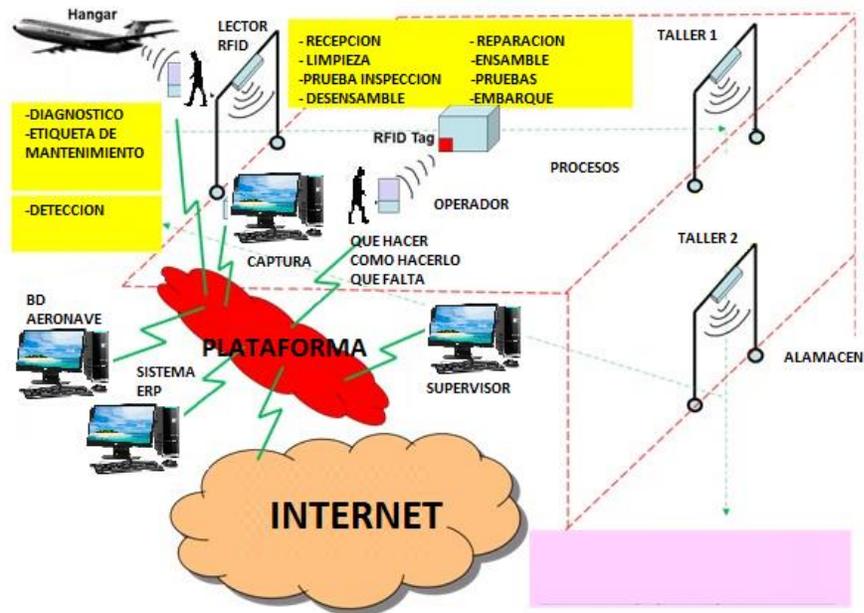


Figura 15: Esquemático que ejemplifica el desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos.

Para la recolección de la información, la aplicación de la tecnología RFID, se requiere seleccionar en específico el tipo de tecnología, especificaciones y características para desarrollar el proyecto.

Utilizando un análisis paramétrico para la selección de la especificación RFID, se desglosa en la Tabla 1, la cual contiene las características de modelos similares en el mercado para diferentes usos.

<b>Características</b>	ThingMagic USB RFID Reader	ACG HF Multi ISO	IA33H Long- Range Panel Antenna	SM130 Mifare	Motorola MC3190-Z
<b>Frecuencias</b>	125kHz	13.56 MHz	13.56 MHz	125kHz	2448 MHz
<b>Protección</b>	IP32	IP23	IP67	IP46	IP68
<b>Distancia de operación</b>	<1m	>2m	>5m	<1m	>5m
<b>Comunicación</b>	USB	USB	USB	USB, RS232	USB, WIFI
<b>Costo</b>	99 USD	199 USD	649 USD	158 USD	1120 USD

Tabla 1: Características de modelos RFID en el mercado.

Dentro de los MRO del área aeronáutica, las condiciones de trabajo y pruebas son rudas debido al tamaño, materiales y agentes químicos utilizados, por lo que se requiere que los equipos tengan algunas de las siguientes características (PSD):

- ✓ Frecuencia de comunicación.
- ✓ Grado de protección contra polvo y agua IP68.
- ✓ Resistencia a golpes EN 62262 IK 2.
- ✓ No contenga materiales metálicos para evitar interferencias
- ✓ Portabilidad.
- ✓ Fácil comunicación con otras plataformas.

Para la parte del diseño, el primer punto a determinar es el de la frecuencia a utilizar, la cual repercute en todas las demás características para tener un diseño que cumpla la función requerida. Se mencionan las posibles soluciones y su nivel de importancia.

La ponderación para evaluar los criterios se encuentra en la Tabla 2, los cuales califican el nivel de eficiencia de acuerdo a las propiedades (3) de las diferentes frecuencias RFID disponibles comercialmente, así como la disponibilidad, costo implementación:

<b>Calificación</b>	<b>%</b>
<b>Excelente</b>	85
<b>Muy bueno</b>	65
<b>Bueno</b>	45
<b>Malo</b>	25

Tabla 2: Ponderación para la matriz de toma de decisión.

La selección por matriz de toma de decisión se realiza mediante la comparación de cada diseño conceptual evaluando con la ponderación propuesta (Tabla 2) y a su vez, con la matriz binaria (Tabla 4) las características se comparan entre sí con el fin de obtener la características que más influyen en el diseño del prototipo y obtener la pertinencia en porcentaje de la tabla binaria será multiplicando por la ponderación para después evaluar la selección de la transmisión más adecuada para nuestros criterios y consideraciones mencionadas en el PSD.

# CRITERIO	SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN	433 MHz [UHF]	13.56 MHz z [UH]	120– 150 kHz [LF]	2450- 5800 MHz [UHF]	902- 928 MHz [UHF]
1	<b>COSTO</b>	45	65	45	25	45
2	<b>FACILIDAD DE ADQUISICIÓN</b>	65	85	65	45	45
3	<b>FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN</b>	65	65	45	85	65
4	<b>FACILIDAD DE REPLAZO</b>	65	65	65	25	45
5	<b>MANTENIMIENTO</b>	85	85	85	65	65
6	<b>TAMAÑO</b>	85	85	85	45	65
7	<b>PESO</b>	85	85	85	65	65
8	<b>EFICIENCIA</b>	65	85	65	85	85
9	<b>RESISTENCIA</b>	25	85	25	85	65
10	<b>FIABILIDAD</b>	45	85	45	85	85

Tabla 3: Comparación de frecuencias de trabajo RFID.

La matriz de toma de decisión se desarrolla:

Criterios											Suma		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1		1	0	1	0	1	1	0	0	0		4	0.08888889
2	0		0	1	0	0	1	0	0	0		2	0.04444444
3	1	1		1	0	1	1	0	1	0		6	0.13333333
4	0	0	0		0	1	1	0	0	0		2	0.04444444
5	1	1	1	1		0	0	1	1	0		6	0.13333333
6	0	1	0	0	1		1	0	0	0		3	0.06666667
7	0	0	0	0	1	0		0	1	0		2	0.04444444
8	1	1	1	1	0	1	1		1	1		8	0.17777778
9	1	1	0	1	0	1	0	0		1		5	0.11111111
10	1	1	1	1	1	1	1	0	0			7	0.15555556
											Total	45	

Tabla 4: Matriz de toma de decisión.

Por último, se aplica una ponderación:

	433 MHz	13.56 MHz	120–150 kHz	2450-5800 MHz	902-928 MHz
	<b>4</b>	<b>5.777777778</b>	<b>4</b>	<b>2.222222222</b>	<b>4</b>
	<b>2.88889</b>	<b>3.777777778</b>	<b>2.888888889</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
	<b>8.66667</b>	<b>8.666666667</b>	<b>6</b>	<b>11.33333333</b>	<b>8.666666667</b>
	<b>2.88889</b>	<b>2.888888889</b>	<b>2.888888889</b>	<b>1.111111111</b>	<b>2</b>
	<b>11.3333</b>	<b>11.33333333</b>	<b>11.33333333</b>	<b>8.666666667</b>	<b>8.666666667</b>
	<b>5.66667</b>	<b>5.666666667</b>	<b>5.666666667</b>	<b>3</b>	<b>4.333333333</b>
	<b>3.77778</b>	<b>3.777777778</b>	<b>3.777777778</b>	<b>2.888888889</b>	<b>2.888888889</b>
	<b>11.5556</b>	<b>15.11111111</b>	<b>11.55555556</b>	<b>15.11111111</b>	<b>15.11111111</b>
	<b>2.77778</b>	<b>9.444444444</b>	<b>2.777777778</b>	<b>9.444444444</b>	<b>7.222222222</b>
	<b>7</b>	<b>13.22222222</b>	<b>7</b>	<b>13.22222222</b>	<b>13.22222222</b>
Total	<b>60.5556</b>	<b>79.66666667</b>	<b>57.88888889</b>	<b>69</b>	<b>68.11111111</b>

Tabla 5: Ponderación de la tabla de toma de decisión.

El resultado final es la mejor solución al problema planteado: uso la banda de 13.56 kHz para la transmisión de la señal del TAG para su identificación.

Dentro de este rango de frecuencia, la tecnología NFC (Near Field Communication) cubre protocolos de comunicación y formatos de intercambio de datos, y están basados en ISO 14443 (RFID). Los estándares incluyen ISO/IEC 180922 y los definidos por el NFC Forum (4), fundado en 2004 por Nokia, Philips y Sony. La tecnología NFC también permite a los dispositivos compartir información a una distancia máxima de 4 centímetros con una velocidad máxima de comunicación de 424 kbps.

La tecnología NFC puede ser compatible con la infraestructura existente (PC) y/o de fácil implementación (dispositivos móviles), lo cual permite al usuario utilizar un dispositivo a través de diferentes sistemas.

Dentro del mercado, existen una gran variedad de fabricantes que ofrecen soluciones NFC cumpliendo los estándares, de acuerdo a NFC Forum se tienen los siguientes cuatro tipos de TAG:

- Tipo 1: Se basa en la norma ISO / IEC 14443. Permite lectura y escritura. La memoria de puede ser protegida contra escritura. Tamaño de la memoria puede ser de entre 96 bytes y 2 Kbyte y con una velocidad de comunicación de 106 kbit/s.
- Tipo 2: Se basa en la norma ISO / IEC 14443. Permite lectura y escritura. La memoria de puede ser protegida contra escritura. Tamaño de la memoria puede ser de entre 48 bytes y 2 Kbyte y con una velocidad de comunicación de 106 kbit/s.
- Tipo 3: Se basa en el estándar: Japanese Industrial Standard (JIS) X 6319-4. Este tipo está pre configurado desde la fabricación para poder ser leído, escrito o de sólo lectura. La memoria puede ser de hasta 1 Mbyte. Velocidad de comunicación con la etiqueta es de 212 kbit/s.
- Tipo 4: Es totalmente compatible con la norma ISO / IEC 14443 (A\&B). Este tipo está pre configurado desde la fabricación para poder ser leído, escrito o de sólo lectura. La memoria puede tener hasta 32 Kbyte; Se puede comunicar también con equipos compatibles bajo la norma ISO 7816-4. La velocidad de comunicación con la etiqueta es de 106 kbit/s.

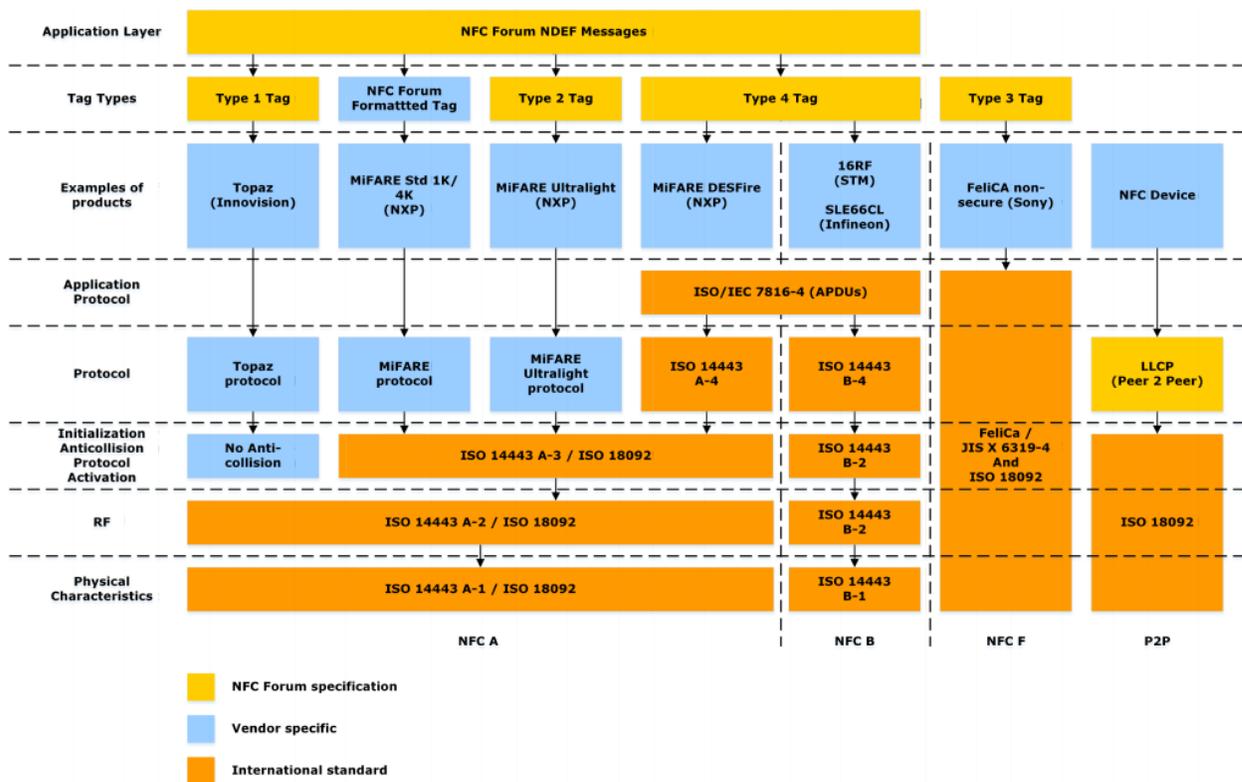


Figura 16: Diagrama de funcionamiento del protocolo NFC.

De acuerdo a lo anterior, cada tipo de los denominados TAG tiene características diferentes como capacidad de memoria, velocidad de comunicación y tipo de protección contra escritura. Acorde a esta clasificación los principales fabricantes de chips como MIFARE, NXP, SONY, BROADCOM desarrollan equipos con las características enlistadas en la Tabla 6.

Con esta base, la selección para el cumplimiento de los objetivos del proyecto es el de utilizar la tecnología NFC con el chip NTAG203 / 213 del Tipo 2, debido a su gran presencia comercial y a el bajo costo, manteniendo una buena relación entre el costo-memoria además que es soportado por una gran variedad de plataformas y dispositivos.

NFC Chip	Memoria disponible [Bytes]	Costo promedio [USD]	Aplicaciones
<b>MIFARE / NTAG210</b>	48	0.55-0.75	Costo medio para productos promocionales
<b>NTAG203 / 213</b>	144	0.35-0.57	Costo bajo, plataforma comercial NFC
<b>BROADCOM</b>	454	0.75-1.1	Costo alto, usos generales.
<b>NTAG216</b>	888	0.51-0.85	Costo medio, memoria destinada a VCards

Tabla 6: Características de los tipos de TAG de acuerdo a NFC Forum.

Para el desarrollo de la plataforma se utilizó el lector NFC ACR122U USB NFC Reader (Figura 17) de la compañía Advanced Card Systems Ltd. (12), el cual es un lector para equipos PC y dispositivos móviles Android, que permite la lectura / escritura en TAG en 13.56 MHz que cumplan la norma ISO/IEC18092 para RFID, sino que también los tipos Mifare® and ISO 14443 A & B Type 1-4.



Figura 17: ACR122U USB NFC Reader.

El lector NFC tiene las siguientes características:

- ✓ USB 2.0 Interfaz de velocidad completa.
- ✓ Lectura / escritura con una velocidad de hasta 424 kbps.
- ✓ Antena incorporada para el acceso a la etiqueta sin contacto, con la distancia de lectura de tarjetas de hasta 50 mm.
- ✓ Soporta TAG ISO 14443 tipo A y B, Mifare, Felica, y los 4 tipos de NFC (ISO / IEC 18092).
- ✓ Cuenta con función de anticolidión (se accede solamente 1 etiqueta en cualquier momento).

Los TAG NFC comercialmente disponible en el mercado mexicano son los compatibles tipo 2 NFC con chip NTAG203, por lo que la memoria disponible para el usuario es de 144-Bytes. Al tener 144 Bytes de memoria, la cual puede ser almacenada por el TAG, leída y escrita por el lector, la cual se puede colocar en los bloques de memoria correspondientes con el formato indicado en ISO 14443. La forma más sencilla y practica para guardar información es el modo de texto plano.

Una aplicación gratuita que permite su uso no comercial para la lectura y escritura de TAG NFC es GoTo Tags <sup>1</sup> (13) (Figura 18) la cual es una aplicación para el sistema operativo Windows que permite la adquisición de datos y permite la exportación a diferentes formatos para su procesamiento.

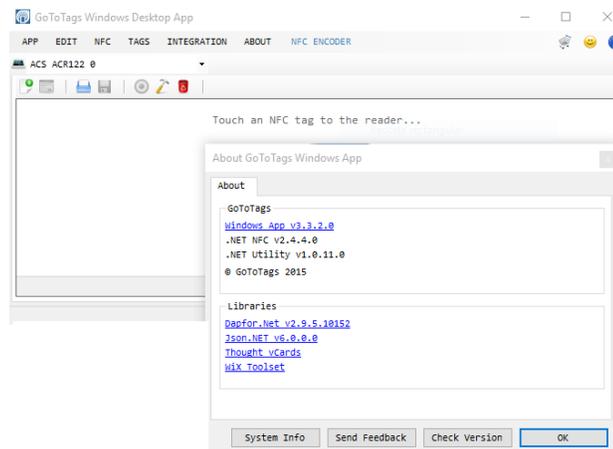


Figura 18: Aplicación Goto Tags para la lectura y escritura de TAG NFC bajo sistema operativo Windows.

---

<sup>1</sup> [www.gototags.com](http://www.gototags.com)

## Codificación de componentes

Goto Tags nos permite guardar información dentro de los TAG, en un formato de texto plano, el cual permite hasta 135 caracteres dentro de la memoria del chip NFC. Para aprovechar esta capacidad máxima para ingresar la información de nuestros componentes aeronáuticos se planteó una codificación para convertir la información en una cadena de texto que pueda ser almacenada, leída, procesada y/o actualizada dentro de la memoria del TAG en cada ocasión que se procese el componente dentro de las áreas de trabajo del taller de ruedas.

Para proponer una codificación, en la esta contiene 18 bloques definidos para la aplicación, cada bloque contiene información específica y única de cada componente, referida a las operaciones, requerimientos y procesos a realizar dentro del taller de acuerdo a cada manual de mantenimiento del componente (CMM).

Bloque	Descripción
PN del componente	Es el número de parte correspondiente a cada componente, el cual es único. Ejemplo: C20626200
BOEING PN	Es el número de parte del componente correspondiente a la codificación de la empresa Boeing. Ejemplo: S277A016-551
CMM	Es el número de Manual de Mantenimiento del Componente (CMM). Ejemplo: ATA CMM 32-49-83.
Fecha de ingreso	Es la fecha en que el componente ingreso al taller de ruedas y fue asignada su orden de trabajo, ejemplo: 01/12/2015
Fecha inicio proceso	Es la fecha en que se inicia el trabajo al componente, ejemplo: 01/12/2015.

Tabla 7: Descripción y significado de los bloques de la cadena de memoria del TAG NFC.

Bloque	Descripción
Procesos a realizar	Es el contador para desplegar la cantidad de procesos a realizar para terminar el trabajo, este se asigna al ingresar la orden y va disminuyendo hasta que el contador marca 0, este valor es cargado a partir de las tareas que el CMM indica para cada proceso. Ejemplo: 000009 – indica que faltan por realizar 9 procesos para acabar la orden de trabajo.
Proceso inicial	Es el proceso inicial indicado en el CMM a partir de la orden de trabajo asignada al componente. Ejemplo: 000-001-A01
Proceso final	Es el proceso final indicado en el CMM a partir de la orden de trabajo asignada al componente. Ejemplo: 000-001-A02
Proceso actual	Es el último proceso realizado a partir de la orden de trabajo asignada al componente. Ejemplo: 000-001-A03
Proceso siguiente	Es el próximo proceso a realizar al componente, puede ser asignada por la orden de trabajo o por los resultados de pruebas o por solicitud del personal. Ejemplo: 000-001-A04
Responsable actual	Es el código de identificación del personal calificado para realizar las operaciones de mantenimiento. Ejemplo: 0123
Responsable siguiente	Es el código de identificación del personal calificado para realizar las operaciones de mantenimiento que continuara con el siguiente proceso. Ejemplo: 0012
Tiempo proceso inicial	Es la hora en que inicia el proceso (el contador de tiempo de los trabajos es cero) en formato hh:mm:ss. Ejemplo 08:20:45

Tabla 8: Descripción y significado de los bloques de la cadena de memoria del TAG NFC (Continuación).

Bloque	Descripción
Tiempo proceso final	Es la hora en que se termina el proceso hh:mm: ss. Ejemplo 02:32:59
Tiempo total de proceso	Es la suma de los tiempos ya procesados hh:mm: ss. Ejemplo: 001051506
Inspección del proceso aprobada	Es la bandera que indica al sistema si se aprueba o rechaza la prueba que indica el proceso en curso. Ejemplo: 0 – Aprobado 1 – Rechazado
Sin uso (valor en bajo)	Son espacios de memoria que pueden ser utilizados en futuras operaciones. Debe estar en un valor bajo (0) para indicar que no se ha sufrido daño alguno en la cadena de información.  0000000000 0000000000 0000000000

Tabla 9: Descripción y significado de los bloques de la cadena de memoria del TAG NFC (Continuación).

Con esto se define el formato y los valores de los elementos que se indican en la Tabla 10. Con esta información, es posible generar la cadena para guardarla en el TAG asignado al componente, como, por ejemplo:

C20626200S277A016551324983010115010115000009000001A01000001A02  
000001A03000001A040123001208204502325900105150610000000000000000  
00000000000000000000

Figura 19. Cadena codificada de componente.

#	Bloque [# carácter]	Formato	Ejemplo
1	<b>PN del componente [0-9]</b>	XXXXXXXXXX	C20626200
2	<b>BOEING PN [10-20]</b>	XXXXXXXXXX	S277A016-551
3	<b>CMM [21-26]</b>	XXXX	32-49-83
4	<b>Fecha de ingreso [27-32]</b>	ddmmaa	010115
5	<b>Fecha inicio proceso [33-38]</b>	ddmmaa	010115
6	<b>Procesos a realizar [39-44]</b>	XXXXXX	000009
7	<b>Proceso inicial [45-53]</b>	XXXXXXXXXX	000-001-A01
8	<b>Proceso final [54-62]</b>	XXXXXXXXXX	000-001-A02
9	<b>Proceso actual [63-71]</b>	XXXXXXXXXX	000-001-A03
10	<b>Proceso siguiente [72-80]</b>	XXXXXXXXXX	000-001-A04
11	<b>Responsable actual [81-83]</b>	XXX	0123
12	<b>Responsable siguiente [84-86]</b>	XXX	0012
13	<b>Tiempo proceso inicial [87-92]</b>	hhmmss	082045
14	<b>Tiempo proceso final [93-98]</b>	hhmmss	023259
15	<b>Tiempo total de proceso [99-108]</b>	dddhhmmss	001051506
16	<b>Inspección del proceso aprobada [109]</b>	X	1
17	<b>Se requiere al supervisor [110]</b>	X	0
18	<b>Sin uso (valor en bajo) [111-135]</b>	0000000000 0000000000 00000	0000000000 0000000000 00000

Tabla 10. Tabla de codificación de información de los componentes aeronáuticos a cadena de texto plano para TAG NFC.

Por definición este código será variante para el componente en la manera en que se realicen las tareas definidas en la orden de trabajo, este código puede ser leído y/o actualizado mediante el uso del lector NFC y el software Goto Tags (13) como se puede visualizar en las Figuras 20 - 23.

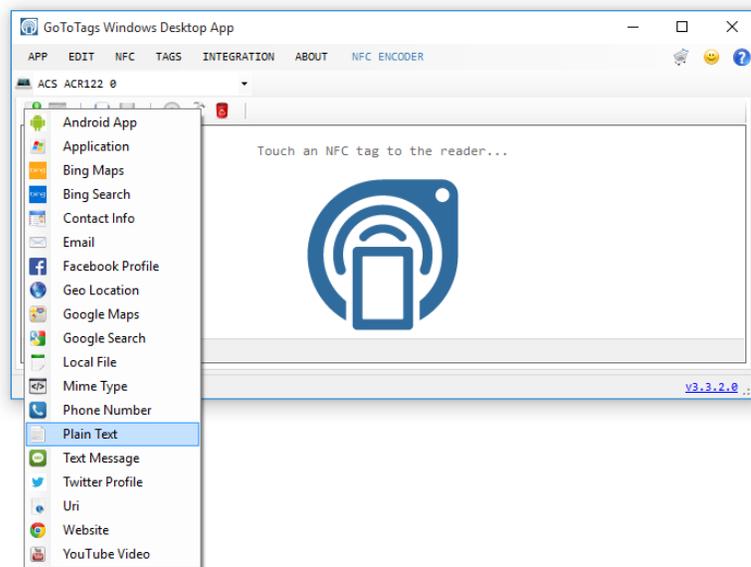


Figura 20: Gogo Tags aplicación para guardar datos como texto plano en TAG NFC.

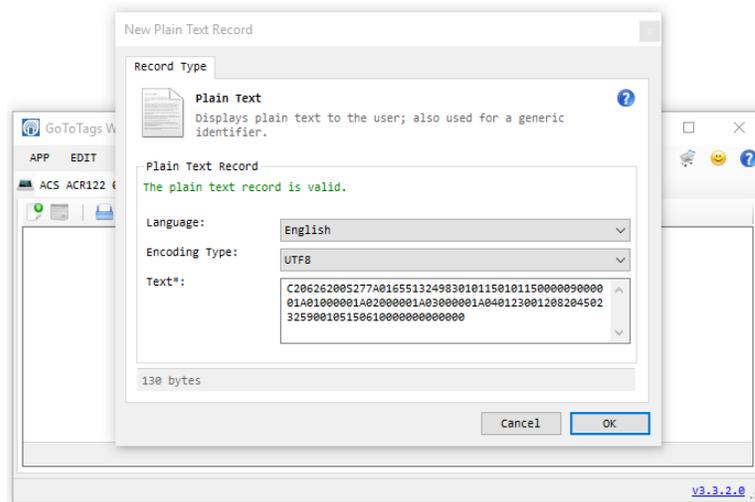


Figura 21: Edición del texto plano para guardar en TAG NFC.

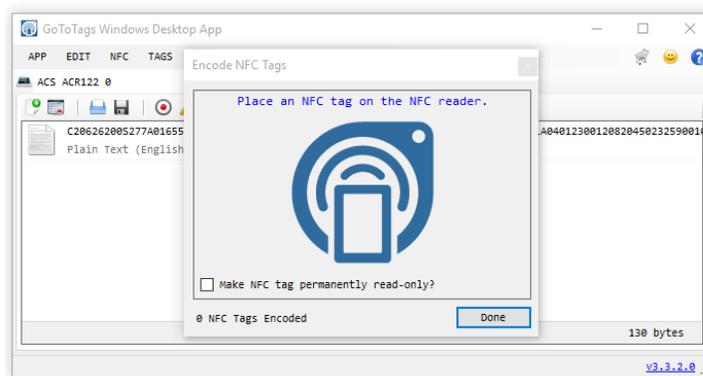


Figura 22: Preparación para grabado de TAG NFC.

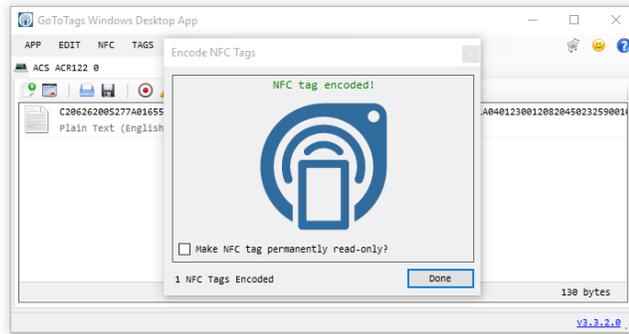


Figura 23: Grabación correcta de los datos en el TAG NFC.

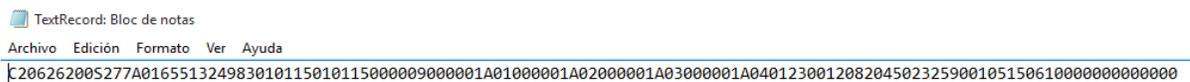


Figura 24: Visualización de los datos leídos de TAG NFC como texto plano.

Como resultado, se tienen los parámetros para que el desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación pueda ser funcional. El prototipo (Figura 25) para poner en práctica los conceptos mencionados para la generación de los datos requeridos para poder generar una base de datos que permita realizar la planeación del mantenimiento de los componentes aeronáuticos en el taller de ruedas.



Figura 25: Imagen del prototipo desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación.

El objetivo esencial de la trazabilidad es generar completa visibilidad en la cadena de suministro distinguiéndose importantes beneficios derivados de ella, con beneficios como:

- ✓ Reducción de controles manuales limitando los errores
- ✓ Mejor control del rendimiento de insumos y materias primas
- ✓ Mejoramiento de los tiempos de despacho y recepción de mercancías
- ✓ Disponibilidad de la información de modo rápido y seguro
- ✓ Mayor nivel de satisfacción y confianza de los clientes

Con el desarrollo de esta plataforma, la codificación de la información del proceso y la pieza, así como la base de datos generada, crear un procedimiento para realizar la trazabilidad y conocer el historial de la ubicación y la trayectoria de un producto a lo largo de la cadena de suministro en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas, como los ERP y/o softwares de administración de inventarios, procesos y mantenimientos, así como crear enlaces con diferentes bases de datos para alimentar así con información más fresca y real.

Una propuesta para realizar la trazabilidad de los componentes, sería el auditar una de las piezas realizando un seguimiento en paralelo en los procesos de manera manual o análoga con la documentación, reportes y demás información creada para el componente. Esta información sería cotejada con la información recabada por el TAG asignado a la pieza y descifrando la información mediante la codificación propuesta.

La información obtenida podría generar de manera electrónica un reposte y almacenarlo de manera segura, indexada y posteriormente, esta información puede ser utilizada, por ejemplo, en procesos de auditoría por autoridades como la FAA y DGAC para poder buscar los históricos de cada componente aeronáutico crítico.



---

# CAPITULO 3

---

## Resultados

### Datos y resultados

El resultado de desarrollar un prototipo para que el desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación RFID es el cumpliendo los objetivos planteados, y con esto se permitirá obtener muchos datos e información para futuras aplicaciones (14).

El uso de nuevas tecnologías con el NFC permite obtener excelentes resultados, que, si los obtuviéramos por métodos más tradicionales, ya que estos solo permiten recabar información de manera análoga y con un alto porcentaje de error. El desarrollar nuevas aplicaciones para tecnología dentro de una de las áreas comerciales de mayor crecimiento en el país nos permite aprovecharía más los recursos disponibles.

Los principales retos del proyecto son la utilización de la tecnología RFID, la selección e implementación de tecnología NFC que aún se encuentra en desarrollo (15), la información reservada o con pocas fuentes de información, el costo de los



El desarrollar una plataforma que recolecte información mediante NFC implica un gran despliegue de tareas a realizar, desde la selección de los componentes hasta la definición del proceso a realizar, las cuales son complejas por su misma naturaleza. El proponer una forma de realizar las cosas, implica el enfrentar barreras por los propios protocolos, procedimientos y regulaciones, además de la parte operativa la cual no se encuentra familiarizada con las nuevas tecnologías.

Este trabajo deja el precedente para poder introducir nuevas tecnologías dentro de otras áreas operativas, ya sea de manera interna o mediante procesos, proveedores o requerimientos externos, ya que van surgiendo en el mercado soluciones (16) que aprovechan las nuevas tecnologías como el NFC y el uso de los denominados wearables (Se refieren a las tecnologías electrónicas de ordenadores que se incorporan en los artículos de ropa y accesorios que se pueden usar cómodamente en el cuerpo).

También la implementación de realidad aumentada que junto a la utilización de NFC y de software especializado ERP (17), podría utilizar de manera más efectiva la información recolectada, la cual sería más efectiva de procesar y transmitir a las áreas operativas.

## RFID y AERONAUTICA EN LA ACTUALIDAD

El futuro de la tecnología RFID es muy amplio y tiene características que le permitirán introducirse dentro de las áreas más comerciales para que junto con otras tecnologías permitan una aplicación más robusta y de mayor implantación dentro del área aeronáutica, aumentando el grado de automatización y realizando tareas IFFT para mantener una mayor eficiencia y confianza en los datos recabados.

¿Tecnología RFID + Aeroespacial? ¿Qué es lo que sigue? ¿Cuál es la tendencia? Estas son algunas preguntas que las empresas del sector aeroespacial se hacen, y algunas otras ya están resolviendo, como MAINtag<sup>2</sup> fundada en 2004, ha establecido una posición de liderazgo en la industria de piezas aeroespaciales que marcan la entrega de soluciones RFID FLYtag® través de más de 45 Tier-1, desarrollando RFID tags, readers y software dedicado para el área de suministro de piezas a clientes tan importantes como Airbus desde 2010.

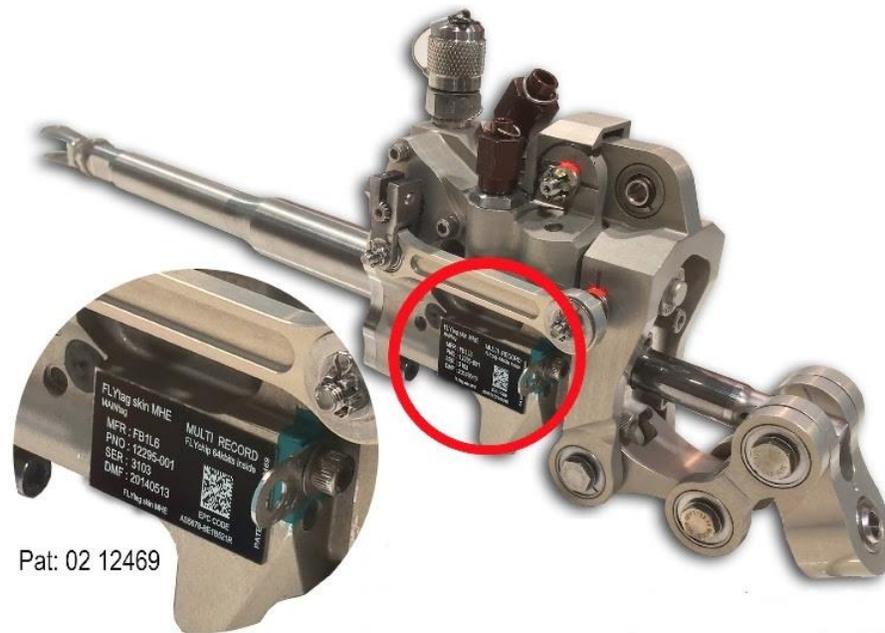


Figura 27. FLYtag® desarrollado por MAINtag.

<sup>2</sup> <http://www.maintag.fr>

Algunas de sus soluciones proponen recolectar información de las partes desde que salen de la fábrica, así como información en tiempo real de parámetros críticos para el funcionamiento de aeronaves y/ o sistemas prioritarios.

Dentro de las soluciones de información en tiempo real, Crane Aerospace and Electronics<sup>3</sup>, que en los últimos 7 años ha estado desarrollando tecnología RFID para comprobar la presión de los neumáticos, los datos de presión y visualización en sistemas de a bordo de la cabina del piloto, ya que cuando se utiliza el método de prueba manual de presión estándar, un poco de aire se libera de la cubierta de neumático cada vez que se prueba. Por lo tanto, el neumático tiene que ser periódicamente re-inflado, con el fin de reemplazar a la acumulación de aire perdido.



*Figura 28. Sensor de presión de aire SmartStem RFID de la grúa reemplaza la válvula de llenado estándar.*

La solución es un sensor que sustituye a la válvula de llenado estándar de la rueda. La empresa proporciona el sensor a los fabricantes de aviones, los cuales tienen que montar el indicador en los neumáticos para los clientes, así como a los propios operadores de aeronaves. El medidor es escaneado a través de un lector RFID de mano que captura los datos de temperatura y presión, junto con el número de ID único del sensor.

---

<sup>3</sup> <http://www.craneae.com>

## Conclusiones

Dentro de la industria aeronáutica, principalmente en los OEM se está dando el desarrollo de aplicaciones que utilizan tecnología RFID, desde la instalación de TAGs en las piezas hasta nuevos componentes que incluyen la tecnología de manera nativa, sin embargo, estos son casos aislados, y que solo llevan parte de las soluciones al verdadero campo de aplicación en los MRO.

Existen algunos ejemplos de aplicación que se están llevando a cabo en algunos MRO, como el caso del MRO TAP (14) en Portugal, el cual está aplicando la tecnología RFID dentro de su taller de mantenimiento y en el soporte de tierra, trabajando conjuntamente con tecnología de código de barras para manejar la trazabilidad y visibilidad de sus piezas, herramientas y equipos, sin embargo es un sistema cerrado e interno, el cual no es utilizado más allá de sus instalaciones.

El sistema propuesto en este trabajo es una forma básica del propuesto por TAP, debido a que, desde la propuesta inicial de este proyecto en 2013, la tecnología y la industria se han movilizadado, ha evolucionado y se ha desarrollado dentro de ámbitos cerrados propios, sin embargo es posible el abrirlos a otros posibles usuarios con una plataforma abierta que pudiera ser replicada por otros y trabajando bajo los mismos estándares tanto técnicos como regulatorios, sería posible aplicarlos de manera conjunta con los fabricantes de aeronaves.

Grande empresas como Boeing (18) y Fujitsu han desarrollado, probado y validó el primer dispositivo RFID de la industria aérea mediante el uso la tecnología de botón de memoria de contacto (CMB) para aviones comerciales dentro de cabina, y que se encuentran en funcionamiento desde el 2012 en fase de pruebas para su aprobación por las instituciones receladoras como la Administración Federal de Aviación (FAA por sus siglas en Ingles) lo cual no es nada sencillo.

Mientras se libera esta clase de tecnología ya regulada, la industria debe trabajar para formar un estándar y poder extender su uso, domesticación y aplicación, por lo que un sistema como el propuesto en este trabajo representa una ventaja como base para futuros trabajos.

El desarrollo de este trabajo, como “Proyecto de desarrollo experimental de una plataforma para planificar el mantenimiento de componentes aeronáuticos críticos mediante tecnología de identificación” plantea una base para la utilización de nuevas tecnologías dentro de Aeroméxico, como la utilización de software Airline Suite<sup>4</sup> que actualmente se encuentra en fase de viabilidad para su implantación gracias a las propuestas de este trabajo y el trabajo conjunto otras áreas, que además junto a proveedores como Boeing, Safran, Meggitt, Embraer, se están actualizando tanto los procesos de mantenimiento de sus respectivos componentes, por lo que la propuesta de este trabajo ha dejado un impacto positivo para Aeroméxico y sus colaboradores.

Como tal este proyecto, abrió un panorama para implantación de nuevas tecnologías dentro de los talleres MRO de Aeroméxico, y aunque se realizó la implantación a un nivel de pruebas para promover las aplicaciones RFID, tanto para el mejoramiento de los procesos como de los procedimientos internos, sentando un precedente para poder implementar soluciones que ya se encuentran en desarrollo, ya que para una industria tan demandante como la aeroespacial, las soluciones tienen que estar plenamente validadas y probadas para cumplir con los estándares internacionales, por lo que para continuar con este proyecto se requeriría una alianza con algún proveedor que ya cuente con un avance dentro del sector y requiera tropicalizar su propuesta, adaptarla al usuario final como el MRO de Aeroméxico y expandir sus uso.

Pero no solo la industria aeroespacial se beneficiará por el uso de esta tecnología, sino las industrias de manufactura que tienen sistemas de fabricación complejos y requerirá optimizarlos, por lo que necesitarán entender cómo la tecnología RFID se puede utilizar para realizar un seguimiento de los trabajos en proceso y optimizar la producción. Tendrán que entender cómo se comportan las ondas de radio en entornos de fabricación, donde hay una gran cantidad de metal, lo que refleja la energía de RF, y el ruido, que puede hacer que las señales de RF difíciles de recoger. Por lo que ya áreas como el área biomédica, la construcción, logística y de alimentos podrán ser altamente beneficiados.

---

<sup>4</sup> <http://www.calm-systems.com/>



---

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Li Zhekun, Rajit Gadh, B.S. Prabh. *APPLICATIONS OF RFID TECHNOLOGY AND SMART PARTS IN MANUFACTURING*. DETC2004-57662 USA, 2004.
2. nfc.cc. *NEAR FIELD COMMUNICATION AND MOBILE TECHNOLOGY PROVIDED BY PROFESSIONALS*. [En línea] 2016. <http://www.nfc.cc/technology/nfc-tag-types/>.
3. Klaus, Finkenzeller. *RFID handbook*. s.l. : Wiley, 2003, pág. 28.
4. nfc-forum.org. *NFC Forum*. [En línea] 2016. <http://nfc-forum.org/what-is-nfc/resources/glossary/>.
5. Harmon Craig K., USA : Q.E.D. Systems. *Basics of RFID technology* . USA : Q.E.D. Systems.
6. Strassner B, Chang K. *Passive 5.8-GHz radio-frequency identification tag for monitoring oil drill pipe*. s.l. : IEEE , 2003.
7. Takaragi K, Usami M, Imura R, Itsuki R, Satoh T. "An ultra small individual recognition security chip. s.l. : IEEE, 2001.
8. *RFID for MRO Work In Progress Tracking*. Tsong Jye Ng, Ming Mao Wong, Jing Bing Zhang. s.l. : IEEE, 2006. 1-4244-0136-4.
9. *RFID-Enabled Aerospace Manufacturing: Theoretical Models, Simulation and Implementation Issues*. K. Harun, K. Cheng and M. Wibbelmann. Singapore : s.n., 2008. 978-1-4244-2630-0.
10. *RFID Enabled Handheld Solution for Aerospace MRO Operations Track and*. Wei He, Chi Xu, Yintai Ao, Xuejian Xiao, Eng Wah Lee. s.l. : IEEE, 2011. 978-1-4577-0018-7.
11. *Integrating RFID with quality assurance system – Framework and applications*. Jung Lyu Jr., Shiow-Yun Chang, Tung-Liang Chen. s.l. : Elsevier Ltd., 2009.



---

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## CONTINUACIÓN

---

12. [acs.com.hk](http://www.acs.com.hk/en/products/3/acr122u-usb-nfc-reader/). *Advanced Card Systems Ltd.* [En línea] 2016. <http://www.acs.com.hk/en/products/3/acr122u-usb-nfc-reader/>.
13. [gototags.com](http://www.gototags.com). *GoToTags*. [En línea] 2016. [www.gototags.com](http://www.gototags.com).
14. *Achieving visibility and traceability at TAP M&E*. Matos, Fernando. s.l.: AERO magazine, 2015.
15. [nfc-forum.org](http://nfc-forum.org). [En línea] 2016. <http://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/specification-releases/>.
16. *Wearable Devices- The New Era of Hands Free Computing* . Subramanian, Suresh. 2015.
17. Epicor. [En línea] 2016. <http://www.epicor.com/partners/intermec.aspx>.
18. *RFID Integrated Solutions System Optimizes Maintenance Efficiency*. Coop, By Phil. 2012, Vol. 1.
19. IEEE - RFID. [En línea] <http://www.ieee-rfid.org/>.